

# 长白山源头溪流底栖动物群落结构

冀宇航<sup>1</sup>, 朱宝<sup>1</sup>, 张康霖<sup>1</sup>, 张少瑞<sup>1</sup>, 李可昕<sup>1</sup>, 田欣<sup>1</sup>, 徐浩健<sup>1</sup>, 合木巴提<sup>1</sup>

1 东北师范大学生命科学学院, 吉林省长春市人民大街 5268 号, 130024

**摘要:** 源头溪流是河流生态系统物质循环和能量流动的重要区域, 并对维持底栖动物的生物多样性具有重要意义。目前我国源头溪流底栖动物群落结构的研究有限, 关于长白山源头溪流底栖动物的研究尚未见报道。本研究采用了定量取样的方法, 分析了长白山源头溪流底栖动物群落结构特征及其主要的环境驱动因子。结果如下: (1)共采集底栖动物 90 个分类单元, 隶属于 3 纲 9 目 38 科, 其中, 水生昆虫 85 属, 占绝对优势。(2)底栖动物功能摄食类群以收集者占优势, 其次为撕食者、捕食者和刮食者, 滤食者相对丰度最低。(3)水温和凋落叶分布是长白山源头溪流不同季节间的主要环境变量, 其中水温和凋落叶分布是底栖动物群落结构季节动态的主要环境驱动因子。本研究可为后续长白山源头溪流相关研究及长白山松花江水系生态修复提供一定的数据基础及参照标准。

**关键词:** 长白山; 源头溪流; 底栖动物; 功能摄食类群

## Macroinvertebrate community structure in headstream of the Changbai Mountains

Ji Yuhang<sup>1</sup>, Zhun Bao<sup>1</sup>, Zhang Kanglin<sup>1</sup>, Zhang Shaorui<sup>1</sup>, Li Kexin<sup>1</sup>, Tian Xin<sup>1</sup>, Xu Haojian<sup>1</sup>, Hemubati<sup>1</sup>

1 School of life sciences, Northeast Normal University, Renmin Street, 5268 NO., Changchun 130024, Jilin, China

**Abstract:** Headstreams are critical areas for organic matter processing and nutrient cycling, and may be vital for maintaining the biodiversity of macroinvertebrates. However, there has been little research on macroinvertebrate community in headwater streams, and there have not been reported about macroinvertebrate community structure in headstream of the Changbai Mountains. To study dynamics of macroinvertebrates and their main environmental driving factors in headstream of the Changbai Mountains, the individuals of macroinvertebrates were quantitatively monitored. The main results were obtained as follows: (1) A total of 90 species were identified, belonging to 3 classes, 9 orders, and 38 families were collected, among which aquatic insects (85 species) were the dominant groups. There were significant differences in species composition, density and diversity of macroinvertebrates. (2) Gather-collector was the main component of functional feeding groups, followed by shredder, predator, and scraper, while filter-collector only accounted for a small part. (3) Water temperature and distribution of litter leaf were the main environmental variables of

headwater stream in the Changbai mountains, in which the factors that most affected macroinvertebrate communities were water temperature and distribution of litter leaf. Our results can provide basal information for the related studies of headwater streams in the Changbai Mountains, and can provide reference standard for ecological restoration of Songhua River system.

**Key Words:** The Changbai Mountains; headwater stream; macroinvertebrate; functional feeding groups

源头溪流是河湖水系的重要组成部分<sup>[1,2]</sup>, 其通常具有独特的地形地貌、高度异质性的生态环境, 且时空变化显著<sup>[3]</sup>, 能为多样化的水生生物群落提供栖息地<sup>[4]</sup>, 对维持整个流域的结构和功能健康具有重要的意义<sup>[5,6]</sup>。底栖动物作为河流生态系统中分布最广<sup>[7]</sup>、多样性最高的生物类群<sup>[8]</sup>, 处于河流生态系统食物链的中间环节, 在河流生态系统物质循环和能量流动中具有不可替代的作用<sup>[9,10]</sup>, 底栖动物的群落结构更是源头溪流生物学和生态学研究的基础。

