

武汉市南湖大型底栖动物的群落结构*

王银东, 熊邦喜**, 杨学芬

(华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 2003年7月至2004年4月, 每季度对武汉市南湖大型底栖动物进行定量和定性的采样分析, 共发现大型底栖动物30种, 优势种为霍甫水丝蚓和刺铗长足摇蚊, 均呈聚集分布; 大型底栖动物的年均密度和生物量分别为4437 ind/m²和17.79 g/m², 其密度和生物量春季最高, Shannon-Wiener多样性指数和Margalef多样性指数的年均值分别为1.515和1.123。比较分析了南湖大型底栖动物组成的历史变化, 对水环境进行了生物学评价, 并提出了南湖大型底栖动物合理利用的建议。

关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 南湖; 多样性

Community Structure of Macrozoobenthos in Lake Nanhu, Wuhan, China

WANG Yindong, XIONG Bangxi & YANG Xuefen

(Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China)

Abstract: Lake Nanhu (30°30'N, 114°21'E) situated in Wuhan City, Hubei Province of China, is an eutrophic shallow lake along the middle reaches of Yangtze River, with a main surface area 400 hm² of aquaculture. In order to provide academic data for reasonable utilization of aquatic resource and ecological strategy to protect aquatic environment, macrozoobenthos were collected at 10 sampling stations seasonally and some random sampling stations frequently in Lake Nanhu, during the period of investigation from July 2003 to April 2004. A total of 30 species were identified, including 10 species of oligochaeta, 4 mollusca, 14 aquatic insecta, 1 hirudinea and 1 decapoda. Only oligochaeta and aquatic insecta were found at 10 sampling stations. The dominant species were *Limnodrilus hoffmeisteri* and *Tanytus punctipennis*, and I_{δ} -index indicated their distribution were aggregated.

The density and biomass of macrozoobenthos in the lake were 4437 ind/m² and 17.79 g/m², respectively. The seasonal change of density was in spring > summer > autumn > winter; and biomass ranked as in spring > winter > summer > autumn. The annual average value of Shannon-Wiener diversity index and the Margalef diversity index were 1.515 and 1.123, respectively. Macrozoobenthos was mainly composed of several polluted species, and many macrozoobenthos have disappeared within recent years based on comparing to the former study in Lake Nanhu. The fishery potential production of macrozoobenthos was 1.504 × 10⁴ kg. However, the omnivorous fishes annual stocking was 1.60 × 10⁴ kg since 2000, which was unreasonable and should be decreased to 5.0 × 10³ kg. Lake Nanhu was eutrophicated according to macrozoobenthos communities structure and the content of N, P in water. The water quality was evaluated by the diversities of macrozoobenthos communities structure.

Keywords: Macrozoobenthos; community structure; Lake Nanhu; diversity

武汉市南湖(30°30'N, 114°21'E)属长江中游浅水湖泊, 位于武汉市洪山区, 10年前湖水清澈见底, 原有水面近800 hm², 数十个湖汉、塘堰和沟渠构成了良好的自我调节、净化生态系统。近10年来, 随着城市的迅速发展, 填湖开发日益加剧, 南湖现有水面仅存400 hm², 加之湖周边人口已突破3万人, 目前仍呈快速增长趋势, 大量的生活污水流入湖中, 水体的富营养加剧, 湖内每年均发生“水华”和鱼类大量死亡现象。在蒙受经济损失的同时, 也严重影响湖周居民的生活环境和加剧水环境的污染, 为此, 武汉市已将南湖列为重点整治湖泊。

* 国家自然科学基金(30470342)、教育部博士学科点专项科研基金(20020504001)联合资助。2005-04-14收稿; 2005-07-30收修改稿。王银东, 男, 1970年生, 博士生。

** 通讯作者: 熊邦喜, E-mail: Bangxi8@mail.hzau.edu.cn.

大型底栖动物在湖泊生态系统中具有多种功能,它可以加速分解水底碎屑,促进泥水界面的物质交换和水体的自净,也是水生态系统营养生态位的重要环节,既摄食其它小型底栖生物和有机碎屑,又被鱼类等经济动物所捕食,同时,大型底栖动物还被应用于水质的生物学评价,成为水体环境监测的一个重要手段^[1-3]。另外,富营养湖泊中的摇蚊幼虫往往密度较大,绝大多数成虫羽化后飞往陆地,因而可作为富营养湖泊中氮、磷等营养物质的有效清除者。关于南湖大型底栖动物的前期研究,仅见摇蚊幼虫和圆背角无齿蚌的报道^[4-6]。近年来南湖水生态系统发生了较大的改变,对大型底栖动物必将产生很大的影响,因此本研究开展南湖大型底栖动物群落结构的调查分析,旨在为南湖富营养化的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间、采样点及水体主要理化指标

