

· 调查与评价 ·

秦淮河上游水体大型底栖无脊椎动物群落结构及水质生物评价

吴东浩¹, 刘伟¹, 赵煜¹, 张哲海², 王备新¹

(1 南京农业大学昆虫学系, 江苏 南京 210095; 2 南京市环境监测中心站, 江苏 南京 210013)

摘要: 2009 年 4 月用 D 形网半定量采样法调查秦淮河上游 25 个点位的大型底栖无脊椎动物群落多样性, 共获得 63 个大型底栖无脊椎动物分类单元; 其中, 水生昆虫 5 目 12 科 30 属, 软体动物 9 科 11 属 19 种, 寡毛纲 2 科 7 属 9 种。结果表明, 生物指数 (Biotic Index BI) 比 Shannon-Wiener 多样性指数的评价结果更接近实际情况, BI 与 $\rho(\text{TN})$ ($r = 0.44$ $p < 0.05$) 和 $\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$ ($r = 0.40$ $p < 0.05$) 之间显著相关, Shannon-Wiener 多样性指数与 $\rho(\text{TN})$ ($r = -0.19$ $p > 0.05$) 和 $\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$ ($r = 0.44$ $p > 0.05$) 无显著性相关。生物评价表明秦淮河上游水质受到严重污染, 句容地区的水质要优于南京。

关键词: 大型底栖无脊椎动物; 多样性指数; 河流生物指数; 生物评价; 秦淮河

中图分类号: X826 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2010)05-0019-04

Macroinvertebrate Community Structure and Bioassessment of Upstream Qinhuai River

WU Dong-hao¹, LIU Wei¹, ZHAO Yu¹, ZHANG Zhe-hai², WANG Bei-xin¹

(1 Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

2 Nanjing Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210013, China)

Abstract Benthic macroinvertebrates assemblages were collected from upstream of the Qinhuai River in April 2009. A total of 63 macroinvertebrate taxa were found including 30 genera and 12 families of Insecta, 19 species and 11 genera in 9 families of Mollusca, 9 species and 7 genera in 2 families of Oligochaeta. Results showed that Biotic Index was more sensitive to indicate the actual situation of water quality than Shannon-Wiener diversity index did. The Pearson's correlation analysis showed that BI significantly corresponded with TN ($r = 0.44$ $p < 0.05$) and $\text{NH}_3 - \text{N}$ ($r = 0.40$ $p < 0.05$), while Shannon-Wiener diversity index had no significant correlation with TN ($r = -0.19$ $p > 0.05$) and $\text{NH}_3 - \text{N}$ ($r = 0.44$ $p > 0.05$). The results showed that upper reaches of Qinhuai River were heavily polluted and the water quality of Jurong area was better than that of Nanjing.

Key words Macroinvertebrates; Diversity index; River biological Index; Bioassessment; Qinhuai River

大型底栖无脊椎动物在水生系统物质循环和能量流动中具有不可替代的作用, 又因其生命周期较长、行动缓慢、分布广泛、鉴定较容易等特点, 被广泛用于生物监测和生态评价^[1]。秦淮河上游水体的水质状况直接影响流域经济的可持续发展。秦淮河水环境质量的报告比较多, 但大都局限于理化分析研究^[2-5]。2003 年, 王备新等^[6]采用河流生物指数 (river biological index) 评价了秦淮河上游水体的水质状况。现采用目前国内比较流行的水质生物评价指数——生物指数 (BI) 对秦淮河上游

水体的生物学质量进行评价, 并将评价结果与 Shannon-Wiener 多样性指数的评价结果比较, 以期增进了解秦淮河上游水体质量状况。

收稿日期: 2010-03-03 修订日期: 2010-08-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30870345, 40971280); 南京农业大学“国家大学生创新性实验计划”基金资助项目

