

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响	李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)
三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义	陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)
白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位	王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)
宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性	贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)
脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用	刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)
安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征	徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)
乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应	彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)
海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响	冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)
竹巴笼矮岩羊 (<i>Pseudois schaeferi</i>) 昼间行为节律和时间分配	刘国库,周材权,杨志松,等 (972)
干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较	郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)
石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化	马全林,张德魁,刘有军,等 (989)
基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟	汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)
山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例	裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)
基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例	李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)
水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响	贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)
农田灌溉对印度区域气候的影响模拟	毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)
高大气 CO ₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应	张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)
豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性	王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)
不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价	王树刚,王振林,王 平,等 (1064)
基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测	黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)
喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响	崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)
“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环	张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)
红壤丘陵区粮食生产的生态成本	李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)
甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策	梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)
黄龙钙化滩流地物种-面积关系	黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)
杉木人工林细根寿命的影响因素	凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)
长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律	巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)
生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果	张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)
北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化	高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)
专论与综述	
整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾	赵 平 (1164)
植物寄生对生态系统结构和功能的影响	李钧敏,董 鸣 (1174)
加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展	杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征

徐小雨¹, 周立志^{1,*}, 朱文中², 许仁鑫¹, 曹玲亮¹, 陈锦云¹, 王 勋¹

(1. 安徽大学生命科学学院生物多样性与湿地生态研究所, 安徽省生态工程与生物技术重点实验室, 合肥 230039;
2. 安徽安庆沿江湿地自然保护区, 安庆 246001)

摘要:近年来, 长江中下游迅速发展的淡水渔业对湖泊湿地产生严重扰动, 湖泊生态系统的结构和功能受到影响。为揭示大型底栖动物群落对湖泊扰动的响应, 对安徽菜子湖群不同养殖程度的白兔湖、嬉子湖和菜子湖 3 个湖区进行了大型底栖动物周年定量调查。全湖设置 49 个样点, 调查 7 次。共采集到大型底栖动物 34 属 39 种, 优势种为摇蚊 (*Tendipes* sp.)、苏氏尾鳃蚓 (*Branchiura sowerbyi*)、长角涵螺 (*Alocinma longicornis*)。大型底栖动物密度为 (55.20 ± 76.25) 个/ m^2 , 生物量为 (19.56 ± 65.37) g/ m^2 , 其中白兔湖、菜子湖、嬉子湖密度分别为 (63.43 ± 52.76) 、 (36.44 ± 34.49) 和 (79.77 ± 118.90) 个/ m^2 , 生物量分别为 (17.48 ± 28.24) 、 (21.70 ± 39.44) 和 (4.94 ± 18.46) g/ m^2 。嬉子湖的节肢动物密度和生物量均显著大于白兔湖和菜子湖 ($P < 0.01$), 而白兔湖和菜子湖的软体动物密度和生物量均显著大于嬉子湖 ($P < 0.01$)。聚类分析表明, 白兔湖和菜子湖的大型底栖动物的群落结构相似性较高, 但与嬉子湖养殖区的相似性较低。白兔湖和菜子湖大型底栖动物的 Shannon-Wiener 指数分别为 2.25、1.71, 嬉子湖仅为 1.44。与 2001 年的资料相比, 大型底栖动物的优势种发生了改变, 群落多样性显著降低。水产养殖、修建堤坝等人为干扰已经对菜子湖群大型底栖动物群落结构产生了较大的影响, 发展可持续渔业将是湖泊生态系统保护的重要途径。

关键词:大型底栖动物; 群落结构; 生物量; 生物多样性; 菜子湖群

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China

XU Xiaoyu¹, ZHOU Lizhi^{1,*}, ZHU Wenzhong², XU Renxin¹, CAO Lingliang¹, CHEN Jinyun¹, WANG Xun¹

1 Institute of Biodiversity and Wetland Ecology, School of Life Science, Anhui University; Anhui Key Laboratory of Eco-engineering and Bio-technique, Hefei 230039, China

2 Wetland Nature Reserve along Yangtze River in Anqing, Anqing 246001, China

Abstract: In the middle and low floodplain of Yangtze River the increasing aquaculture had disturbed the lake wetlands, seriously affected the structure and function of the lake wetland ecosystems. In order to have an insight into the macrozoobenthic community in response to the anthropogenic disturbance, we surveyed the density and biomass of the macrozoobenthos of Caizi Lake group (Anqing City, Anhui Province) through 49 sampling sites. By seven surveys in 2008 and 2009, a total of 39 macrozoobenthic species were found, among them the dominant species were *Tendipes* sp., *Branchiura sowerbyi*, and *Alocinma longicornis*. The average density of macrozoobenthic was (55.20 ± 76.25) ind./ m^2 and the average biomass was (19.56 ± 65.37) g/ m^2 . Compared with 2001, the macrozoobenthic diversity markedly decreased, and the dominant species had obvious changes too. In Baitu Lake, Caizi Lake and Xizi Lake, the average density was (63.43 ± 52.76) , (36.44 ± 34.49) and (79.77 ± 118.90) ind./ m^2 respectively, the average biomass was (17.48 ± 28.24) , (21.70 ± 39.44) and (4.94 ± 18.46) g/ m^2 . Among the three lakes, Xizi Lake had higher average density and biomass of arthropoda than Baitu Lake ($P < 0.01$) and Caizi Lake ($P < 0.01$). However, Xizi Lake had lower average density and biomass of mollusk than Baitu Lake ($P < 0.01$) and Caizi Lake ($P < 0.01$). Moreover, in Xizi Lake, there was a lower Shannon-Wiener index (1.44) than Baitu Lake (2.25) and Caizi Lake (1.71). Through Clustering Analysis

基金项目: 安庆市中国-欧盟生物多样性示范项目(00056783); 安徽大学人才队伍建设项目

收稿日期: 2010-01-12; 修订日期: 2010-06-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoulz@ahu.edu.cn

approach, the high similarity of macrozoobenthic community was found between Baitu Lake and Caizi Lake. Above results indicated that the pressure of anthropogenic interference, such as aquaculture, had taken obvious effects on the macrozoobenthic community structure. For the biodiversity conservation of the Caizi lake wetlands, the sustainable fishery model should be established in the urgent future.