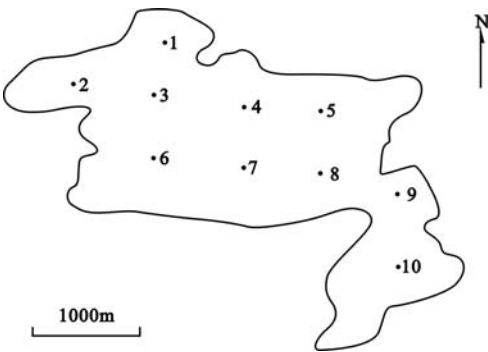


图1 南湖采样点分布示意图

Fig. 1 The sampling map of macrozoobenthos in Lake Nanhu

2003年7月(夏)、10月(秋)和2004年1月(冬)、4月(春)共采样四次,设置有代表性采样点10个(图1)。研究期间,南湖水体的主要理化指标分别为:透明度的变动范围为27.1-43.5 cm,均值33.6 cm;pH变动范围为7.59-8.88,均值8.22;溶解氧变动范围为4.92-11.56 mg/L,均值8.27 mg/L;总氮变动范围为6.27-8.24 mg/L,均值7.03 mg/L;总磷变动范围为0.68-0.86 mg/L,均值0.76 mg/L。2004年春季底泥中的总氮含量为4.765‰,总磷含量为0.544‰。

1.2 样品采集和处理

大型底栖动物使用1/16 m²改良彼德生采泥器采集,泥样经孔径为0.5 mm筛网洗涤,剩余物带回实验室置白磁盘活体挑出,样本以8%福尔马林固定后,鉴

定、计数并称重。研究期间增加南湖沿岸和湖内随机采样,以进行大型底栖动物的定性分析。

1.3 数据分析

大型底栖动物的多样性用Shannon-Wiener多样性指数^[7]和Margalef多样性指数^[8]分析,用Morisita提出的 I_{δ} 指数描述大型底栖动物优势种的空间分布型式^①:

$$I_{\delta} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i(X_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中 n 为样本数, N 为总个体数, X_i 为第 i 个样本中个体数, $I_{\delta} < 1$ 为均匀分布, $I_{\delta} = 1$ 为随机分布, $I_{\delta} > 1$ 为聚集分布。聚集度的显著性检验用计算值(F_o)^①:

$$F_o = \frac{I_{\delta}(N - 1) + n - N}{n - 1}$$

F_o 与方差分析中 F 表的 $n_1 = n - 1$, $n_2 = \infty$ 相对应处 F 值进行比较。

2 结果

2.1 大型底栖动物种类组成

南湖大型底栖动物共检测到30种,其中寡毛类10种,软体动物4种,水生昆虫14种,其它动物2种(表1)。定量样品仅由寡毛类和水生昆虫组成。寡毛类的年均密度为3381 ind/m²,生物量为9.70 g/m²,水生昆虫的年均密度为1056 ind/m²,生物量为8.09 g/m²。

① 龚志军. 长江中游浅水湖泊大型底栖动物的生态学研究. 博士学位论文,中国科学院武汉水生生物研究所, 2002.

表2 霍甫水丝蚓和刺铗长足摇蚊的密度、生物量及分布型式¹⁾

Tab.2 Density, biomass and distribution patterns of *L. hoffmeisteri* and *T. punctipennis*

| 种类 | 出现率(%) | 密度 (ind/m ²) | 生物量 (g/m ²) | 夏季 | | 秋季 | | 冬季 | | 春季 | |
|--------|--------|-----------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | I _δ | F ₀ | I _δ | F ₀ | I _δ | F ₀ | I _δ | F ₀ |
| 霍甫水丝蚓 | 100 | 3102 | 8.32 | 2.84 | 173.86 | 1.37 | 50.57 | 1.48 | 80.44 | 1.45 | 167.83 |
| 刺铗长足摇蚊 | 97.5 | 923 | 5.19 | 1.531 | 42.70 | 1.28 | 23.23 | 1.19 | 13.04 | 1.26 | 10.40 |

1) n=9, F_(0.05) = 1.88.