作者简介: 吴东浩 (1985-), 男, 江苏宿迁人, 硕士, 从事水生昆虫与淡水生态研究。

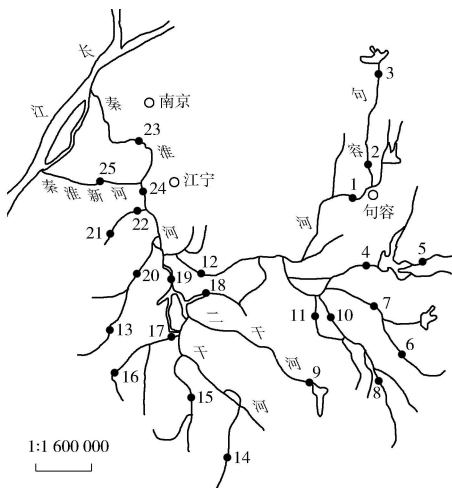
1 研究方法

1.1 秦淮河自然概况

秦淮河是南京一条重要河流,全长 110 km,秦淮河有两处源头,南源发源于溧水东庐山麓溧水河,北源出自句容县的句容河,2 源河流汇合于南京江宁方山南侧西北村,然后北下形成秦淮河干流,最终注入长江。秦淮河以七桥瓮为分界点,其上游各支流的源头大多是水库,受污染较轻,下游河流经南京市污染较重。

1.2 标本采集

2009 年 4 月对秦淮河上游大型底栖无脊椎动物 25 个样点进行了采集,其中句容境内 10 个点,南京境内 15 个点,见图 1。



- 1—污水处理厂上游; 2—句容高级中学; 3—杜梓桥;
4—二圣水库下; 5—二圣水库上游; 6—茅西南桥;
7—红兴桥; 8—蔡巷; 9—东屏湖下游; 10—葛村东桥;
11—葛村西桥; 12—龙都大桥; 13—狮子山; 14—洪蓝镇;
15—石湫镇下游; 16—横溪镇; 17—横溪河大桥; 18—高桥东;
19—光明村; 20—云台山大桥; 21—牛首山河上游;
22—自来水厂; 23—胜太桥北; 24—康田桥; 25—七桥瓮。

图 1 采样点位分布

Fig 1 Distribution of sampling sites in upstream of the Qinhuai River

选择具有代表性的河段设置采样点,点位设置考虑水体水质污染程度,部分采样点位于水质较好的水库下游或支流上游;部分点位的设置考虑人为干扰和污染的因素。以秦淮河上游水体调查为基础,计划长期监测。

采样参照王备新等^[6]的方法,用 D 形网或称抄网(0.3 m, 40 目尼龙纱)在 < 1.5 m 深的河岸区用扫网法采集,每个样点在 100 m 长的采集区域内

采 10 个面积为 0.3 m² (D 形网宽 0.3 m × 采集长度 1 m) 的小样方,总采样面积约 3 m²。采样时,按样点内各种小生存环境(水草、静水区、流水区及底质)出现比例分配小样方数。标本直接在野外用 40 目铜筛筛取,并用体积分数 8% 甲醛溶液固定。室内鉴定时,水蛭、水生昆虫和软体动物分别鉴定至科、属、种;甲壳纲和寡毛类根据相关资料鉴定至属或种。

1.3 水体理化指标测定

电导率、pH 值和水温用多参数水质检测仪(HANNA, HI 991301)现场测定。其他项目测定:总氮(TN)采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法,总磷(TP)采用钼锑抗分光光度法,硝酸盐氮(NO₃⁻-N)采用酚二磺酸光度法,氨氮(NH₃-N)采用纳氏试剂光度法^[7]。为了避免雨水干扰实验,在平水期采集底栖动物和水样。

1.4 数据处理

涉及到的统计计算皆在 SPSS 16.0 中完成。根据秦淮河上游大型底栖无脊椎动物群落的特点及取样数据,选择 BI-Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数进行水质评价。