Key Words: macrozoobenthos; community structure; biomass; biodiversity; Caizi Lake group

大型底栖动物是湖泊生态系统的重要组成部分,它们可以通过食物链的物质循环促进湖泊沉积物与水体间的物质交换,对生态系统的物质循环和能量流动具有重要作用^[1]。相对于其他水生动物,它们的迁移能力弱,能准确反映栖息地质量的时空变化,对湖泊生境质量具有指示作用^[2-3],因而常作为环境指示生物^[4-5]。另外,许多种类还是湖泊鱼类的天然饵料,是重要的渔业资源^[6-7]。

长江中下游地区湖泊众多,是我国重要的淡水养殖区。近年来,随着围网养殖强度的增加,水生生物资源受到掠夺式利用,渔业资源几近枯竭。高强度的渔业养殖对水生生物特别是大型底栖动物的群落结构产生显著的影响^[8-9],如大量投放草食性鱼类会造成螺类资源大量减少^[10],过度放养中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)对大型底栖动物的种类和密度产生影响更为显著,尤其对螺类资源的影响最为明显^[11]。同时,出于养殖的需要,许多湖泊修建堤坝,将湖泊分割成许多小块养殖湖区,不仅增加了水生生物资源的利用强度,而且改变了湖泊的水文过程,影响沉水植被的分布,进而影响大型底栖动物的栖息和繁殖乃至整个湖泊生态系统的稳定^[12-13]。因此,开展大型底栖动物对扰动响应的研究对于渔业生产和湖泊生态系统的保护具有重要意义^[14-15]。

为了探讨渔业养殖、修建堤坝等人为干扰对大型底栖动物的影响,于2008年7月—2009年6月在安庆菜子湖不同养殖模式的湖区,对大型底栖动物的种类组成、数量分布、季节动态进行了系统的研究,以期为内陆浅水型湖泊渔业养殖的健康发展和湖泊生态系统的保护提供基础资料。

1 研究区域概况

菜子湖群位于大别山东南侧,安庆长江北岸(117°01'—117°10'E,30°45'—30°56'N),由菜子湖、白兔湖、嬉子湖3个彼此通连的湖泊组成。平均海拔9.1m,丰水面积24230hm²,枯水面积14520hm²,平均水深1.67m,属浅水型漫滩湖泊。水源主要来自地表径流和发源于大别山区的河流,主要有大沙河、挂车河、龙眠河、孔城河,前三条发源于大别山区,孔城河发源于本省巢湖市庐江县。每年5月汛期开始,最高水位出现于7,8月份,丰水季节3个湖区水深约为3—5m,湖区间差异较小。11月进入枯水期后,白兔湖和菜子湖出水经长河通过枞阳闸入江,湖底基本裸露,季节间水文变动剧烈,嬉子湖南端建有堤坝(图1),仍保持水深约1m。

菜子湖作为长江中下游地区具有代表性的浅水型湖泊之一,不仅渔业资源丰富,而且还是东亚—澳大利亚迁徙水鸟的重要停歇地和越冬栖息地,是长江中下游3处最重要的湿地之一^[16]。菜子湖大型底栖动物资源丰富^[17],但水土流失、围垦等原因造成湖区面积不断缩小,适宜软体动物栖息的滩涂面积大量减少^[18],加之持续高密度鱼蟹养殖导致沉水植被大幅减少,湿地退化严重^[19]。

嬉子湖自20世纪90年代开始发展渔业养殖,早期以养殖中华绒螯蟹为主,且持续时间长,密度高,1999年河蟹产量为11.7kg/hm²,2000年达到高峰,产量为66kg/hm²^①。因沉水植被和大型底栖动物等渔业资源破坏严重,仅在北部湖区有小片沉水植被分布,近年以天然混养鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊鱼(*Aristichthys mobilis*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)为主,少量养殖中华绒螯蟹。2002年起,白兔湖和菜子湖开始发展渔业养殖,养殖年限和养殖模式相似,以混养中华绒螯蟹、鲢鱼、鳊鱼、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为主,中华绒螯蟹养殖密度较高,2008年河蟹产量高达37.5kg/hm²^②。目前两湖区仍分布有一定面积

① 周立志. 菜子湖湿地生物多样性调查报告,安徽大学生命科学学院,2009.

② 2008年调查中走访获得各主要养殖区产量数据

的沉水植被,但部分湖区也已出现渔业资源枯竭的现象。截至 2008 年,除嬉子湖最北端小片湖区外,其余湖面多为围网养殖区,3 个湖区水面的围网养殖率均达 90% 以上。

2 研究方法

2.1 样点设置及群落调查

根据养殖模式和养殖年限的差异,结合生境特点共设置采样点 49 个,其中嬉子湖北部天然捕捞区设置采样点 4 个(X1—X4),其余的鱼类混养区 11 个(X5—X15)。白兔湖和菜子湖均以鱼蟹混养模式为主,分别设置采样点 10 个(B1—B10)、24 个(C1—C24)(图 1)。分春季(2009 年 3 月、2009 年 5 月)、夏季(2008 年 7 月、2009 年 6 月)、秋季(2008 年 9 月、2008 年 11 月)和冬季(2008 年 12 月)共采样 7 次。由于冬末白兔湖和菜子湖基本干涸,所以仅在冬季采样 1 次。

用面积为 $1/16 \text{ m}^2$ 的改良彼得生采泥器采集底泥,每个样点重复采集两次。利用分样筛(40 目)筛选大型底栖动物,标本用 75% 乙醇保存。利用解剖镜和显微镜对标本进行鉴定、数量统计,生物量以鲜重计^[20],天平称量,精确至 0.001 g 。最后将每个样点的个体数量和重量换算成单位面积上的密度($\text{个}/\text{m}^2$)和生物量(g/m^2)。

2.2 数据分析

在 Excel (Microsoft 2003) 中对数据进行整理,利用 SPSS (Version 17.0) 进行单因素方差分析,检验大型底栖动物各个类群的密度和生物量在 3 个湖区以及四季之间的差异性,若差异显著,采用 LSD 法进行多重比较

(显著性水平取 0.05),分析各个类群的密度和生物量在任意两个湖区或者季节之间的差异。在生物群落数据多元分析软件 PC-ORD (Version 5) (<http://home.centurytel.net/~mjm/pcordwin.htm>) 中利用每个样点中大型底栖动物不同类群的密度和生物量进行聚类分析,分析不同养殖模式下大型底栖动物的群落相似性,聚类指标采用欧式距离,聚类方法采用离差平方和法 (Ward's method)。采用 Shannon-Wiener 指数 (H') 和 Margalef 指数 (d_M) 比较不同湖区大型底栖动物的群落多样性和物种丰富度, $H' = \sum_{i=1}^s ((n_i/N) \ln(n_i/N))$, $d_M = (S - 1)/\ln N$, 其中 S 为样方中物种的数目, N 为样方中观察到的个体总数, n_i 为第 i 物种的个体数,将各个采样点的多样性指数和物种丰富度指数的均值分别作为各个湖区的大型底栖动物群落多样性和物种丰富度。