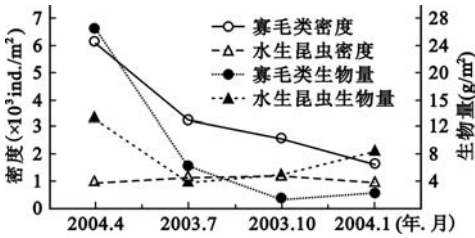


图2 各季度大型底栖动物的密度和生物量
Fig.2 Density and biomass of macrozoobenthos at different seasons

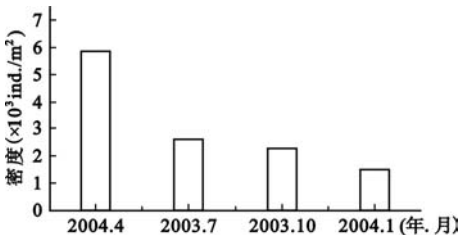


图3 霍甫水丝蚓密度的季节变化

Fig.3 Density variation of *L. hoffmeisteri* in seasons

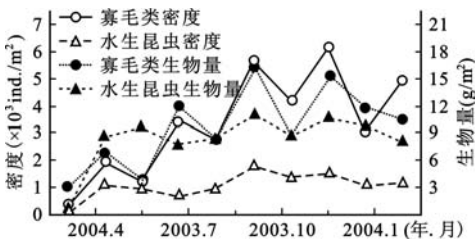


图4 各采样点大型底栖动物的密度和生物量
Fig.4 Density and biomass of macrozoobenthos at sampling sites

2.3 大型底栖动物密度和生物量的季节变化

大型底栖动物的密度和生物量的季节变化见图2。从图中可知,寡毛类密度的季节变化明显,春季最大,并远高于其它季节,其次是夏季、秋季和冬季。寡毛类生物量的季节变化趋势与密度相似,只是冬季略高于秋季,这是由于霍甫水丝蚓和苏氏尾鳃蚓在冬季样品中的平均个体比秋季大。水生昆虫的密度全年变化不大,而生物量则以春季最高,这主要是该季节样品中出现了大量体型较大的红裸须摇蚊,其生物量占水生昆虫生物量的61.1%,对春季水生昆虫生物量的贡献突出;夏季和秋季该种在样品中缺失,故整个水生昆虫的生物量相对较小。

大型底栖动物在不同季节的数量变化主要取决于霍甫水丝蚓个体数量的变动(图3),春季霍甫水丝蚓密度为 $5.91 \times 10^3 \text{ ind./m}^2$,从图3中可以看出春季明显高于其它季节,这是由于霍甫水丝蚓在春季大量繁殖,另一原因是2004年1月份南湖底层鲤、鲫等鱼类发生了大量的死亡,而减轻了霍甫水丝蚓被捕食压力的结果;到冬季其密度逐渐降低,则可能是受到自然死亡和被捕食的影响。

2.4 大型底栖动物密度和生物量的水平分布

大型底栖动物的密度和生物量的水平分布见图4。其中1号采样点大型底栖动物年均密度和生物量分别为 $0.48 \times 10^3 \text{ ind./m}^2$ 和 3.4 g/m^2 ,均远低于其它样点,这可能是由于该样点位于肿瘤医院的附近湖汉内,底质受到严重污染,而导致耐污力很强的霍甫水丝蚓也难以大量生存。

从图4中可知,寡毛类的密度在8号采样点最高,为 $0.48 \times 10^3 \text{ ind./m}^2$;生物量在6号采样点最高,为 15.37 g/m^2 ,各采样点中寡毛类的密度和生物量有明显的波动,而水生昆虫的密度和生物量在各采样点间(1号采样点除外)的变幅不大。