1.4.1 BI

$$BI = \sum n_i t_i N_i$$

式中: n_i 为第 i 个分类单元的个体数; t_i 为第 i 个分类单元的耐污值(Tolerance Value); N 为样品中所有物种的总个体数。底栖动物耐污值和水质生物评价参照王备新等^[8]的方法 BI < 5.5 清洁; BI 为 5.5~6.6 轻污染; BI 为 6.61~7.7, 中污染; BI 为 7.71~8.8 重污染; BI > 8.8 严重污染。

1.4.2 Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

式中: N 为样品中所有物种的个体总数; n_i 为第 i 个分类单元的个体数。参照黄玉瑶等^[9]提出的群落多样性水质评价标准: $H' = 0$ (无大型底栖无脊椎动物,以区别于只有 1 种动物) 为严重污染; $0 < H' \leq 1$ 重污染; $1 < H' \leq 2$ 中度污染; $2 < H' \leq 3$ 轻度污染; $H' > 3$ 清洁。

1.4.3 Margalef 物种丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln(N)$$

式中: N 为样品个体总数; S 为样品分类单元总数。

2 结果与分析

2.1 底栖动物群落特征

调查区域的河流内获得大型底栖无脊椎动物隶属节肢动物门、软体动物门和环节动物门,共 30 科 48 属 63 个大型底栖无脊椎动物分类单元。其中,水生昆虫 5 目 12 科 30 属,占总分类单元数的 47.6%,包括双翅目 13 属、蜻蜓目 10 属;软体动物 9 科 11 属 19 种,寡毛纲 2 科 7 属 9 种,采样未发现多毛纲生物。25 个采样点中出现频率最高的前 3 个分类单元依次是:克拉泊水丝蚓 *Limnodrilus clapedinus*(22)、摇蚊属 *Chironomus* sp(20)和多足摇蚊属 *Polypedilum* sp(19)。

2.2 底栖动物与环境的关系

25 个样点的 $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 的变化范围较广, $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 最高值分别达到了 39.2 mg/L 和 4.77 mg/L。25 个采样点 $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 值超过《地表水环境质量标准》V 类水的标准值百分率分别为 92% 和 28%,说明调查区域水质状况不良。水质检测结果见表 1。

表 1 25 个样点水质检测结果

Table 1 Water quality results of 25 sample sites

指标	最小值	最大值	平均值	标准偏差	%
pH 值	7.50	9.64	8.60	0.5	
水温 $\theta/^\circ\text{C}$	17.8	24.0	20.6	1.8	
电导率 $\gamma / (\text{mS} \cdot \text{m}^{-1})$	0.25	0.78	0.45	0.1	
$\rho(\text{TN}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.98	39.2	8.28	9.2	
$\rho(\text{TP}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.04	4.77	0.60	1.1	
$\rho(\text{NH}_3 - \text{N}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.41	30.4	4.64	7.9	
$\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.15	3.57	1.13	0.9	

寡毛类、软体动物和摇蚊的数量分别占底栖动物总数的 26.5%、27.8% 和 41.2%,三者之和所占比例为 95.5%。寡毛类、软体动物和摇蚊作为江苏河流普遍存在的底栖动物对水质具有指示作用,如寡毛类中的霍甫水丝蚓就是一种敏感的水体有机污染指示生物。相关性分析表明,随着 TN 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的质量浓度值上升,每平方米寡毛类动物的数量也显著增大 (r 分别为 0.43、0.40, $p < 0.05$)。

2.3 水质的生物学评价

秦淮河上游水体已经遭受到不同程度的污染,南京地区河流水质评价结果为重污染或严重污染的数量要明显高于句容,句容地区的水体质量要好

于南京。

通过比较可见, BI 和 Shannon-Wiener 多样性指数的水质评价结果基本吻合,但杜榨桥、牛首山河上游和康田桥 3 个点位的水质评价结果差异相对较大。

杜榨桥位于北山水库下游 200 m,采样断面类型为溪流,为底栖动物提供了丰富多样的生存环境,该采样点的 TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 及 TP 的质量浓度值都相对较低,分别为 1.98 mg/L、0.57 mg/L 和 0.17 mg/L,其中 TN 质量浓度为 25 个点位的最小值;该点位比较耐污的摇蚊和寡毛类数量只占总数的 4.2%,说明 BI 指数的评价结果可靠。BI 和 Shannon-Wiener 多样性指数对秦淮河上游水体水质评价结果见表 2。