3 结果

3.1 种类组成

共采集到大型底栖动物 34 属 39 种,其中环节动物 7 属 7 种、软体动物 15 属 19 种、节肢动物 12 属 13 种(表 1)。白兔湖和菜子湖以软体动物种类最多,嬉子湖以节肢动物种类最多,环节动物在不同湖区的种类数差异较小(图 2)。全湖大型底栖动物以摇蚊属 (*Tendipes* sp.) 密度最大,其次是苏氏尾鳃蚓 (*Branchiura sowerbyi*) 和长角涵螺 (*Alocinma longicornis*),它们占总密度的 48.25%。根据各个类群密度的大小,白兔湖和菜子湖优势种均以软体动物为主,嬉子湖则以摇蚊类群为主(表 2)。

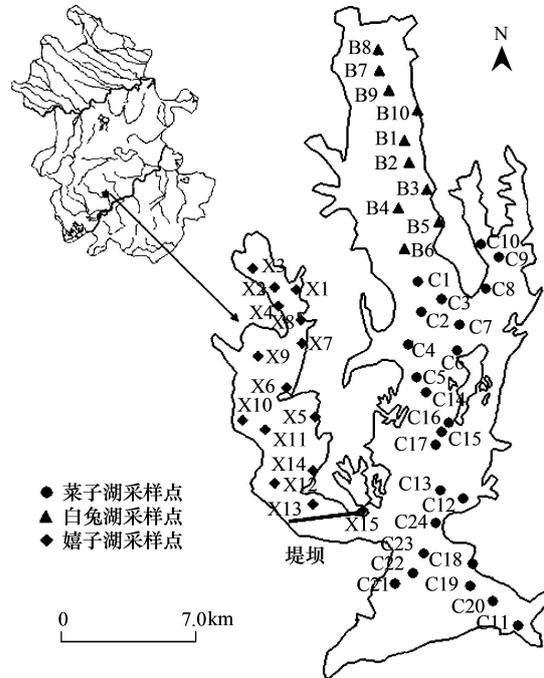


图 1 菜子湖大型底栖动物调查的采样点

Fig. 1 Sampling sites for the surveys of macrozoobenthos in Caizi Lake

嬉子湖 X1—X4 为天然捕捞区, X5—X15 为鱼类混养区, 白兔湖和菜子湖均为鱼蟹混养

表 1 菜子湖大型底栖动物组成
Table 1 Macrozoobenthos in Caizi Lake

种名 Species	密度(生物量) Density/(个/m ²) (Biomass/(g/m ²))			2001 年调查记录 Data from the survey in 2001
	嬉子湖 Xizi Lake	菜子湖 Caizi Lake	白兔湖 Baitu Lake	
环节动物 Annelida				
腹平扁蛭 <i>Glossiphonia complanata</i>		0.143 (0.001)	0.229 (0.003)	+
齿吻沙蚕属一种 <i>Nephtys</i> sp.		0.238 (0.008)		+
医蛭属一种 <i>Hirudo</i> sp.			0.343 (0.006)	
中华颤蚓 <i>Tubifex sinicus</i>	0.152 (0.002)	0.095 (0.001)	+	
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	7.848 (0.144)	7.381 (0.084)	7.429 (0.074)	+
前囊管水蚓 <i>Aulodrilus prothecatus</i>	5.333 (0.059)	3.905 (0.018)	3.886 (0.035)	+
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	3.048 (0.007)	0.810 (0.008)	0.686 (0.001)	+
软体动物 Mollusca				
方形环棱螺 <i>Bellamyia quadrata</i>	0.076 (0.152)	0.238 (0.581)	+	+
铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>	0.457 (0.852)	4.000 (4.630)	6.857 (6.320)	+
梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	0.457 (1.081)	7.143 (10.240)	4.343 (4.993)	+
中华圆田螺 <i>Cipangopaludina cathayensis</i>		+	+	
湖北钉螺 <i>Oncomelania hupensis</i>			+	
长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	0.076 (0.018)	5.238 (1.310)	18.057 (2.944)	+
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>		2.810 (1.021)	4.571 (1.389)	+
大沼螺 <i>Parafossarulus eximius</i>	0.457 (0.549)	2.143 (1.451)	2.400 (0.870)	
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>		0.286 (0.205)	0.114 (0.030)	+
大脐圆扁螺 <i>Hippeutis umbilicalis</i>		+	+	+
淡水壳菜 <i>Limnoperna lacustris</i>		0.429 (0.062)	+	
圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>		0.190 (1.950)	+	+
扭蚌 <i>Arconaia lanceolata</i>		+	+	+
剑状矛蚌 <i>Lanceolaria gladiola</i>		+	+	+
短褶矛蚌 <i>Lanceolaria grayana</i>		+	+	
射线裂脊蚌 <i>Schistodesmus lampreyanus</i>	0.076 (5.094)	+		
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i>	0.076 (8.838)	0.095 (0.456)	0.571 (0.661)	+
球形无齿蚌 <i>Anodonta globosula</i>		+	+	+
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>		0.095 (0.062)	0.229 (0.045)	+
节肢动物 Arthropoda				
前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.	0.076 (0.000)			+
菱跗摇蚊属一种 <i>Clinotanyus</i> sp.	0.610 (0.003)	0.238 (0.000)	0.457 (0.000)	+
指突隐摇蚊 <i>Cryptochironomus digitatus</i>	2.819 (0.008)	0.333 (0.004)	2.057 (0.002)	+
多足摇蚊属一种 <i>Polypedilum</i> sp.	1.448 (0.002)		0.800 (0.000)	+
流水长跗摇蚊属一种 <i>Rheotantarsus</i> sp.	1.371 (0.003)	0.238 (0.000)	1.371 (0.003)	+
摇蚊属一种 <i>Tendipes</i> sp.	38.552 (0.509)	1.143 (0.001)	3.886 (0.004)	
细长摇蚊 <i>Tendipes attenuatus</i>	4.114 (0.020)	0.238 (0.000)	2.971 (0.005)	+
毛突摇蚊属一种 <i>Trichocladius</i> sp.	11.886 (0.070)		0.114 (0.001)	
侧叶雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes lobiferus</i>			0.457 (0.001)	
罗干小突摇蚊 <i>Micropsectra logana</i>	0.152 (0.000)			
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>		0.048 (0.004)	+	
蜉蝣属一种 <i>Ephemera</i> sp.	0.076 (0.000)	+	+	+
虻属一种 <i>Tabanidae</i> sp.	+	+	+	+