当前, 我国对底栖动物的研究主要集中于各流域干流底栖动物的时空分布特征及水质生物学评价方面<sup>[11-13]</sup>, 涉及源头溪流底栖动物群落结构的研究鲜见报道<sup>[14,15]</sup>。长白山源头溪流作为松花江水系的源头, 对维持松花江流域结构和功能的稳定具有重要作用, 但溪流生态学研究匮乏, 关于底栖动物季节动态的研究尚未见报道。作为长白山源头溪流底栖动物长期调研工作的一部分, 本研究旨在了解 2016-2017 年度长白山源头溪流底栖动物群落结构和物种组成, 揭示底栖动物群落结构特征及其主要的环境驱动因子, 丰富水域生态学关于寒冷区的基础研究, 并为深入开展相关工作奠定一定的理论基础; 在应用上, 有望为长白山生态系统的健康维护和管理, 及松花江水系乃至全国类似水系的水生生物保护及生态修复提供基础数据和参照标准。

## 1 研究地概况及研究方法

### 1.1 研究地概况

实验地位于吉林省二道白河, 西北岔河位于二道白河上游, 长白山国家自然保护区内( $41^{\circ}31' \sim 42^{\circ}28'N$ ,  $127^{\circ}9' \sim 128^{\circ}55'E$ )。实验河段位于保护区溪流源头, 属松花江水系源头溪流。该地区气候属于北温带大陆性季风气候, 冬季寒冷漫长, 历年平均气温  $4.1^{\circ}C$ , 最低温出现在 1 月份, 年平均降水量  $704.2mm$ , 降水多集中在夏季。每年 11 月下旬至翌年 4 月

上旬为溪流结冰期，约 70% 的水面被冰层覆盖<sup>[16]</sup>。沿水流方向，从上游向下布设 5 个断面进行底栖动物的定量采样及环境因子的测定。

### 1.2 底栖动物采集及鉴定

于 2017 年 7 月 11 日用 40 目网径、采样面积 0.09 m<sup>2</sup> 的索伯网(surber sampler)沿断面采集。采集的样品用 60 目网筛过滤清洗后装入封口袋内，并加入 75% 酒精固定保存。在实验室内，将底栖动物挑拣出，放入 50ml 的标本瓶中，加入 75% 酒精固定。通过体式显微镜对底栖动物进行鉴定、计数，样品尽可能鉴定至最低分类单元，并参照 Barbour 等<sup>[17]</sup>的分类方法划分底栖动物的功能摄食类群。

### 1.3 水体理化指标测定

采样同期测定水文指标(河宽、水深、流速)、水质指标(水温、DO、EC)及河床凋落叶分布。河宽使用米尺测定，水深使用水深探测棒测定，流速使用便携式流速分析仪测定断面 0.6 倍水深处的流速。水质指标使用便携式水质分析仪(哈纳 HI9829T)测定。同时，测定调查河段凋落叶堆积叶面积占河床面积的百分比。各时期测定的水环境因子见表 1。

表 1 调查河段生境物理特征及水体理化性质(平均数±标准差)

**Table 1 Physical features and water physicochemical parameters on sampling river reaches (mean±SD)**

参数 Parameters	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring
平均水深 Mean water depth / cm	20.02±7.81	19.5±5.54	9.9±1.33	10.38±1.54
平均河宽 Mean water width / m	2.68±0.88	2.2±0.90	1.2±0.41	1.64±0.30
流速 Flow velocity / m·s <sup>-1</sup>	0.39±0.15	0.37±0.11	0.15±0.07	0.17±0.07
水温 T / °C	9.9±1.67	8.84±1.11	0.6±0.37	2.02±0.31
电导率 Cond / μS·cm <sup>-1</sup>	0.14±0.01	0.14±0.01	0.14±0	0.14±0.02
溶解氧 DO / mg·L <sup>-1</sup>	15.48±0.33	15.62±0.45	14.82±0.35	14.74±0.47
pH	7.36±0.09	7.54±0.11	7.28±0.19	7.48±0.04
凋落叶分布% Detritus %	<1%	60%~80%	45%~50%	5%~10%

