

# 黄盖湖水系河源区——幡河大型无脊椎动物群落与水质评价

蒋小明<sup>1,2</sup>, 程建丽<sup>3</sup>, 熊晶<sup>1,4</sup>, 张鸮<sup>1</sup>, 谢志才<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 井冈山大学生命科学学院, 江西 吉安 343009; 4. 湖北省环境监测中心站, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 2009年7月对黄盖湖水系河源区——幡河的大型无脊椎动物进行调查。共采集到无脊椎动物54种, 隶属于4门6纲36科。其中水生昆虫45种, 软体动物4种, 甲壳动物2种, 寡毛类、涡虫纲、蛛形纲各1种。无脊椎动物密度方面的优势类群主要为蜉蛄目稚虫和摇蚊幼虫。宽基蜉(*Choroterpes* sp.)、微动蜉(*Cinygmula* sp.)、四节蜉(*Baetis* sp.)和无突摇蚊(*Ablesomyia* sp.)是最优势的种类, 其相对丰度分别占总丰度的40.40%、8.38%、4.26%和4.19%。典范对应分析(CCA)显示, 海拔和河宽是影响无脊椎动物群落分布的关键环境因子。采用Shannon-Wiener指数和BI生物指数对各样点的水质状况进行了评价: 二者结果具有一定差异, BI指数的评价结果更符合实际情况。

**关键词:** 大型无脊椎动物; 源头溪流; 群落结构; 水质评价; 典范对应分析

中图分类号: Q95-64; X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2011)09-1040-07

河源区的小型溪流是一个水系的重要组成部分, 它们往往占整个水网系统河道长度的75%以上<sup>[1,2]</sup>, 这些溪流通常具有独特的地形地貌, 而且是下游河段水源、底质以及生物多样性的重要来源<sup>[3]</sup>。河源区的小溪流是整个河流生态系统营养物质循环的重要区域, 对保持整个流域的生态健康和生物多样性也非常关键<sup>[4]</sup>。

作为河流生态系统的重要类群, 大型无脊椎动物是河流生态系统多样性的重要组成部分, 在河流生态系统物质循环和能量代谢中具有不可替代的作用。由于具有生活周期长、活动场所比较固定、易于采集、且不同种类对生境的敏感性差异大等优点, 大型无脊椎动物作为重要的指示生物, 被广泛应用于水质及环境监测<sup>[5]</sup>。而针对源头区小型溪流的无脊椎动物多样性调查和水质评价在国内鲜见报道<sup>[6]</sup>。

幡河是赤壁市境内黄盖湖水系的一条小型河流, 由连接慕阜山北麓的陆地景观和黄盖湖水体生态系统地之间流动水构成。它与陆地生态系统紧密相连, 从其流域内所输出的碳和氮, 是黄盖湖水体生

态系统营养载荷重要的贡献者, 在防止黄盖湖水体富营养化方面也提供了非常重要的生态服务功用<sup>[7]</sup>。此外, 在幡河分布着一些特有的稀有鱼类<sup>[7]</sup>, 并于2009年在幡河流域设立了特有鱼类国家级水产种质资源保护区。从保护鱼类的角度, 开展作为其饵料来源的大型无脊椎动物研究也很有必要。作者于2009年7月对幡河流域的大型无脊椎动物的种类组成、物种多样性以及群落分布进行了调查, 分析了环境因子对无脊椎动物群落的影响以及运用生物指数对幡河的水质进行了评价, 希望本文的研究结果一方面对幡河鱼类保护区今后的综合管理和相关研究提供生物学依据, 另一方面为我国河源区溪流大型无脊椎生态学研究积累和丰富资料。

## 1 研究区域和方法

### 1.1 自然概况

幡河又称新店河, 位于赤壁市西南, 发源于十字坳, 注入黄盖湖, 全长57.2 km, 流域面积290 km<sup>2</sup>。

收稿日期: 2010-12-17; 修回日期: 2011-03-20

基金项目: 国家科技重大专项水体污染的控制与治理(2008ZX07102-005, 2008ZX07105-004)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-Z-0933)、淡水生态与生物技术国家重点实验室(2009FB16)