+ 代表各个种类在对应湖区存在

表 2 菜子湖大型底栖动物的优势种及其密度

Table 2 Dominant species and density in the three regions of Caizi lake regions

湖区 Region	优势种 Dominant species	密度 Density/(个/m ²)	所占比例 Percentage/%
白兔湖 Baitu Lake	长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	18.06	28.17
	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	7.43	11.59
	铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>	6.86	10.70
嬉子湖 Xizi Lake	摇蚊属 <i>Tendipes</i> sp.	38.55	48.42
	毛突摇蚊属 <i>Trichocladius</i> sp.	11.89	14.93
	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	7.85	9.86
菜子湖 Caizi Lake	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	7.38	19.92
	梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	7.14	19.27
	长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	5.24	14.14
全湖 Whole Lake	摇蚊属 <i>Tendipes</i> sp.	13.15	23.54
	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	7.53	13.48
	长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	6.27	11.22

3.2 密度和生物量

3.2.1 密度和生物量的空间分布

3 个湖区中大型底栖动物平均密度为 (55.20 ± 76.25) 个/m², 平均生物量为 (19.56 ± 65.37) g/m²。3 个湖区中环节动物的密度差异不显著 ($F_{2,340} = 2.836$, $P = 0.060$), 生物量差异显著 ($F_{2,340} = 4.694$, $P = 0.010$); 节肢动物的密度 ($F_{2,340} = 25.522$, $P = 0.000$) 和生物量 ($F_{2,340} = 23.095$, $P = 0.000$) 以及软体动物的密度 ($F_{2,340} = 24.307$, $P = 0.000$) 和生物量 ($F_{2,340} = 9.710$, $P = 0.000$) 在 3 个湖区间差异均达到极显著 (表 3)。其中, 嬉子湖环节动物的生物量显著大于白兔湖 ($P < 0.05$) 和菜子湖 ($P < 0.01$); 嬉子湖节肢动物的密度和生物量均显著大于白兔湖 ($P < 0.01$) 和菜子湖 ($P < 0.01$); 白兔湖和菜子湖的软体动物密度和生物量均显著大于嬉子湖 ($P < 0.01$); 白兔湖和菜子湖之间环节动物生物量、节肢动物的密度和生物量、软体动物的生物量差异均不显著 ($P > 0.05$) (表 4)。

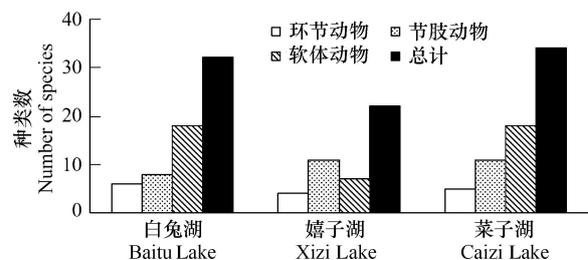


图 2 3 个湖区中大型底栖动物各主要类群的种类数

Fig. 2 Species numbers of the major groups in the three lakes

表 3 3 个湖区大型底栖动物的密度/(个/m²)和生物量/(g/m²)Table 3 Density (ind./m²) and biomass (g/m²) of macrozoobenthos in the three lake regions

湖区 Lake regions	环节动物 Annelida		节肢动物 Arthropoda		软体动物 Mollusca	
	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass
白兔湖 Baitu Lake (n = 70)	12.00 ± 13.87	0.12 ± 0.24	13.94 ± 21.04	0.02 ± 0.04	37.49 ± 48.07	17.34 ± 28.26
嬉子湖 Xizi Lake (n = 105)	16.23 ± 14.94	0.21 ± 0.25	61.71 ± 121.27	0.62 ± 1.38	1.83 ± 8.96	16.59 ± 104.87
菜子湖 Caizi Lake (n = 168)	12.29 ± 14.38	0.11 ± 0.29	2.24 ± 7.22	0.01 ± 0.05	21.91 ± 36.78	21.58 ± 39.48

3.2.2 密度和生物量的季节变动

环节动物的密度四季间差异不显著 ($F_{3,339} = 4.69$, $P = 0.600$), 生物量差异显著 ($F_{3,339} = 2.907$, $P = 0.035$), 节肢动物的密度 ($F_{3,339} = 4.217$, $P = 0.006$) 和生物量 ($F_{3,339} = 6.328$, $P = 0.000$) 四季间差异均达到极显著, 软体动物的密度 ($F_{3,339} = 5.459$, $P = 0.001$) 和生物量 ($F_{3,339} = 4.057$, $P = 0.007$) 四季间差异极显著 (表 5)。其中, 夏季环节动物的生物量显著大于秋季 ($P < 0.05$) 和冬季 ($P < 0.05$), 夏季和秋季环节动物的生物

量差异不显著($P > 0.05$);节肢动物在春季、秋季($P < 0.05$)以及冬季($P < 0.01$)的密度显著大于夏季,冬季生物量显著大于春季、夏季和秋季($P < 0.01$);春季、夏季和秋季的节肢动物生物量差异不显著($P > 0.05$);软体动物在夏季($P < 0.05$)和秋季($P < 0.01$)的密度显著大于春季,软体动物在秋季的生物量显著大于春季和夏季($P < 0.01$)(表6)。

表4 3个湖区大型底栖动物密度和生物量的多重比较
Table 4 Multiple comparison of density and biomass among the three lake regions

湖区 Lake regions	环节动物 Annelida		节肢动物 Arthropoda		软体动物 Mollusca	
	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass
B—X 平均差 Mean difference	-4.229	-0.093	-47.771	-0.599	35.657	13.226
<i>P</i>	0.059	0.025*	0.000**	0.000**	0.000**	0.008**
X—C 平均差 Mean difference	3.943	0.096	8.450	0.611	-20.076	-17.473
<i>P</i>	0.061	0.004**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
B—C 平均差 Mean difference	-0.286	0.004	9.663	0.013	15.581	-4.246
<i>P</i>	0.890	0.918	0.227	0.906	0.001**	0.354

B、X、C 分别代表白兔湖、嬉子湖、菜子湖,多重比较时,B—X,X—C,B—C 即表示两个湖区之间进行各类群密度和生物量的多重比较;
* $P < 0.05$; ** $P < 0.001$

表5 不同类群在各个季节的密度/(个/m²)和生物量/(g/m²)
Table 5 Density (ind./m²) and biomass (g/m²) of different macrozoobenthic groups in seasons