### 1.4 数据处理与分析

采用物种数、种类更替率和迁出率、密度、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、改进的 Shannon-Wiener 多样性指数<sup>[18]</sup>(B)、Margarlef 多样性指数(d<sub>M</sub>)和 Pielou 均匀度指数(J)评价底栖动物群落结构季节变化。

种类更替率(R)及迁移率(M)的计算公式如下<sup>[19,20]</sup>:

$$R = [(a+b-2c) / (a+b-c)] \times 100 \quad (1)$$

$$M = [(b-a) / (a+b-c)] \times 100 \quad (2)$$

式(1、2)中, a 为原有种类数, b 为后来种类数, c 为共有种类数, a+b-c 代表两次调查总种类数, a+b-2c 代表两次调查的相异种, b-a 代表迁入迁出种类差。R 值越大, 更替种类数越多, 表明群落稳定性越小; M 值为正数, 表明迁入大于迁出, M 值为负数, 表明迁入小于迁出, M 值为 0, 表明迁入与迁出相等, 群落达到种类的动态平衡。

选用 SPSS21.0 中的 One-way ANOVA 对四次取样的水体理化指标及底栖动物数据进行差异显著性检验。若方差不齐, 选用非参数检验方法检验差异显著性, 显著性水平取 0.05。使用 SPSS21.0 对环境因子与底栖动物群落结构参数间进行回归分析, 以明确不同环境因子的季节变化对底栖动物群落结构的影响。

## 2. 结果与分析

### 2.1 底栖动物群落结构

#### 2.1.1 种类组成和数量

本研究共采集并鉴定出底栖动物 15395 头, 90 个分类单元, 隶属于 3 纲 9 目 38 科。其中, 水生昆虫占绝对优势, 共 85 属, 占总分类单元的 93.4%, 包括蜉蝣目 14 属、𫌀翅目 14 属、毛翅目 21 属、双翅目 32 属, 鞘翅目 3 属和蜻蜓目 1 属。寡毛类 4 属, 占总分类单元的 4.96%。甲壳类 2 属, 占总分类单元的 2.19%。底栖动物各类群组成及数量见表 2。

表 2 长白山源头溪流底栖动物组成和密度

Table 2 Richness(individuals·m<sup>-2</sup>) of macroinvertebrates in Changbai Mountains

物种 Taxa	总计	夏季
	Total	Summer
蜉蝣目 Ephemeroptera	14 (1453.33)	12 (148.15 <sup>b</sup> )
𫌀翅目 Plecoptera	14 (1800.00)	12 (171.11 <sup>c</sup> )
毛翅目 Trichoptera	21 (1251.11)	16 (466.67 <sup>a</sup> )
双翅目 Diptera	32 (1864.44)	30 (385.19 <sup>ab</sup> )
鞘翅目 Coleoptera	3 (1823.70)	3 (358.52 <sup>bc</sup> )
蜻蜓目 Odonata	1 (2.22)	1 (0.74 <sup>a</sup> )
甲壳类 Crustacea	4 (2973.33)	1 (611.11 <sup>b</sup> )
寡毛类 Oligochaeta	1 (235.56)	4 (193.33 <sup>a</sup> )
总计 Total	90(2850.93)	79(2334.81 <sup>b</sup> )

#### 2.1.2 优势类群

优势类群主导底栖动物群落结构的分布格局, 将相对丰度大于 0.05 的类群定义为优势类群, 长白山源头溪流底栖动物的优势类群为小蜉属一种 *Ephemerella* sp.、*Kogotus* sp.、舌