作者简介: 蒋小明(1983~), 男, 江西省九江人, 博士研究生, 主要从事河流大型无脊椎动物生态学研究。E-mail: jxm123.83@163.com

\* 通讯作者: E-mail: zhxie@ihb.ac.cn

幡河河源主要由羊楼司港、柳林港、羊楼洞港、雷家桥港等4条小溪流构成。幡河河源小溪流在海拔高度200~400 m以上区域,穿行于“V”型河谷的丘陵地带。沿岸带大部分被山林所覆盖,溪流的遮阴率达80%以上,河床基地多为岩石、砾石和鹅卵石。夏季水温通常在23~25℃<sup>[7]</sup>。

## 1.2 样品采集及处理

2009年7月对幡河大型无脊椎动物进行采集。在全流域共设置7个样点,其中1个干流样点,6个属于支流样点,分布为:羊楼司港、柳林港各2个样点,羊楼洞港、雷家桥港各1个样点(图1)。

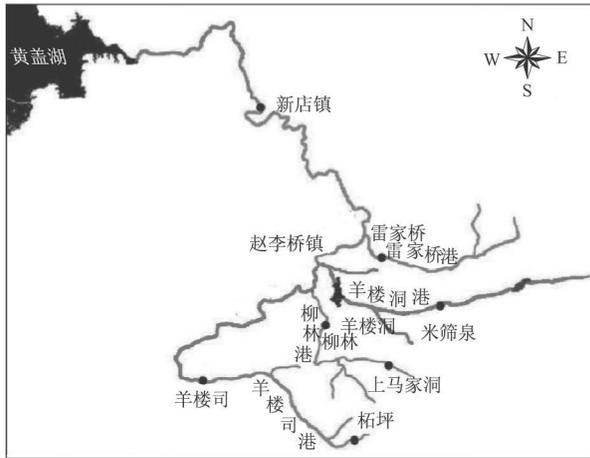


图1 幡河大型无脊椎动物样点分布图

Fig.1 Sampling Sites of Benthic Macroinvertebrate in Pohe Stream

定量采集采用索伯网(Surber sampler, 40目纱, 0.09 m<sup>2</sup>)进行。依据各样点生境特点,每样点采2~3次重复样。采样时索伯网顺着水流方向放置于样点的河床,先将网内的大型石块仔细清洗,使得石块上大型无脊椎动物随着水流进入索伯网内,较大的石块挑拣完后,利用铁铲搅动石块下方的底质,搅动的深度大于10 cm。将采集的底质样本放入40目分样筛筛洗,装入密封袋中带回室内,当天在白色解剖盘中进行分检,放入10%的福尔马林溶液中固定,带回实验室分别进行镜检分类、计数,并用感量为0.0001 g的电子天平称重。无脊椎动物鉴定工作参考相关文献[8~11]。

## 1.3 环境指标的测定

现场测量了10项环境指标。水温、溶解氧、电导、pH用WTW Multi 340i多功能水质分析仪现场测定,海拔和样点坐标用Garmin GPS-76测定,支流样点河宽用卷尺测定,干流则采用测距仪测定,流速用LID-10流速仪测定,水深用卷尺测定。此外,

还现场目测了各样点的遮蔽度。

## 1.4 数据分析

各生物指数分别采用以下公式计算。

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\log_2 P_i)$$

Simpson's 多样性指数:

$$D = \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

物种丰富度指数(Richness):

$$\text{Richness} = S$$

式中:  $H'$  为Shannon-Wiener 多样性指数;  $S$  为样本中总分类单元数;  $P_i$  为物种  $i$  在样本中的相对丰度。

采用束缚型排序(Constrained Ordination)分析束解析幡河无脊椎动物群落分布与环境因子之间的关系。环境参数最大标准化预处理后,作为环境数据源;大型无脊椎动物群落组成作为生物数据源,构成环境因子与种类矩阵。对无脊椎动物群落分布的除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA),显示单峰模式(gradient length > 2 standard units)更为适合群落结构与环境因子关系的分析<sup>[12]</sup>。因此采用了典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)。