季节 Season	环节动物 Annelida		节肢动物 Arthropoda		软体动物 Mollusca	
	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass
春季 Spring($n = 98$)	13.22 ± 14.40	0.15 ± 0.23	27.35 ± 88.36	0.14 ± 0.60	7.92 ± 15.30	9.78 ± 26.59
夏季 Summer($n = 98$)	12.25 ± 13.31	0.20 ± 0.38	6.86 ± 14.80	0.02 ± 0.06	20.33 ± 39.88	10.81 ± 21.26
秋季 Autumn($n = 98$)	15.02 ± 14.72	0.10 ± 0.18	20.49 ± 48.64	0.21 ± 0.73	28.33 ± 47.73	28.93 ± 69.19
冬季 Winter($n = 49$)	13.06 ± 6.79	0.09 ± 0.18	50.45 ± 123.44	0.62 ± 1.63	19.43 ± 25.56	35.25 ± 132.83

表6 四季间大型底栖动物密度和生物量的多重比较
Table 6 Multiple comparison of density and biomass among four seasons

季节 Season	环节动物 Annelida		节肢动物 Arthropoda		软体动物 Mollusca	
	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass
1—2 平均差 Mean difference	0.980	-0.044	20.490	0.123	-12.408	-1.030
<i>P</i>	0.638	0.248	0.046*	0.280	0.015*	0.825
1—3 平均差 Mean difference	-1.796	0.054	6.857	-0.067	-20.408	-14.250
<i>P</i>	0.388	0.153	0.503	0.555	0.000**	0.002**
1—4 平均差 Mean difference	0.163	0.062	-23.102	-0.472	-11.510	-8.525
<i>P</i>	0.949	0.188	0.066	0.001**	0.065	0.135
2—3 平均差 Mean difference	-2.776	0.099	-13.633	-0.190	-8.000	-13.220
<i>P</i>	0.183	0.010*	0.184	0.095	0.116	0.005**
2—4 平均差 Mean difference	-0.816	0.106	-43.592	-0.595	0.898	-7.496
<i>P</i>	0.749	0.024*	0.001**	0.000**	0.885	0.189
3—4 平均差 Mean difference	1.959	0.007	-29.959	-0.405	8.898	5.725
<i>P</i>	0.442	0.880	0.017*	0.004**	0.154	0.315

1、2、3、4 分别代表春夏秋冬四季,1—2,1—3,1—4,2—3,2—4,3—4 即表示对任意两个季节间的各类群的密度和生物量进行多重比较;
* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

3.3 群落多样性及其空间差异

白兔湖、嬉子湖、菜子湖中的大型底栖动物的 Shannon-Wiener 指数分别为 2.25、1.44、1.71, Margalef 指数

分别为 3.79、3.16、3.30(图 3)。

对 49 个采样点的大型底栖动物群落的聚类分析表明,菜子湖大型底栖动物的群落可分为 3 组,嬉子湖鱼类混养区 11 个采样点聚为 1 组;菜子湖中的 14 个采样点聚为 1 组;菜子湖其余 10 个样点与白兔湖中全部 10 个样点以及嬉子湖北部非养殖区的 4 个样点聚为 1 组。同时,白兔湖和菜子湖以及嬉子湖非养殖区(X1—X4)又具有较高的相似性(图 4)。因此,白兔湖和菜子湖以及嬉子湖非养殖区的 4 个样点的大型底栖动物的群落结构与嬉子湖鱼类混养区存在较大的差异。