表 2 25 个采样点的生物指数和水质评价

Table 2 BI and bioassessment of water quality from 25 sites

取样点	BI		Shannon-Wiener 多样性指数	
	指数值	水质级别	指数值	水质级别
污水处理厂上游	7.50	中污染	1.66	中污染
句容高级中学	5.61	轻污染	2.14	轻污染
杜榨桥	3.15	清洁	0.44	重污染
二圣水库下	5.67	轻污染	2.55	轻污染
二圣水库上游	7.15	中污染	1.46	中污染
茅西南桥	5.75	轻污染	3.76	清洁
红兴桥	6.43	轻污染	2.83	轻污染
蔡巷	6.97	中污染	1.36	中污染
东屏湖下游	6.30	轻污染	2.92	轻污染
葛村东桥	8.21	重污染	0.80	重污染
葛村西桥	6.15	轻污染	2.71	轻污染
龙都大桥	6.35	轻污染	1.84	中污染
狮子山	6.51	轻污染	3.15	清洁
洪蓝镇	8.12	重污染	1.27	中污染
石湫镇下游	8.70	重污染	0.91	重污染
横溪镇	7.53	中污染	2.47	轻污染
横溪河大桥	7.80	重污染	1.61	中污染
尚桥东	5.49	清洁	2.35	轻污染
光明村	6.86	中污染	1.72	中污染
云台山大桥	5.92	轻污染	2.19	轻污染
牛首山河上游	8.93	严重污染	1.13	中污染
自来水厂	8.64	重污染	1.86	中污染
胜太桥北	7.04	中污染	2.05	轻污染
康田桥	6.39	轻污染	0.80	重污染
七桥瓮	8.44	重污染	1.07	中污染

牛首山河上游点位靠近生活污水排放口,该点位的 TN 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的质量浓度分别达 39.2 mg/L

和 27.7 mg/L, 采样过程中河水和底泥有恶臭味; 在该点位只采集到 4 种高度耐污的底栖动物且 Margalef 物种丰富度指数值仅为 0.65 为 25 个点位的最低值, 该点位的 BI 值较高。康田桥点位于秦淮新河的上游, 该点为砂底、河面宽、水流量较大, 为底栖动物提供了一个较好的生存环境, 评价结果为轻污染。

2.4 BI 与底栖动物及环境的关系

相关性分析表明, 随着 BI 指数的增大, 软体动物密度 ($r = -0.60, p < 0.01$) 和摇蚊密度 ($r = -0.53, p < 0.01$) 显著降低, 但寡毛类密度增加并不显著 ($r = 0.31, p > 0.05$)。软体动物作为中度耐污的生物, 其对有机污染的承受能力要低于寡毛类。摇蚊科中的摇蚊亚科 (红色摇蚊) 与直突摇蚊亚科相比更耐污, 二者的组成比例可能是摇蚊密度与 BI 显著负相关的原因。Shannon-Wiener 多样性指数与软体动物密度、摇蚊密度及寡毛类密度之间的相关性都不显著, 这与计算方法有关, 该指数在计算过程中并没有考虑到生物的耐污能力这一重要因子, 而是认为所有的底栖动物权重相同。

相关性分析表明, BI 与 $\rho(\text{TN})$ ($r = 0.44, p < 0.05$) 和 $\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$ ($r = 0.40, p < 0.05$) 之间显著相关, 但 Shannon-Wiener 多样性指数与 $\rho(\text{TN})$ ($r = -0.19, p > 0.05$) 和 $\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$ ($r = 0.44, p > 0.05$) 的相关性并不显著, 说明 BI 评价结果的可靠性更强。BI 和 Shannon-Wiener 多样性指数与其他水质理化指标, 如 $\rho(\text{TP})$ 、 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 、pH 值及电导率等之间皆无显著相关性, 说明调查的水体中, $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$ 是影响底栖动物群落结构变化的关键因子。