为了优化分析,无脊椎动物群落数据进行  $\lg(x+1)$  转化。具有较高偏相关系( $r > 0.80$ )和波动因子(Inflation Factor)大于20的环境因子均被剔除<sup>[13]</sup>,并在分析中降低了稀有种的权重(Down-weighting Option)。用前选(Forward Selection)和Monte Carlo 转置法确定对无脊椎动物分布具有重要并独立作用的最少变量组合。该最小变量组用于最终的CCA中。数据分析采用Canoco for Windows 4.5软件。

## 1.5 水质的生物学评价

采用Shannon-Wiener指数和Hilsenhoff生物指数(BI)对幡河的水质进行生物评价。Shannon-Wiener指数评价标准:指数值>3,清洁;2~3轻污染;1~2中污染;0~1重污染。BI生物指数计算方法如下:

$$BI = \sum_{i=1}^s n_i a_i / N$$

式中:  $n_i$  为第  $i$  分类单元的个体数;  $a_i$  为第  $i$  分类单元的耐污值;  $N$  为各分类单元的个体总和;  $s$  为分类单位个数。无脊椎动物的耐污值多数指定到属

一级, 标本也尽可能鉴定到属一级。水质评价标准为:  $BI = 0 \sim 3.50$ , 极清洁;  $3.51 \sim 4.50$ , 很清洁;  $4.51 \sim 5.50$ , 清洁;  $5.51 \sim 6.50$ , 一般;  $6.51 \sim 7.50$ , 轻度污染;  $7.51 \sim 8.50$ , 污染;  $8.51 \sim 10.0$ , 严重污染。所收集到的无脊椎动物样本的耐污值主要参考王建国等<sup>[14]</sup>和王备新等<sup>[15]</sup>的资料。

## 2 结果

### 2.1 各样点环境因子特征

调查样点的水体理化指标见表 1。电导除米筛

表 1 晒河 7 个样点的理化指标

Tab. 1 Physical and Chemical Character of 7 Sampling Sites in Pohe Stream

样点	样点名称	海拔 (m)	水温 (°C)	电导 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	溶解氧 (mg/L)	pH	河宽 (m)	流速 (m/s)	水深 (m)	遮蔽度 (%)
1	柘坪	394.4	25.1	61	7.3	8.30	0.75	0.52	0.05	98
2	羊楼司	110.5	28.7	78	7.2	8.90	3.5	0.71	0.18	50
3	上马家洞	273.2	25.0	55	7.1	8.51	0.7	0.49	0.10	98
4	柳林	189.3	24.7	54	5.8	7.82	1.75	0.23	0.15	95
5	米筛泉	161.4	24.5	360	5.1	7.84	5.0	0.30	0.24	40
6	雷家桥	42.9	29.7	190	7.0	9.00	6.5	0.25	0.35	20
7	新店镇	40.0	30.1	96	8.2	8.05	40.0	0.72	0.40	5

7 个样点的无脊椎动物密度在  $166.7 \sim 5522.2 \text{ ind}/\text{m}^2$  之间, 平均密度为  $1363.5 \text{ ind}/\text{m}^2$ 。水生昆虫是占绝对优势的类群, 其平均密度达到了  $1309.5 \text{ ind}/\text{m}^2$  (占总密度的  $96.04\%$ )。水生昆虫中, 蜉蝣目平均密度为  $896.8 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $65.77\%$ ); 双翅目  $187.3 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $13.74\%$ ); 鞘翅目  $96.8 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $7.10\%$ ); 毛翅目  $55.6 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $4.07\%$ ); 广翅目  $38.1 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $2.79\%$ ); 襁翅目  $33.3 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $2.44\%$ )。软体动物和其他动物的密度分别仅为  $38.1 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $2.79\%$ ) 和  $15.9 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $1.16\%$ )。宽基蜉 (*Choroterpes* sp.)、微动蜉 (*Cinygmula* sp.)、四节蜉 (*Baetis* sp.) 和无突摇蚊 (*Ablabesmyia* sp.) 是晒河大型无脊椎动物的优势种, 它们的密度分别为  $550.8 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $40.40\%$ )、 $114.3 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $8.38\%$ )、 $58.1 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $4.26\%$ ) 和  $57.1 \text{ ind}/\text{m}^2$  ( $4.19\%$ )。生物量方面, 无脊椎动物平均生物量为  $15.17 \text{ g}/\text{m}^2$ , 由于软体动物个体较大, 虽然其密度不高, 但其生物量达到  $11.68 \text{ g}/\text{m}^2$ , 占总生物量的  $77.0\%$ 。