2.5 大型底栖动物的生物多样性

根据各季度在10个采样点中的大型底栖动物群落结构,计算出 Shannon-Wiener 多样性指数(H)和 Margalef 多样性指数(d') (表3)。

表3 南湖大型底栖动物多样性指数
Tab. 3 The diversity index of macrozoobenthos in Lake Nanhu

| 季节 | 指数 | 采样点 | | | | | | | | | | 平均 |
|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 春季 | H | 1.34 | 1.35 | 1.96 | 1.33 | 1.53 | 0.99 | 1.36 | 1.15 | 1.29 | 1.36 | 1.37 |
| | d | 1.08 | 1.24 | 1.37 | 1.11 | 1.01 | 0.73 | 1.01 | 0.88 | 0.97 | 1.03 | 1.04 |
| 夏季 | H | 0.99 | 1.55 | 1.76 | 1.46 | 0.89 | 1.24 | 0.75 | 1.27 | 1.93 | 1.17 | 1.30 |
| | d | 0.38 | 1.29 | 1.68 | 1.41 | 0.58 | 0.93 | 0.96 | 0.57 | 1.34 | 1.43 | 1.06 |
| 秋季 | H | 1.72 | 1.75 | 1.58 | 1.58 | 1.83 | 1.57 | 1.54 | 1.82 | 1.91 | 1.51 | 1.68 |
| | d | 1.42 | 1.20 | 1.03 | 1.10 | 1.05 | 1.01 | 0.89 | 1.18 | 1.51 | 1.00 | 1.14 |
| 冬季 | H | 1.05 | 1.63 | 1.96 | 2.11 | 2.11 | 1.58 | 1.50 | 1.79 | 2.06 | 1.34 | 1.71 |
| | d | 0.82 | 1.10 | 1.63 | 1.47 | 1.48 | 1.03 | 0.95 | 1.31 | 1.61 | 1.08 | 1.25 |

从表中可知,各采样点和季度的大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 多样性指数值均较低,年均值仅分别为 1.515 和 1.123,说明南湖底质环境较差,大型底栖动物群落结构不稳定,种群自我调节功能较弱,也进一步表明南湖的水环境恶化严重,湖泊生态系统呈不稳定状态。

3 讨论

3.1 南湖大型底栖动物群落结构的渔替

由于富营养的加剧与环境恶化,导致南湖大型底栖动物的结构发生了较大的变化。其中水生昆虫类的摇蚊幼虫的组成变化最为明显,1987-1988 年的调查共发现南湖摇蚊幼虫有 15 种^[5],而本次调查只发现摇蚊幼虫 9 种,不仅种类数量减少,种类组成发生变化,种类生物量组成的变化也较大(表 4)。从表 4 可知,在 1987-1988 年期间,南湖摇蚊幼虫的优势种为红裸须摇蚊、刺铗长足摇蚊和半褶皱摇蚊,数量和生物量均以红裸须摇蚊占首要地位。而本次调查摇蚊幼虫的优势种为刺铗长足摇蚊和红裸须摇蚊,无论密度和生物量都以刺铗长足摇蚊为绝对优势,半褶皱摇蚊的数量显著下降,已不到 16 年前的 1/20;小摇蚊等 7 种摇蚊已不适应南湖的环境而消失,新增了耐污能力较强的羽摇蚊。

表 4 1987-1988 年和 2003-2004 年南湖摇蚊幼虫群落结构的比较

Tab. 4 Compare of chironomus communities structure during 1987-1988 to during 2003-2004 in Lake Nanhu