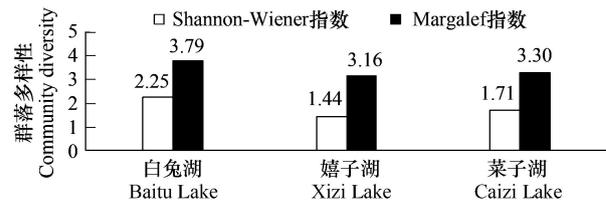


图 3 菜子湖大型底栖动物群落的多样性

Fig. 3 Macrozoobenthic community diversity in the three lake regions

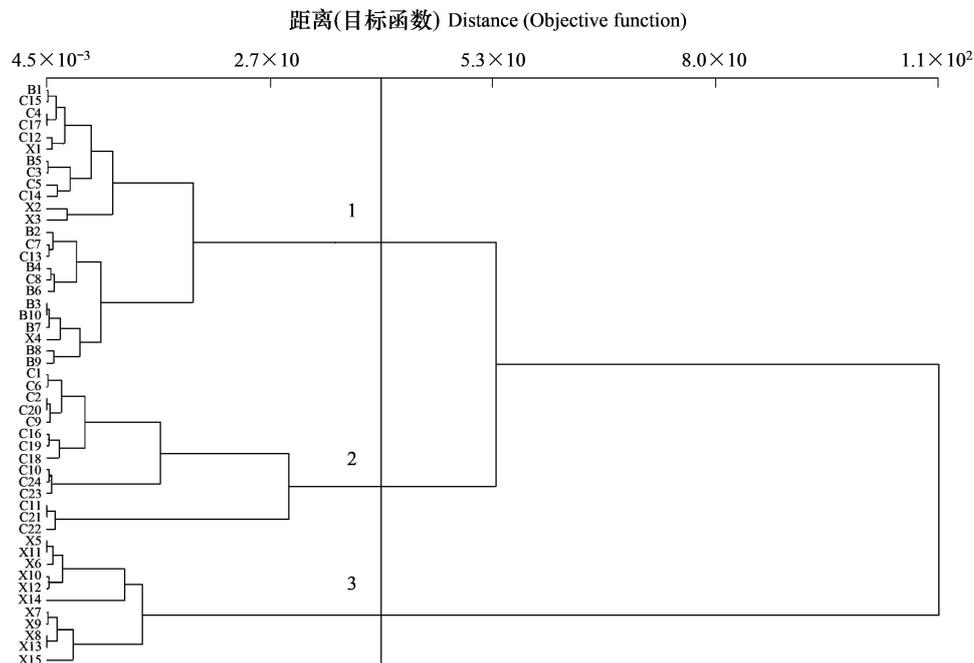


图 4 大型底栖动物群落的聚类分析

Fig. 4 Cluster dendrogram of the macrozoobenthic community in Caizi Lake

B: 白兔湖和 C: 菜子湖,两者均为鱼蟹混养区,X: 嬉子湖,其中 X1、X2、X3、X4 属于天然捕捞区,其余样点属于鱼类混养区

4 讨论

4.1 菜子湖大型底栖动物群落的时空特征

一般认为,湖泊渔业养殖对大型底栖动物群落结构有显著的影响^[8],包括养殖对象直接捕食大型底栖动物和通过破坏沉水植被改变其栖息环境,尤其是对软体动物的影响较大^[10,21-23]。研究表明,白兔湖和菜子湖软体动物的密度和生物量均显著大于嬉子湖($P < 0.05$)。嬉子湖发展围网养殖最早,前期持续高密度养殖中华绒螯蟹,造成沉水植被等渔业资源枯竭,而白兔湖和菜子湖发展较晚,目前仍分布有较大面积的沉水植被,养殖造成的沉水植被分布差异可能是软体动物分布差异的重要原因。通常夏季是软体动物食物充足,生长速度快的时期,但本研究中软体动物在夏季的密度((20.33 ± 39.88) 个/ m^2)和生物量((10.81 ± 21.26) g/m^2)并未达到最大值,尤其是生物量与春季((9.78 ± 26.59) g/m^2)相比增加很少,这可能与夏季正值中华绒螯蟹和鱼类的生长旺季,中华绒螯蟹大量捕食软体动物有关^[24-25]。秋季中华绒螯蟹被捕捞后,软体动物的密度((28.33 ± 47.73) 个/ m^2)和生物量((28.93 ± 69.19) g/m^2)均增长较快。因此,长期高密度的渔业养殖可能是造成嬉子湖软体动物密度和生物量很小的一个重要原因。同时本次调查发现嬉子湖死亡软体动物的

螺壳和贝壳远多于白兔湖和菜子湖,这也间接说明嬉子湖软体动物受到的破坏更为严重。

修建堤坝会改变所在水域的水深、底质等环境要素,是对湖泊生态系统影响最为剧烈的干扰因素之一^[12, 26]。堤坝建成后,水文的波动减缓,引起悬浊物大量沉积,摇蚊的密度会随水深和沉积物的增加而增大,喜好栖息于浅滩周围石质和沙质环境的软体动物则逐渐减少^[20, 27],从而引起大型底栖动物的群落随着时间的推移产生次生演替,影响大型底栖动物的群落构成^[28-29]。本研究中,嬉子湖南端与菜子湖交界处建有堤坝,丰水季节湖水漫过堤坝,与菜子湖和白兔湖连通。枯水期水位低于堤坝,嬉子湖仍保持约 1m 的水深,水文环境趋于静态,沉积物深度多在 20—40cm,石质和沙质底质大量减少。白兔湖和菜子湖通过枞阳闸与长江连通,季节性水文变动较为剧烈,流水对沉积物冲刷力度大,石质和沙质底质分布较广。因此,修建堤坝引起的水深和底质的改变可能是造成嬉子湖节肢动物密度显著大于白兔湖和菜子湖,而软体动物密度很小的重要原因之一。

环节动物中的寡毛类和节肢动物中的摇蚊等耐污能力强的种类,通常在营养水平高的湖区成为优势种,但软体动物种类和数量随营养水平的升高而减少^[18, 30]。因此,大型底栖动物的群落特征能够反映湖泊受到扰动的状况^[31]。本研究中,嬉子湖环节动物生物量显著大于白兔湖($P < 0.05$)和菜子湖($P < 0.01$),同时嬉子湖节肢动物的密度和生物量均显著大于白兔湖($P < 0.01$)和菜子湖($P < 0.01$)。嬉子湖沉水植被受到中华绒螯蟹的破坏较为严重,而沉水植被能有效吸收沉积物中的营养元素^[32-33],沉水植被破坏后,营养元素无法通过食物链被草食性鱼类、中华绒螯蟹等消费者利用,同时堤坝对沉积物输出产生阻隔,会造成营养元素输出量减少^[34]。这可能是使得摇蚊等耐污种逐渐成为嬉子湖大型底栖动物优势种的另一原因,但菜子湖不同湖区的营养水平及其对大型底栖动物群落结构产生的影响程度有待于进一步的研究。

4.2 菜子湖大型底栖动物群落的演变趋势

渔业养殖、水利工程、污染等人为干扰都会影响湖泊大型底栖动物的生存,长期高强度的人为干扰会超越群落的自我恢复能力,从而改变大型底栖动物的群落结构^[2, 35-36]。自 20 世纪 50 年代以来,菜子湖被大量围垦,造成湖泊面积急剧减少,嬉子湖南端的堤坝阻碍了湖区之间水的交换,改变了水文环境,水体趋于静态^[18];湖区周边农田密布,化肥和农药使用量大,仅枞阳县每年的化肥使用量就高达 20158 t,农药使用量达 1241 t,大量的化肥和农药随地面径流进入湖泊^[25, 37-39];高密度的围网养殖使得沉水植被大量减少,这些人为干扰活动对菜子湖的影响日趋明显。

2001 年安庆沿江湿地科学考察中对菜子湖大型底栖动物分两次进行了调查,样点个数分别为 21 和 26 个,本研究对 49 个样点进行了 7 次调查。在种类组成方面,本次调查新发现大型底栖动物 11 种。2001 年调查的优势种包括尾鳃蚓、环棱螺(*Bellamya* sp.)、摇蚊幼虫。本次调查以耐污能力强的摇蚊属幼虫密度最大,其次是苏氏尾鳃蚓、长角涵螺。中国湖泊志中记载河蚬(*Corbicula fluminea*)、背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)等软体动物在菜子湖大量分布^[17],目前仅在部分生境较好的滩涂有少量分布。

与 2001 年安庆沿江湿地科学考察报告中的数据相比,大型底栖动物的密度和生物量都显著减少,分别仅为 2001 年的 71.7% 和 60.0%。本次新发现大型底栖动物 11 种,但多数种类的密度较低,虽然罗干小突摇蚊(*Micropsectra logana*),侧叶雕翅摇蚊(*Glyptotendipes lobiferus*)等个别种类的密度较高,但由于其生物量较小,并不能改变大型底栖动物密度和生物量减少的事实。其中,软体动物密度变化很小,但生物量仅为 2001 年的 63.0%,表明个体较大的软体动物大量减少,软体动物个体趋于小型化。环节动物的密度和生物量明显减少,其密度仅为 2001 年的 40.0%,这可能是由于湖区养殖密度普遍较高,捕食压力大,造成环节动物大量减少。节肢动物密度变化较小,这是因为摇蚊幼虫在夏季大量羽化,避开了中华绒螯蟹和鱼类的捕食高峰,加之部分湖区沉水植被破坏严重,营养元素输出受阻,可能导致营养水平升高,而摇蚊幼虫耐污能力强^[38],数量大量增加所致(表 7)。

与菜子湖大型底栖动物的密度和生物量的变化趋势相同,2001 年调查报告中菜子湖大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数为 3.85,本次结果仅为 1.80,表明菜子湖大型底栖动物的群落多样性已显著降低。这同

样是由于多数新增种类的密度极低,如湖北钉螺(*Oncomelania hupensis*)、射线裂脊蚌(*Schistodesmus lampreyanus*)、短褶矛蚌(*Lanceolaria grayana*)等种类仅发现一两个活体,因此并不能掩盖其群落多样性降低的趋势。

表 7 本次调查和 2001 年菜子湖大型底栖动物组成比较*

Table 7 Comparison of present survey results of macrozoobenthos in Caizi Lake with those in 2001

类群 Groups	软体动物 Mollusca		环节动物 Annelida		节肢动物 Arthropoda		总计 Total	
	2001 年	本次	2001 年	本次	2001 年	本次	2001 年	本次
物种数 Number of species	11	19	5	7	12	13	28	39
密度 Density/(个/m ²)	18.08	18.94	34.62	13.43	24.3	22.83	77	55.20
生物量 Biomass/(g/m ²)	30.76	19.19	1.77	0.14	0.18	0.20	32.71	19.56

安庆林业局. 安庆沿江湿地科学考察报告, 2001.