在调查的 7 个样点中, 无脊椎动物的种类数均在 25 种以内, 其中柘坪、上马家洞、新店镇样点物种数较高, 分别为 25、22 和 22 种。采用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数分析各样点底栖生物多样性 (图 2)。2 个多样性指数均表

现出一致的变化规律, 即在距源头最近的柘林和上马家洞样点多样性指数都较高, Shannon-Wiener 指数分别为 4.22 和 4.23, Simpson 多样性指数分别为 0.93 和 0.94, 这是因为柘林和上马家洞样点靠近河流的源头, 人为干扰少, 水质较好, 底质类型为大石和鹅卵石, 微生境复杂且多样化, 河岸带植被覆盖率较高, 适宜各种生态习性的无脊椎动物生存繁衍。

### 2.2 无脊椎动物群落结构

观察 7 个样点所采集到的无脊椎动物标本, 共鉴定出 54 个分类单元, 隶属于 4 门 6 纲 36 科 (表 1)。其中水生昆虫 45 种 (占物种总数的  $83.33\%$ ), 软体动物 4 种 (占  $7.41\%$ ), 甲壳动物 2 种 (占  $3.70\%$ ), 寡毛类、涡虫、水蜘蛛各 1 种 (附录)。

现出一致的变化规律, 即在距源头最近的柘林和上马家洞样点多样性指数都较高, Shannon-Wiener 指数分别为 4.22 和 4.23, Simpson 多样性指数分别为 0.93 和 0.94, 这是因为柘林和上马家洞样点靠近河流的源头, 人为干扰少, 水质较好, 底质类型为大石和鹅卵石, 微生境复杂且多样化, 河岸带植被覆盖率较高, 适宜各种生态习性的无脊椎动物生存繁衍。

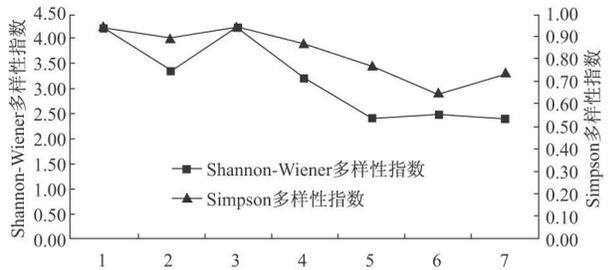


图 2 各样点无脊椎动物生物多样性指数 (1~7 号样点同表 1)

Fig. 2 Shannon-wiener and Simpson Diversity of Macroinvertebrate in 7 Sampling Sites of Pohe Stream.

### 2.3 无脊椎动物群落分布与环境因子的关系

经过筛选, 发现海拔、河宽两环境因子与晒河无脊椎动物的分布密切相关。CCA 排序图较好的说明了无脊椎动物群落分布和环境因子的关系, 所有

排序轴均有显著性差异( $p < 0.05$ ), CCA 第一排序轴和第二排序轴的特征值分别为 0.425 和 0.306, 共解释了 34.7% 的群落结构变化(表 2, 图 3)。

表 2 无脊椎动物群落分布与环境因子之间关系的 CCA 分析结果综合表

Tab. 2 Summary Statistics for the Canonical Correspondences Analysis (CCA) Relating Macroinvertebrate Communities to Environmental Variables