石蛾属一种 *Glossosoma* sp.、*Optioservus* sp. 及钩虾属一种 *Gammarus* sp.。表 3 列出了优势类群。

表 3 长白山源头溪流底栖动物优势类群相对丰度

Table 3 Relative abundance of macroinvertebrate dominant species

物种 Species	总计 Total	夏季 Summer
小蜉属一种 <i>Ephemerella</i> sp.	5.19%	—
假蜉属一种 <i>Iron</i> sp.	—	—
<i>Kogotus</i> sp.	8.18%	—
舌石蛾属一种 <i>Glossosoma</i> sp.	4.94%	16.78%
直突摇蚊亚科一种 <i>Orthocladiinae</i> sp. 1	—	—
直突摇蚊亚科一种 <i>Orthocladiinae</i> sp. 2	—	—
直突摇蚊亚科一种 <i>Orthocladiinae</i> sp. 3	—	—
<i>Pseudamophilus</i> sp.	—	—
<i>Stenelmis</i> sp.	—	5.74%
<i>Optioservus</i> sp.	11.18%	9.01%
钩虾属一种 <i>Gammarus</i> sp.	26.06%	26.17%

## 2.2 功能摄食类群

功能摄食类群可以进一步从生态系统功能方面揭示底栖动物的变化。研究发现长白山源头溪流收集者相对丰度最高，达到 44.22%，其次为撕食者、捕食者和刮食者，相对丰度分别为 25.18%、16.71% 和 8.83%，滤食者相对丰度最低，仅占 1.85%。

## 2.3 群落结构与环境因子的回归分析

为了了解不同环境因子对底栖动物的影响情况，将各群落结构参数与河宽、水深、流速、凋落叶分布、水温、电导率、溶解氧进行逐步回归分析，找出相关显著的因子。结果表明物种数、改进的 Shanon-Wiener 多样性指数、Margarlef 多样性指数、撕食者相对丰度及撕食者密度受水温影响显著( $p < 0.05$ )，撕食者相对丰度和密度与凋落叶分布也显著相关( $p < 0.05$ )。其余环境因子对底栖动物群落结构无显著影响( $p > 0.05$ )。由此可知，水温和凋落叶分布是长白山源头溪流底栖动物群落结构的主要驱动因子。

## 3 讨论

源头溪流对维持生物多样性具有重要意义，底栖动物作为源头溪流生态系统的重要的组成部分，近些年受到了越来越多的关注<sup>[21-23]</sup>。本研究对长白山源头溪流底栖动物进行了取样

工作，分析了底栖动物群落结构特征，可为长白山松花江水系可持续管理及生态修复提供基础信息。

### 3.1 长白山溪流底栖动物群落结构特征

关于长白山底栖动物群落结构的研究，目前仅见于立等<sup>[24]</sup>(1997)对长白山水生昆虫的调查研究(共鉴定出蜉蝣目 14 属、𫌀翅目 12 属、毛翅目 19 属、双翅目 36 属，鞘翅目 1 属、蜻蜓目 3 属及脉翅目 1 属)，虽取样点未涵盖本研究地，但同属长白山松花江水系源头溪流，仍可作为历史数据用于分析和对比。本研究采集到的水生昆虫种类和组成(蜉蝣目 14 属、𫌀翅目 14 属、毛翅目 21 属、双翅目 32 属，鞘翅目 3 属和蜻蜓目 1 属)与历史数据差异不大，水生昆虫资源完整，表明近 20 年研究地的生境条件维持良好。

研究地属于松花江水系源头，底栖动物物种组成与下游松花江干流<sup>[25]</sup>(水生昆虫 63.8%、软体动物 21.6%、寡毛类 12.1%、甲壳类 2.6%，多为耐污种)差异显著，底栖动物密度和物种多样性也远高于干流(密度：5.3~353.3 ind·m<sup>-2</sup>；Shannon-Wiener 多样性指数：0.227~1.461；Margarlef 指数：1.18~1.81)。物种组成及多样性的差异表明源头溪流最适宜底栖动物生存，也反映了研究地对维持松花江水系的生物多样性具有重要意义。

研究地处于保护区内林区溪流源头，溪流两岸河岸林茂盛，上游坡度大，水流湍急，河床以巨石、砾石或卵石为主，均有利于底栖动物栖息。研究地水体 pH 在 7.2~7.8 之间，属于中碱水体，适宜大多数水生昆虫代谢和发育。水体 DO 高，多处于饱和状态，也有利于水生昆虫完成呼吸。与历史数据<sup>[25]</sup>类似，本研究采集到的水生昆虫也多为喜清水和喜凉的山地溪流石栖种类。