3 讨论

平原地区河流基本上都已受到不同程度的污染, 具备从中度耐污能力到高度耐污能力的软体动物、摇蚊和寡毛类 (Mollusca-Chironomidae-Oligochaeta MCO) 出现的频率较高, 王备新等^[10]对常州地区水体底栖动物的研究结果也是如此。由于具备一定的耐污能力且对栖境的要求相似, 所以 MCO 是江苏乃至整个华东平原地区河流普遍存在的种类; 3 类 MCO 生物的采集相对比较容易。MCO 的数量占底栖动物总数的比例大, 软体动物

密度和摇蚊密度与 BI 都显著相关, MCO 在水质生物评价中的作用可作为今后研究的重点。

BI 比 Shannon-Wiener 多样性指数更能准确地评价水体的生物学质量, 国内外其他学者的研究结果也证明了这一点^[11-13]。Shannon-Wiener 多样性指数以生物分类单元为基础, 适用于各种水体的水生生物群落, 但没有考虑各物种的耐污能力, 指数值大小与调查水体的底栖动物物种数及均匀度有关, 物种数越多分布越均匀则值越大。BI 评价法既考虑了水生生物本身的耐污能力, 又考虑了物种的组成及数量, 增强了评价的可靠性。

Brinkhurst 等^[14]的研究结果表明, 轻度污染可能会导致物种种类和数量的同时上升, 中度污染情况下水体中的物种数量保持不变但是物种的组成会改变, 通过比较受到有机污染的水体的 Shannon-Wiener 多样性指数评价的水质级别与 BI 的评价结果相同或高于 BI 的评价级别, 其他学者^[12-13]的研究结果也是如此; De Pauw 等^[15]指出清洁水体的物种多样性并不是都很高, 这可能是该研究中清洁水体的 Shannon-Wiener 多样性指数评价的水体级别低于 BI 评价结果的原因。

4 结语

BI 和 Shannon-Wiener 多样性指数的评价结果都显示秦淮河上游水体污染。与理化因子的相关性分析表明, BI 的评价结果与水体的真实状况符合。目前许多国家都已经建立了国家级的生物指数及相关评价标准, 如比利时 BBI (Belgian Biotic Index)、英国 BMW P-ASPT (Biological Monitoring Work Party Score-Average Score Per Taxon)、澳大利亚 SIGNAL (Stream Invertebrate Grade Number-Average Level score) 和美国 HBI (Hilsenhoff Biotic Index) 等^[1], 与这些国家相比我国尚缺乏一个国家级的水质生物评价指数。

目前, BI 指数的应用已推广至各种水体 (溪流、河流、湖泊和水库), 国内越来越多的学者认识到应用 BI 指数进行水质评价的准确性^[12-13, 16-17], 这些都为我国推广 BI 指数提供了一个良好的契机。我国应尽快深入开展相关 BI 研究, 提高水质生物监测技术水平, 发挥生物监测在水环境管理中的应用。

(下转第 30 页)