	前选所获得的环境因子 Forward Selection of Variables		与排序轴的相关系数 Correlations with Canonical Axes		典范系数 Canonical Coefficients	
	p-value	F-ratio	Axis1	Axis2	Axis 1	Axis2
海拔	0.002	1.98	-0.927*	0.211	-0.512	0.287
河宽	0.034	1.50	0.908*	0.287	0.376	0.315

注: \* 表示  $p < 0.05$

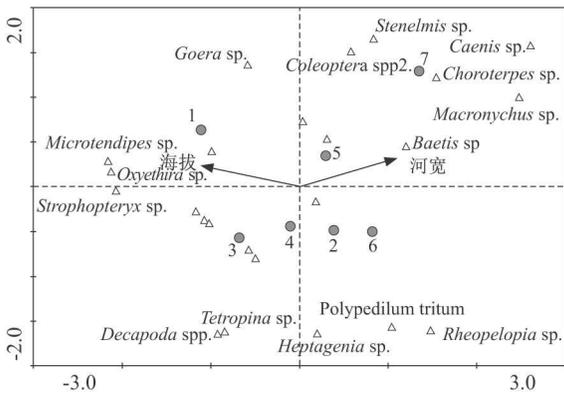


图 3 幡河无脊椎动物群落分布与关键环境变量的 CCA 排序图(1~7 号样点同表 1)

Fig. 3 CCA Ordination Plots of Macroinvertebrate Communities and Significant Environmental Variables in Pohe Stream

第一排序轴与海拔显著负相关, 与河宽显著正相关。这与本次调查幡河样点的分布状况是吻合的: 源头区域的溪流河宽较小, 且一般都位于海拔相对较高的区域。在第一排序轴上显示最大正值的物种有蜉蝣目的细蜉(*Canis sp.*)、宽基蜉(*Choroterpes sp.*)、四节蜉(*Baetis sp.*), 鞘翅目的溪泥甲科一

属(*Macronychus sp.*) 以及摇蚊科的粗腹摇蚊一属(*Rheopelopia sp.*)。这些物种主要出现在下游海拔较低、河宽较大的 6 号(雷家桥)和 7 号(新店镇)两样点中。襀翅目的带襀(*Strophopteryx sp.*)、毛翅目的姬石蛾(*Oxyethira sp.*)、以及小摇蚊(*Microtendipes sp.*) 则出现在第一轴的负轴方向, 主要分布在海拔较高、河宽较小的 1 号(柘林村)和 3 号上马家洞样点。

第二排序轴上较大正值的物种是狭溪泥甲(*Stenelmis sp.*)、鞘翅目一种(*Coleoptera spp2.*)和瘤石蛾(*Goera sp.*); 较大负值的物种有石蝇(*Tetropina sp.*) 扁蜉(*Heptagenia sp.*) 河蟹(*Decapoda spp.*) 等。

### 2.4 水质评价

从表 3 可以看出, Shannon-Wiener 指数与 BI 指数评价水质的结果显示出一定的差异: Shannon-Wiener 指数评价 1~4 号样点为清洁, 5~7 号为轻污染; 而 BI 指数评价结果显示 1~4 号样点为极清洁, 5~7 号样点为很清洁。Shannon-Wiener 指数和 BI 指数分别呈现出从上游往下游降低和增高的趋势, 显示幡河的水质状况呈现出从上游往下游的一种下降趋势。

表 3 幡河大型无脊椎动物生物指数及水质评价

Tab. 3 Biotic Index and Bioassessment of Water Quality of Sampling Stations in Pohe Stream

样点	样点名称	Shannon-Wiener 指数		BI 生物指数	
		指数值	评价	指数值	评价
1	柘坪	3.21	清洁	3.28	极清洁
2	羊楼司	3.35	清洁	3.35	极清洁
3	上马家洞	4.22	清洁	2.52	极清洁
4	柳林	4.23	清洁	3.10	极清洁
5	米筛泉	2.42	轻污染	4.17	很清洁
6	雷家桥	2.41	轻污染	3.76	很清洁
7	新店镇	2.47	轻污染	3.71	很清洁