聚类分析表明白兔湖和菜子湖大型底栖动物的群落相似性较高,而两者均与嬉子湖鱼类混养区的群落相似性较低。由于嬉子湖养殖年限长,加之嬉子湖南端与菜子湖交界处建有堤坝,适宜软体动物生存的沙质和石质底质大量减少,软体动物密度仅为(1.83 ± 8.96) 个/m²,远低于白兔湖和菜子湖,其大型底栖动物的群落结构已经和另外两个湖区产生了较大的差异。

根据以上研究结果,在菜子湖应降低中华绒螯蟹、草鱼的养殖密度,实施沉水植被和水生生物种群恢复等湿地恢复工程,引导渔民采用养殖鳊鱼、鲢鱼为主,混养少量中华绒螯蟹和其他经济鱼类的养殖模式,以发展可持续渔业,维持湖泊生态系统的健康和稳定。

致谢:在野外采样过程中得到本课题组周波、刘彬、薛委委、陈军林等同学的大力协助,同时得到菜子湖湖区渔民的大力支持,在动物分类鉴定方面得到姚闻卿和万霞副教授的帮助,同时得到本院孙庆业和周忠泽教授、张保卫副教授以及马秀玲、王丽君等同学的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Xie Z C, Ma K, Ye L, Chen J, Cai Q H. Structure and special distributional pattern of macrozoobenthos in Baoan Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(2): 174-183.
- [2] Morten L P, Nikolai F, Jens S, Annette B P, Søren E L. Restoration of skjern river and its valley-short-term effects on river habitats, macrophytes and macroinvertebrates. *Ecological Engineering*, 2007, 30: 145-156.
- [3] Brown S C, Smith K, Batzer D. Macroinvertebrate responses to wetland restoration in northern New York. *Environmental Entomology*, 1997, 26: 1016-1024.
- [4] Jost B, Wolfgang S. The seasonal succession of macroinvertebrates, in particular the Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), in the river rhine and two neighbouring gravel-pit lakes monitored using artificial substrates. *Hydrobiologia*, 2002, 87(2/3): 165-181.
- [5] Gong Z J, Xie P, Tang H J, Wang S D. The influence of eutrophication upon community structure and biodiversity of macroinvertebrates. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(3): 210-216.
- [6] Theodoros K. Seasonal Variation of the macrozoobenthic community structure at low salinities in a Mediterranean lagoon (Monolimni Lagoon, Northern Aegean). *Hydrobiologia*, 2004, 89(4): 407-425.
- [7] Jonas M S, Eva B, Gunnar A. Impact of cyprinid reduction on the benthic macroinvertebrate community and implications for increased nitrogen retention. *Hydrobiologia*, 1999, 404: 99-112.
- [8] Yu H X, Jiang C. Effects of stocking Chinese mitten crab on zoobenthos and aquaticvascular plant in East Lake Reservoir Heilongjiang, China. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(4): 430-434.
- [9] Flinders C A, Horwitz R J, Belton T. Relationship of fish and macroinvertebrate communities in the mid-Atlantic uplands: Implications for integrated assessments. *Ecological Indicators*, 2008, 8: 588-598.
- [10] Chen H D. Impact of aquaculture on the ecosystem the Donghu Lake, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, 13(4): 359-368.
- [11] Xu Q Q, Wang H Z, Zhang S P. The impact of overstocking of mitten crabs, *Eriocheir sinensis*, on lacustrine zoobenthic communit. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(1): 41-46.
- [12] Jorcin A, Nogueira M G. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment-water interface characteristics along a cascade of reservoirs