## 4 结论

本研究初步揭示了长白山源头溪流底栖动物群落结构特征。研究结果表明，水温和凋落叶分布是长白山源头溪流底栖动物群落结构的主要环境驱动因子。河床堆积的凋落叶作为冬季溪流的能量来源，长白山源头溪流底栖动物生活史的关键期河床凋落叶的堆积对底栖动物多样性的影响、底栖动物对凋落叶分解过程的响应规律和贡献等科学问题有待进一步研究。本研究成果在学科上能丰富水域生态学关于寒冷区溪流的相关理论，具有重要的研究价值。

## 参考文献

- [1] Horton R E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of geological Society of America*, 1945, 56(3): 275-370.
- [2] Benda L, Hassan M A, Church M, May C L. GEOMORPHOLOGY OF STEEPLAND HEADWATERS: THE TRANSITION FROM HILLSLOPES TO CHANNELS 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 2005, 41(4): 835-851.
- [3] Townsend C R. The Patch Dynamics Concept of Stream Community Ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 1989, 8(1): 36-50.
- [4] Meyer J L, Strayer D L, Wallace J B, Eggert S L, Helfman G S, Leonard N E. The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 2007, 43(1): 86-103.
- [5] Vannote R, Minshall G W, Cummins K W, Sedell J R, Cushing C F. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, 37(2): 130-137.
- [6] Wipfli M S, Richardson J S, Naiman R J. Ecological Linkages Between Headwaters and Downstream Ecosystems: Transport of Organic Matter, Invertebrates, and Wood Down Headwater Channels. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2007, 43(1): 72-85.
- [7] Voelz N J, McArthur J V. An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation*, 2000, 9(11): 1543-1570.
- [8] Strayer D L. Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of the North American Benthological Society*, 2006, 25(2): 271-287.
- [9] Covich A P, Palmer M A, Crowl T A. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience*, 1999, 49(2): 119-127.
- [10] Thorp J H, Covich A P. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. New York: Academic Press, 2001.
- [11] 徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 巩同梁, 刘乐. 雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价. *生态学报*, 2012, 32(8): 2351-2360.
- [12] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 单林娜. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康. *生态学报*, 2005, 25(6): 1481-1490.
- [13] 蒋万祥, 贾兴焕, 唐涛, 蔡庆华. 底栖动物功能摄食类群对酸性矿山废水的响应. *生态学报*, 2016, 36(18): 5670-5681.
- [14] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 闫云君. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 547-555.
- [15] 蒋小明, 程建丽, 熊晶, 张鹗, 谢志才. 黄盖湖水系河源区——蟠河大型无脊椎动物群落与水质评价. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(9): 1040-1046.
- [16] 《中国河湖大典》编纂委员会. *中国河湖大典·黑龙江、辽河卷*. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [17] 巴伯. 溪流及浅河快速生物评价方案—着生藻类、大型底栖动物及鱼类. 郑丙辉, 刘录三, 李黎, 译. 2 版. 北京: 中国环境出版社, 2010: 100-133.
- [18] 王寿兵. 对传统生物多样性指数的质疑. *复旦学报: 自然科学版*, 2003, 42(6): 867-868.
- [19] 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 叶懋中, 赵紫晶. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究. *海洋学报*, 1994, 16(3): 102-112.
- [20] 舒黎明, 陈丕茂, 黎小国, 于杰, 冯雪. 枫林湾及其邻近海域大型底栖动物的种类组成和季节变化特征. *应用海洋学学报*, 2015, 34(1): 124-132.
- [21] Bae M J, Chun J H, Chon T S, Chin T S, Park Y S. Spatio-Temporal Variability in Benthic Macroinvertebrate Communities in Headwater Streams in South Korea. *Water*, 2016, 8(3): 99.
- [22] Clarke A, Nally R M, Bond N, Lake P S. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 2008, 53(9): 1707-1721.
- [23] 李金国, 王庆成, 严善春, 姚琴, 乔树亮, 吕跃东, 韩壮行. 凉水、帽儿山低级溪流中水生昆虫的群落特征及水质生物评价. *生态学报*, 2007, 27(12): 5008-5018.
- [24] 于力, 暴学祥, 云宝琛. 长白山水生昆虫的研究. *水生生物学报*, 1997, 21(1): 31-39.
- [25] 霍堂斌, 刘曼红, 姜作发, 李喆, 马波, 于洪贤. 松花江干流大型底栖动物群落结构与水质生物评价. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 247-254.
- [26] 蒋万祥, 贾兴焕, 周淑婵, 李凤清, 唐涛, 蔡庆华. 香溪河大型底栖动物群落结构季节动态. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 923-928.
- [27] 闫云君, 李晓宇. 汉江流域上游支流大型底栖动物群落结构特征与生物多样性. *湖泊科学*, 2007, 19(5): 585-591.
- [28] 周晓, 葛振鸣, 施文彧, 王天厚, 曹丹, 周立晨. 长江口九段沙湿地大型底栖动物群落结构的季节变化规律. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2079-2083.
- [29] 张敏, 邵美玲, 蔡庆华, 徐耀阳, 王岚, 孔令惠. 丹江口水库大型底栖动物群落结构及其水质生物学评价. *湖泊科学*, 2010, 22(2): 281-290.