### 3 讨论

很多研究表明,源头区的小溪流通常扮演了出现在下游河流中许多生物的生境源(Source Habitats)的角色<sup>[16]</sup>。因此,一旦河流源头区的生境受到破坏,整个流域内的许多物种就会受到威胁乃至灭绝。源头区的生境保护是整个流域物种保护的关键。此外,由于小溪流多样的生境类型、清洁的水质,通常分布有许多珍稀和大型河流中罕见的物种和群落<sup>[17-19]</sup>。本研究中蟠河无脊椎动物的分布状况也印证了河源区溪流的重要性,虽仅调查了7个样点,却发现了较为丰富的无脊椎动物资源(54种),且其中包括了蜉蝣(Prosoptomatidae spp.)这一较为罕见和珍稀的种类<sup>[20]</sup>,以及舌石蛾(*Glossosoma* sp.)、平脉石蛾(*Micrasema* sp.)、襁翅目(Plecoptera)等一些喜清洁的敏感种。物种数和 Shannon 生物多样性最高的柘林和上马家洞样点也均是最靠近源头的海拔较高、植被覆盖率高、河宽小于1m的小溪,BI生物指数的水质评价结果也显示出源头区溪流水质优于下游样点的趋势。

本研究中CCA分析显示了海拔与河宽在影响蟠河无脊椎动物分布中的重要性。海拔是一个综合影响大型无脊椎动物分布的因素<sup>[21]</sup>,在同一个季节中,海拔的不同通常会造成本样点间水温、溶氧、光照、植被覆盖率等环境因素的差异<sup>[22]</sup>。本次调查虽仅涉及了一个较小的范围,海拔最大落差约350m,但海拔与水温( $r = -0.758, p = 0.048$ )、水深( $r = -0.901, p = 0.006$ )、遮蔽度( $r = 0.865, p = 0.012$ )有着显著的相关关系,正是这些因子综合作用影响着蟠河大型无脊椎动物群落的分布。值得注意的是,由于本研究中所包括的环境因子不够充分,因此这只是对蟠河大型无脊椎动物与环境因子之间的关系作出的一个初步探讨。在以后的研究中如能考虑更多的环境因子(如总氮、总磷等水体营养因子;藻类、凋落物等生物因子),将会对环境因子如何影响大型无脊椎动物群落的分布作出更好的解释。

Shannon 多样性指数由于以生物分类单位为基础,广泛适用于各类水体,因此常被应用于水质生物评价中。但 Shannon 多样性指数仅仅反映生物群落的结构而不能反映群落的组成,对耐污种增多或耐污种取代敏感种的变化也不灵敏,且多样性指数易受采样方法、鉴定水平以及被研究水体本身所具

有的生物多样性的影响,评价的准确度不高<sup>[23,24]</sup>。BI生物指数是目前国际上最常用的与无脊椎动物耐污值有关的水质生物评价指数,BI生物指数既考虑各物种本身的耐污能力,又考虑种的个体数,能更准确地判断水质受污染程度。本研究中 Shannon 生物指数评价高估了米筛泉、雷家桥、新店镇样点的水质污染,原因在于米筛泉、雷家桥样点物种相对较少,而新店镇样点宽基蜉占绝对优势,造成了多样性指数的降低。而BI指数则较好的揭示了蟠河的水质状况,显示BI指数评价法在蟠河的适用性。

从本次调查状况来看,蟠河河源区仍然处于较原始的状态,区域内污染源少,植被完好,水质清澈,生态环境条件优良,尤其是河源区具有丰富的大型无脊椎动物资源。但蟠河是处于慕阜山余脉陆地与黄盖湖水陆交界的生态脆弱带,因而易受自然及人为活动的干扰,具有较高的生态脆弱性,如果不加以保护,生态的典型性、多样性将易遭到破坏,栖息的特有或稀有种则会濒临威胁甚至灭绝。大型无脊椎动物作为溪流生态系统中不可或缺的角色,以及鱼类的重要饵料,对其的保护也应是保护区今后管理和保护的重要对象。从保护无脊椎动物物种多样性的角度来看,我们建议将河源区作为保护的重点区域。