| 种类 | 1987-1988 年 | | 2003-2004 年 | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| | 年均密度 (ind/m ²) | 年均生物量 (mg/m ²) | 种类 | 年均密度 (ind/m ²) 年均生物量 (mg/m ²) |
| 刺铗长足摇蚊 <i>T. punctipennis</i> | 332 | 1134.5 | 刺铗长足摇蚊 <i>T. punctipennis</i> | 923 5189.5 |
| 红裸须摇蚊 <i>P. akamusi</i> | 546 | 5498.7 | 红裸须摇蚊 <i>P. akamusi</i> | 109.2 2290.1 |
| 太湖裸须摇蚊 <i>P. taihuensis</i> | 4 | 12.2 | 太湖裸须摇蚊 <i>P. taihuensis</i> | 2.4 5.9 |
| 美丽前突摇蚊 <i>P. bellus</i> | 82 | 126.9 | 美丽前突摇蚊 <i>P. bellus</i> | 0.8 1.4 |
| 花纹前突摇蚊 <i>P. chorus</i> | | | 花纹前突摇蚊 <i>P. chorus</i> | 0.8 2.8 |
| 长附摇蚊 <i>T. sp.</i> | 1 | 0.1 | 长附摇蚊 <i>T. sp.</i> | 0.8 0.8 |
| 半褶皱摇蚊 <i>C. semireductus</i> | 266 | 3492.6 | 半褶皱摇蚊 <i>C. semireductus</i> | 10 486.2 |
| 褶皱摇蚊 <i>C. reductus</i> | | | 褶皱摇蚊 <i>C. reductus</i> | 0.4 1.9 |
| | | | 羽摇蚊 <i>C. plumosus</i> | 5.6 89.2 |
| 小摇蚊 <i>Microchironomus sp.</i> | 95 | 72.9 | | |
| 微刺菱附摇蚊 <i>Clinotanypus microtrichos</i> Yan | 63 | 105.0 | | |
| 拟凯摇蚊 <i>Parakiefferiella sp.</i> | 1 | 0.3 | | |
| 雕翅摇蚊 <i>Glyptochironomus sp.</i> | | | | |
| 指突隐摇蚊 <i>Cryptochironomus digitatus</i> Meigen | | | | |
| <i>Tvetenia calvescens</i> (Edwards) | 1 | 1.5 | | |
| <i>Thienemanniola ploenensis</i> Kieffer | 1 | 0.1 | | |
| 合计 | 1292 | 10445 | | 1053 8067.8 |

南湖的寡毛类目前主要由耐污种类组成,如霍甫水丝蚓、正颤蚓和苏氏尾鳃蚓都是典型的耐污种。20世纪80年代末圆背角无齿蚌在湖中非常丰富^[6],由于南湖的富营养化加剧、水体污染严重、淤泥沉积深厚及水生植被的缺乏,导致软体动物衰退,螺蚌类已为罕见。在定量采样中没有发现软体动物种类,这与杭州西湖大型底栖动物的调查结果相似^[9]。另外,湖岸均被石块护坡,沿岸带生境遭到破坏,因浅水带和水草的消失一些适于沿岸带生活的大型底栖动物种类,而难以生存。水环境变化导致底栖动物组成的变化,同样也发生在武汉东湖,如东湖底栖动物从上世纪60年代的133种降低到上世纪90年代的67种,其中以不耐污的毛翅目和软体动物种类消失更甚^[10]。

3.2 南湖水体环境的评价

南湖的污染源主要是来自周边高密度居民的大量生活污水,水体中总氮、总磷平均含量分别为7.03 mg/L和0.76 mg/L,已远远超过我国地表水质的V类标准(GB3838-2002)。湖水透明度年均值也仅为33.63 cm,与长江中游的其它湖泊比较是相当低的,如东湖的透明度为50-60 cm,扁担塘为141 cm,后湖为81 cm^[10]。水体中溶氧白天基本达到要求,但夜间和凌晨的溶氧非常低,是发生鱼类大量死亡的主要因子之一。

南湖大型底栖动物的优势种为霍甫水丝蚓和刺铗长足摇蚊,均属于典型的富营养型耐污指示种^[11-13],进一步说明南湖富营养化的严重。根据湖泊中常用的大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H)和 Margalef(d)多样性指数及相应参考标准^[14],对南湖水质进行了评价(表5)。

表5 依据湖泊常用多样性指数对南湖的水质评价

Tab. 5 Water quality assessment according to biodiversity indices commonly used in lakes

| 指数 | 评价标准 | | | | 南湖值 | 评价 |
|-----|------|---------|---------|------|-------|----|
| | 清洁 | 中污 | 重污 | 严重污染 | | |
| H | >3.0 | 3.0-2.0 | 2.0-1.0 | <1.0 | 1.515 | 重污 |
| d | >3.0 | 3.0-2.0 | 2.0-1.0 | <1.0 | 1.23 | 重污 |

从表中可知,大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 多样性指数对南湖水质的生物学评价均为重污,这与水体的理化指标所反映的水质基本一致。

3.3 大型底栖动物的合理利用

底栖动物作为鲤和鲫等杂食性鱼类的优质饵料,在渔业生产中具有重要的地位,底层杂食性鱼类通过捕食大型底栖动物,也有利于水中氮、磷的支出。但如果底层杂食性鱼类放养过量,将对底栖动物群落结构的稳定性会产生较大的不利影响^[15,16]。因此,通过对底栖动物所提供的渔产潜力进行估算,为拟定渔业生产计划和维持水生态系统健康发展具有积极意义。