- (Parapanema River, south-east Brazil). *Lakes. Reserv. Res. Manage.*, 2005, 10 (1): 1-12.
- [13] Silva C A, Train S, Rodrigues L C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 2005, 537 (1/3): 99-109.
- [14] Collin K B, James T A, Ronald H F. Aquatic macroinvertebrate assemblages in mitigated and natural wetlands. *Hydrobiologia*, 2005, 541: 175-188.
- [15] Liu Q G, Kong Y J, Chen L Q, Bo Y E, Yan W B. Effect of pen aquaculture on community structure and species diversity zoobenthos in Gehu Lake. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2005, 11(5): 566-570.
- [16] Mark B, Chen L W, Cao L. Waterbird Suevey of the Middle and Lower Yangtze River Floodplain in February 2005. Beijing: China Forestry Press, 2006.
- [17] Wang S M, Dou H S. *Annals of Chinese Lakes*. Beijing: Science Press, 1998.
- [18] Jin B S, Zhou B H. Multi-temporal dynamic change of the lake water area in Anqing along the Yangtze Rive in the past twenty years. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2008, 77(3): 74-77.
- [19] Lu S, Lu L, Ling S J, Ling S J, Xuan G F. Impact of human activities on lakes and wetland along the Yangtze Rive in Anqing, Anhui Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basi*, 2004, 13(1): 65-71.
- [20] Xiong F, Li W C, Pan J Z. Spatial distribution and its environmental analysis of chironomid larvae in Fuxian Lake of Yunnan Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 179-184.
- [21] Marcel S B, Hugo C, Ruurd N, John V S, Jan S. Macroinvertebrate communities in relation to submerged vegetation in two chara-dominated lakes. *Hydrobiologia*, 1997, 342/343: 43-150.
- [22] Batzer D P, Pusateri C R, Vetter R. Impacts of fish predation on marsh invertebrates: direct and indirect effects. *Wetlands*, 2000, 20: 307-312.
- [23] Bai X L, Gu X H, He J. *Bellamyia* sp. and its interaction with submerged macrophytes in Lake Taihu. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 1032-1037.
- [24] Wu W, Wu T T, He J, Fan L M. Influences of crab eco-culture in net-enclosures in East Taihu Lake on water. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15 (2): 140-146.
- [25] Liu X, He L H, Zhou C. Study on lake surface area change in the mid-lower reaches of the Yangtze River based on the remote sensing technique. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2008, 4: 124-129.
- [26] Callisto M, Goulart M, Barbosa F. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower San Francisco River (northeastern Brazil). *Braz. J. Bio.*, 2005, 65(2): 229-240.
- [27] Shao M L, Xie Z C, Ye L, Cai Q H. Monthly change of community structure of zoobenthos in Xiangxi Bay after impoundment of three gorges reservoirs. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 64-69.
- [28] Park Y S, Chang J B, Lek S. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam. *Conserv. Biol.*, 2003, 17 (6): 1748-1758.
- [29] Dynesius M, Nilsson C. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, 1994, 266: 753-762.
- [30] James R T, David D H, Donald F C, Timothy L N, Diane M W. Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 2005, 24: 192-207.
- [31] Inga N, Fadlan A H, Ronald J, Joko P. Spatio-temporal variation of macrobenthic communities in the mangrove-fringed Segara Anakan lagoon, Indonesia, affected by anthropogenic activities. *Regional Environmental Change*, 2009, 97: 1-23.
- [32] Lehmann A, Lachavanne J B. Changes in the water quality of Lake Geneva indicated by submerged macrophytes. *Freshwater Biology*, 1999, 42: 457-466.
- [33] Ma K, Cai Q H, Xie Z C, Li D F, Liu R Q. Influences of submerged macrophytes distribution pattern on nitrogen and phosphorous factors of water environment in lakes. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(3): 232-23.
- [34] Sun X B, Cui F Y, Zhang J S, Bo X J, Liu L J. Excessive propagation and ecological control of chironomus larva in raw water. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2006, 7(8): 1-5.
- [35] Tarr T L, Baber M, Babbitt K J. Macroinvertebrate community structure across a wetland hydroperiod gradient in southern New Hampshire, USA. *Wetlands Ecology and Management*, 2005, 13: 321-334.
- [36] Jiang W X, Cai Q H, Tang T, Wn N C, Fu X C, Li F Q, Liu R Q. Spatial distribution of macroinvertebrates in Xiangxi River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2443-2448.
- [37] Qin B Q. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River. *Journal of Lake Sicences*, 2002, 14(3): 193-202.
- [38] Lv G J, Xiong B X, Liu M, Yang X F, Tan L, Chen P, Xu W, Liu J L. The community structure of macrozoobenthos and water quality assessment

on different trophic types of reservoirs. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5339-5349.

- [39] Liu Y H, Chen H Y. Current status and conservation strategy of agriculture-ecology environment, *Zongyang, Anhui Agri. Sci. Bull.* 2004, 10(6): 6, 57.

参考文献:

- [1] 谢志才, 马凯, 叶麟, 陈静, 蔡庆华. 保安湖大型底栖动物结构与分布格局研究. *水生生物学报*. 2007, 27(2): 174-183.
- [5] 龚志军, 谢平, 唐汇涓, 王士达. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响. *水生生物学报*. 2001, 25(3): 210-216.
- [8] 于洪贤, 蒋超. 放养河蟹对黑龙江东湖水库底栖动物和水生维管束植物的影响. *水生生物学报*, 2005, 29(4): 430-434.
- [10] 陈洪达. 养鱼对武汉东湖生态系的影响. *水生生物学报*, 1989, 13(4): 359-368.
- [11] 许巧情, 王洪铸, 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.
- [15] 刘其根, 孔优佳, 陈立侨, 卜一凡, 严卫兵. 网围养殖对漏湖底栖动物群落组成及物种多样性的影响. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(5): 566-570.
- [16] 马克·巴特, 陈立伟, 曹垒. 长江中下游水鸟调查报告. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [17] 王苏民, 窦洪身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 金宝石, 周葆华. 安庆沿江湖泊近 20 年水域多时相动态演变. *国土资源遥感*, 2008, 77(3): 74-77.
- [19] 卢松, 陆林, 凌善金, 宣国富. 人类活动对安庆沿江湖泊湿地影响的初步研究. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(1): 65-71.
- [20] 熊飞, 李文朝, 潘继征. 云南抚仙湖摇蚊幼虫的空间分布及其环境分析. *应用生态学报*, 2008, 18(1): 179-184.
- [23] 白秀玲, 谷孝鸿, 何俊. 太湖环棱螺(*Bellamyia* sp.)及其与沉水植物的相互作用. *生态学报*, 2009, 29(2): 1032-1037.
- [24] 吴伟, 吴婷婷, 何杰, 范立民. 东太湖河蟹围网生态养殖对水环境的影响. *中国农业生态学报*, 2007, 15(2): 140-146.
- [25] 刘新, 何隆华, 周驰. 长江中下游近 30 年来湖泊的水域面积变化研究. *华东师范大学学报自然科学版*, 2008, 4: 125-129.
- [27] 邵美玲, 谢志才, 叶麟, 蔡庆华. 三峡水库蓄水后香溪河库湾底栖动物群落结构的变化. *水生生物学报*, 2006, 30(1): 64-69.
- [33] 马凯, 蔡庆华, 谢志才, 黎道丰, 刘瑞秋. 沉水植物分布格局对湖泊水环境 N、P 因子影响. *水生生物学报*, 2003, 27(3): 232-237.
- [34] 孙兴滨, 崔福义, 张金松, 卜祥菊, 刘丽君. 水源水中摇蚊幼虫的孳生与生态控制. *环境污染治理技术与设备*, 2006, 7(8): 1-5.
- [36] 蒋万祥, 蔡庆华, 唐涛, 吴乃成, 傅小城, 李凤清, 刘瑞秋. 香溪河大型底栖无脊椎动物空间分布. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2443-2448.
- [37] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探. *湖泊科学*, 2002, 14(3): 193-202.
- [38] 吕光俊, 熊邦喜, 刘敏, 杨学芬, 覃亮, 陈朋, 徐微, 刘俊利. 不同营养类型水库大型底栖动物的群落结构特征及其水质评价. *生态学报*, 2009, 29(10): 5339-5349.
- [39] 刘玉虎, 陈后银. 枞阳县农业生态环境现状及保护对策. *安徽农学通报*, 2004, 10(6): 6, 57.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO₂ concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

Review and Monograph

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

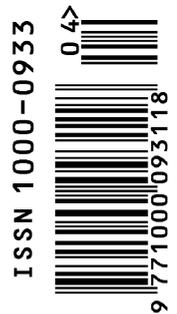
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元