致谢 感谢中国科学院水生生物研究所毕永红副研究员、博士生艾鹰与赤壁市水产局多位工作人员在野外采样中给予无私的帮助。

### 参考文献:

- [1] HANSEN W F. Identifying stream types and management implications[J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, 143: 39~46.
- [2] BENDA L, HASSAN M A, CHURCH M, et al. Geomorphology of steepland headwaters: The transition from hillslopes to channels[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2005, 41: 835~851.
- [3] SIDLE R C, TSUBOAMA Y, NOGUCHI S, et al. Stormflow generation in steep forested headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm[J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14: 369~385.
- [4] CLARKE A, NALLY R M, BOND N, et al. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 2008, 53: 1707~1721.
- [5] MORSE J C, BAE Y J, MUNKHJARGAL G, et al. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5: 33~42.
- [6] 江晶,温芳妮,顾鹏,等.湖北清江流域胡家溪大型无脊椎动物群落结构及水质评价[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 547~555.
- [7] 张鸢,陈炎发.赤壁市蟠河特有鱼类国家级种质资源保护区

- 综合考察报告[R]. 2009.
- [8] EPLER J H. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina[M]. 2001.
- [9] MORSE J C, YANG L F, TIAN L X. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality[M]. Nanjing: Hohai University Press, 1994.
- [10] BRINKHURST R O. Guide to the freshwater aquatic microdrile oligochaetes on North America[J]. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 1986, 84: 1~ 259.
- [11] 刘月英, 张文珍, 王跃先, 等. 中国经济动物志. 淡水软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [12] LEPS J, SMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. London: University of Cambridge Press, 2003.
- [13] MCCUNE B, GRACE J B. Analysis of Ecological Communities [M]. Oregon: MjM Software Design. Gleneden Beach, 2002.
- [14] 王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9 (3): 279~ 284.
- [15] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J]. 生态学报, 2004, 24 (12): 2768~ 2775.
- [16] ANGERMEIER P L, WINSTON M R. Assessing conservation value of stream communities: A comparison of approaches based on centres of density and species richness [J]. Freshwater Biology, 1997, 37: 699~ 710.
- [17] WRIGHT J F, FURSE M T, MOSS D. Stream classification using invertebrates: RIVPACS applications[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, 8: 617~ 631.
- [18] FURSE M T. The application of RIVPACS procedures in headwater streams—an extensive and important national resource. In WRIGHT J F, SU T CLIFFE D W, FURSE M T (eds), Assessing the Biological Quality of Fresh Waters [M]. Ambleside: Freshwater Biological Association, 2000.
- [19] MALMQVIST B, HOFFSTEN P O. Macroinvertebrate taxonomic richness, community structure and nestedness in Swedish streams[J]. Archiv für Hydrobiologie, 2000, 150: 29~ 54.
- [20] 周长发. 中国大陆蜉蝣目分类研究[D]. 天津: 南开大学博士研究生学位论文, 2002.
- [21] TOMANOVAL S, TEDESCO P A, CAMPERO M, et al. Longitudinal and altitudinal changes of macroinvertebrate functional feeding groups in neotropical streams: a test of the Stream Continuum Concept [J]. Fundamental and Applied Limnology, 2007, 170: 233~ 241.
- [22] FINN D C, POFF N L. Variability and convergence in benthic communities along the longitudinal gradients of four physically similar Rocky Mountain streams[J]. Freshwater Biology, 2005, 50: 243~ 261.
- [23] 童晓立, 胡慧建, 陈思源. 利用水生昆虫评价南昆山溪流的水质[J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(3): 6~ 10.
- [24] 熊晶, 谢志才, 张君倩, 等. 傀儡湖大型底栖动物群落与水质评价[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(S1): 132~ 137.