- [30] Vannote R L, Sweeney B W. Geographic Analysis of Thermal Equilibria: A Conceptual Model for Evaluating the Effect of Natural and Modified Thermal Regimes on Aquatic Insect Communities. *American Naturalist*, 1980, 115(5): 667-695.
- [31] 彭松耀, 李新正. 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群. *生态学报*, 2013, 33(17): 5274-5285.
- [32] 于婷婷, 徐奎栋. 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布. *生态学报*, 2013, 33(15): 4556-4566.
- [33] 任海庆, 袁兴中, 刘红, 张跃伟, 周上博. 环境因子对河流底栖无脊椎动物群落结构的影响. *生态学报*, 2015, 35(10): 3148- 3156.
- [34] Petersen R C, Cummins K W. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 1974, 4(4): 343-368.
- [35] Laitung B, Chauvet E. Vegetation diversity increases species richness of leaf-decaying fungal communities in woodland streams. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 2005, 164(2): 217-235.
- [36] Cummins K W, Wilzbach M A, Gates D M, Perry J B, Taliaferro W B. Shredders and Riparian Vegetation. *BioScience*, 1989, 39(1): 24-30.
- [37] Haapala A, Muotka T, Laasonen P. Distribution of benthic macroinvertebrates and leaf litter in relation to streambed retentivity: implications for headwater stream restoration. *Boreal Environment Research*, 2003, 8(1): 19-30.
- [38] Kochi K, Asaeda T, Chibana T, Fujino T. Physical factors affecting the distribution of leaf litter patches in streams: comparison of green and senescent leaves in a step-pool streambed. *Hydrobiologia*, 2009, 628(1): 191-201.
- [39] 蒋万祥, 蔡庆华, 唐涛, 渠晓东. 香溪河水系大型底栖动物功能摄食类群生态学. *生态学报*, 2009, 29(10): 5207-5218.
- [40] Mayer M S, Likens G E. The Importance of Algae in a Shaded Headwater Stream as Food for an Abundant Caddisfly (Trichoptera). *Journal of the North American Benthological Society*, 1987, 6(4): 262-269.
- [41] Wallace J B, Webster J R. The Role of Macroinvertebrates in Stream Ecosystem Function. *Annual Review of Entomology*, 1996, 41(1): 115-139.
- [42] 郭先武. 武汉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.
- [43] Beauger A, Lair N, Reyes-Marchant P, Peiry J L. The distribution of macroinvertebrate assemblages in a reach of the River Allier (France), in relation to riverbed characteristics. *Hydrobiologia*, 2006, 571(1): 63-76.
- [44] 郑文浩, 渠晓东, 张远, 孟伟. 太子河流域大型底栖动物栖境适宜性. *环境科学研究*, 2011, 24(12): 1355-1363.