- [4] 周颖, 陆荣南. 南通鳊鱼及其养殖水体中有机氯农药调查 [J]. 环境监测管理与技术, 1996, 8(3): 25- 26
- [5] 李延红, 郭常义, 汪国全, 等. 上海地区人乳中六六六、滴滴涕蓄积水平的动态研究 [J]. 环境与职业医学, 2003, 20(3): 181- 183.
- [6] YANG N Q, MATSUDA M, KAWANOM, et al. PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish from China [J]. *Chemosphere*, 2006, 63(8): 1342- 1352
- [7] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评估模型 [J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 212- 217
- [8] 胡二邦. 环境风险评估实用技术和方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 163- 174.
- [9] 王东红, 原盛广, 马梅, 等. 饮用水中有机污染物的筛查和健康风险评估 [J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 1937- 1943
- [10] 刘宜, 黄成敏. 土壤残留滴滴涕、六六六的人群健康风险评估-以江苏省无锡市为例 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(4): 17- 22
- [11] 吴鹏章, 高杨, 陈辉. 室内空气污染的健康风险评估 [J]. 上海环境科学, 2009, 28(2): 56- 65.
- [12] 王远征, 朱永官, 黄益宗. 灵芝中重金属的检测及其健康风险评估 [J]. 生态毒理学报, 2006, 1(4): 316- 321
- [13] 李晓娜, 焦黎, 孙桂丽. 浅谈乌鲁木齐河流域水环境问题及保护对策 [J]. 新疆师范大学学报, 2007, 26(3): 228- 231
- [14] EPA 8081A, Organochlorine pesticides by cap column GC [S].
- [15] 史双昕, 卢婉云, 邵丁丁, 等. 太湖、洞庭湖野生青虾肌肉中有机氯农药的气相色谱-质谱法测定 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 631- 636
- [16] US EPA. Guidelines for exposure assessment [R]. FRL4129-5. Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment US EPA, 1992
- [17] US EPA. Risk-Based concentration table [R]. US EPA Region III, Philadelphia, Pennsylvania, 2004
- [18] 乌鲁木齐市统计局. 乌鲁木齐统计年鉴 - 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [19] 覃忠书, 黎明强. 某农村饮用水水源地健康风险评估 [J]. 现代预防医学, 2008, 35(8): 1416- 1418
- [20] MICHAEL C, MICHAEL A. Fundamentals of Ecotoxicology [M]. Press Lewis Publishers, 2003
- [21] 孙超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 60- 65.
- [22] 万译文, 康天放, 周忠亮, 等. 北京官厅水库水体中挥发性有机物健康风险评估 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 150- 154

本栏目责任编辑 薛光璞 李文峻

(上接第 22 页)

[参考文献]

- [1] DE PAUW N, GABRIELSW, GOETHALS P L M. River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates [M]. West Sussex Chichester, 2006: 113- 134
- [2] 宗良纲, 王良梅, 占新华. 南京秦淮河水环境质量现状评价 [J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(S1): 81- 83.
- [3] 周灵辉. 外秦淮河底泥释放对上覆水水质的影响 [J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(5): 41- 42
- [4] 魏玉香, 周宁晖, 方孝华. 南京市内秦淮河环境综合整治中水质变化趋势回顾 [J]. 环境监测管理与技术, 2004, 16(6): 42- 43
- [5] 罗玉兰, 徐颖, 曹忠. 秦淮河底泥及间隙水氮磷垂直分布及相关性分析 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1245- 1249
- [6] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2082- 2091
- [7] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [8] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [9] 黄玉瑶, 滕德兴, 赵忠宪. 应用大型无脊椎动物群落结构特征及其多样性指数监测运河污染 [J]. 动物学集刊, 1982(2): 133- 146.
- [10] 王备新, 徐东炯, 杨莲芳, 等. 常州地区太湖流域上游水系大型底栖无脊椎动物群落结构特征及其与环境的关系 [J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 47- 51
- [11] CHUTTER F M. An empirical biotic index of the quality of the water in South African streams and rivers [J]. *Water Resources* 1972(6): 19- 30
- [12] 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 403- 411
- [13] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 547- 555.
- [14] BRINKHURST R O. Future directions in freshwater biomonitoring [M]. New York, USA: Chapman and Hall, 1993: 442- 460.
- [15] DE PAUW N, GHETTIP E, MANZINID P, et al. Biological assessment methods for running water. In *River Water Quality-Assessment and Control* [M]. Brussels Belgium: Commission of the European Communities, 1992: 217- 248
- [16] 谢志才, 张君倩, 陈静, 等. 东洞庭湖保护区大型底栖动物空间分布格局及水质评价 [J]. 湖泊科学, 2007, 19(3): 289- 298
- [17] 吴东浩, 汪军涛, 张咏, 等. 连云港主要河流大型底栖无脊椎动物水质生物评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(1): 29- 32