南湖大型底栖动物中寡毛类的年均生物量为9.70 g/m²,水生昆虫的年均生物量为8.09 g/m²。根据梁彦龄提供的能量估算法^[17],计算出南湖大型底栖动物的渔产潜力为1.504 × 10⁴ kg/a。但自2000年以来,南湖每年投放鲤、鲫等杂食性鱼类鱼种约为1.6 × 10⁴ kg,规格为10尾/kg。一般情况下,富营养化的浅水湖泊底质中有机碎屑丰富,营养物质含量高,将导致底栖动物的种类数减少,有利于底栖动物耐污种的生存和生物量的增加。南湖底泥中总氮和总磷的含量分别为4.765‰和0.544‰,有机碎屑也非常丰富,然而从表4中可知,摇蚊类总的生物量并没有增加,反而有所降低,这可能与南湖环境变化和杂食性鱼类放养过量有关。

根据鲤、鲫的食性特点,它们在捕食大型底栖动物的同时,也能利用水体中丰富的碎屑和周丛生物等饵料资源。所以,南湖中杂食性鱼类的渔产潜力应以2.0 × 10⁴ - 2.5 × 10⁴ kg/a 计算为宜,那么杂食性鱼类鱼种的合理年放养量应不大于5000 kg。

① 龚志军,长江中游浅水湖泊大型底栖动物的生态学研究,博士学位论文,中国科学院武汉水生生物研究所,2002。

致谢 感谢中国科学院水生生物研究所王洪铸研究员和崔永德老师、南开大学王新华教授在寡毛类和水生昆虫的种类鉴定中给予指导,感谢中国科学院水生生物研究所李钟杰研究员对本文提出宝贵意见。

4 参考文献

- [1] 杨莲芳,田立新. 中国水生昆虫研究史梗概. 昆虫知识,1994,31(5):308-314.
- [2] 杨 潼,胡德良. 利用底栖大型无脊椎动物对湘江干流污染的生物学评价. 生态学报,1986,6(3):263-274.
- [3] 陆强国. 利用底栖动物的群落结构进行洞庭湖水质的生物学评价. 环境科学,1985,6(2):59-63.
- [4] Guo X W. Studies on chironomid communities of Nanhu lake, Wuhan, China. 华中农业大学学报,1995,14(6):578-585.
- [5] 郭先武. 武昌南湖三种摇蚊幼虫生物学特性及其种群变动的研究. 湖泊科学,1995,7(3):249-255.
- [6] Zheng G M, Wei Q S. Studies on the reproductive characteristics of female *Anononta woodiana pacifica* (Heude) in South lake, Wuhan. 华中农业大学学报,2000,19(5):490-493.
- [7] 任淑智. 北京地区河流中大型底栖无脊推动物与水质关系的研究. 环境科学学报,1991,11(1):31-46.
- [8] 王爱珍. 利用底栖动物对綦江河进行污染评价. 重庆环境科学,1989,11(3):46-49.
- [9] 俞大维,虞左明. 杭州西湖底栖动物群落的研究. 水生生物学报,1991,15(1):63-72.
- [10] 张家玉,高水生,卫 翔. 东湖污染对生态环境影响及加速湖泊功能恢复的对策. 环境科学与技术,1998,80(1):1-4,32.
- [11] Brinkhurst R O, Cook D G. Aquatic earthworms (Annelida: Oligochaeta). In: Hart C W and Fuller S L H eds. Pollution ecology of freshwater invertebrates. New York: Academic Press, 1974: 142-156.
- [12] Brinkhurst O A. The benthos of lake. London: Macmillan Press Ltd, 1974: 56.
- [13] 虞左明. 青山水库底栖动物群落初步研究. 环境污染与防治,2001,23(5):229-231.
- [14] 颜京松. 应用水生生物群落评价水质的一些生物数学公式. 环境污染与生态学文集,1981:42-48.
- [15] Post J R, Cucin D. Changes in the benthic community of a small precambrian lake following the introduction of yellow perch, *Perca flavescens*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1984, 41: 1496-1501.
- [16] Gilinsky E. The role of fish and spatial heterogeneity in determining benthic community structure. *Ecology*, 1984, 65: 207-214.
- [17] 梁彦龄,刘伙泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京:科学出版社. 1995:178-193.