## MACROINVERTEBRATE COMMUNITY STRUCTURE AND BIOASSESSMENT OF WATER QUALITY IN POHE STREAM, ONE OF THE HEADWATER STREAMS OF HUANGGAI LAKE WATER-NETWORK

JIANG Xiaoming<sup>1,2</sup>, CHENG Jianli<sup>3</sup>, XIONG Jing<sup>1,4</sup>, ZHANG E<sup>1</sup>, XIE Zhicai<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, Wuhan 430072, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China; 3. School of Life Science, Jinggangshan University, Jiān 343009, China; 4. Hubei Environmental Monitoring Center, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** During July of 2009, macroinvertebrate assemblages were investigated in Pohe Stream which is an important headwater system belonging to Huanggai Lake water-network, located in Chibi County, Hubei Province. A total of 54 taxa were identified, belonging to 4 phyla, 6 classes and 36 families. Of which 45 were aquatic insects, 4 mollusks, 2 crustaceans and 3 others (oligochaete, turbellarian and arachnid). The larvae of Ephemeroptera and Chironomidae were the dominant groups in abundance. *Choroterpes* sp., *Cinygmula* sp., *Baetis* sp. and *Abalabesmyia* sp. were most dominant taxa and their relative abundance were 40.40%, 8.38%, 4.26% and 4.19% of the total, respectively. Canonical correspondence analysis (CCA) was used to explore the importance of environmental factors in influencing macroinvertebrate community structure. The results showed altitude and channel width were the significant predictors of the community variance. Shannon-Wiener diversity and Hilsenhoff's Biotic Index (BI) were explored to assess the water quality of the stream. The results of two indices were different to a certain extent and indicated that the water quality was quite clean in most sampling sections. Considering the coincidence with physical-chemical parameters, BI bioassessment method should be applicable in this headwater stream ecosystem.

**Key words:** macroinvertebrate; headwater stream; community structure; bioassessment; canonical correspondence analysis.

附录 晒河各样点无脊椎动物物种名录

Appendix List of Macroinvertebrates in Seven Sampling Sites of Pohe Stream

	采样点								采样点						
	柘坪	羊楼司	上马家洞	柳林	米筛泉	雷家桥	新店镇		柘坪	羊楼司	上马家洞	柳林	米筛泉	雷家桥	新店镇
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
扁形动物门 Platyhelminthes								26. 多距石蛾 <i>Neureclipsis</i> sp.	+						
1. 涡虫 <i>Turbellaria</i>			+		+			27. 姬石蛾 <i>Oxyethira</i> sp.	+		+				
环节动物门 Annelida								28. 平脉石蛾 <i>Micrasema</i> sp.			+				
寡毛纲 Oligochaeta								鞘翅目 Coleoptera							
2. 颤蚓 <i>Tubificidae</i> gen. sp.				+				29. 狭溪泥甲 <i>Stenelmis</i> sp.	+					+	+
节肢动物门 Arthropoda								30. 溪泥甲科一属 <i>Macronychus</i> sp.						+	+
甲壳纲 Crustacea								31. 龙虱 <i>Dytiscidae</i> spp.	+						
3. 河蟹 <i>Decapoda</i> spp.			+	+				32. 鞘翅目一种 <i>Coleoptera</i> spp1.	+	+					
4. 米虾 <i>Decapoda</i> spp.	+		+					33. 鞘翅目一种 <i>Coleoptera</i> spp2.	+	+				+	+
蛛形纲 Arachnida								34. 扁泥甲 <i>Psephenidae</i> spp.	+	+	+	+		+	
5. 水蜘蛛 <i>Araneae</i> spp.			+					广翅目 Megaloptera							
昆虫纲 Insecta								35. 齿蛉科一属 <i>Neochauliodes</i> sp.	+	+	+	+		+	
蜻蜓目 Odonata								36. 星齿蛉属 <i>Protohermes</i> sp.	+						
6. 春蜓 <i>Gomphidae</i> spp.						+		双翅目 Diptera							
7. 蜉蝣目 <i>Ephemeroptera</i>								37. 无突摇蚊 <i>Ablabesmyia</i> sp.	+		+	+		+	+
8. 蜉蝣 <i>Prosoptomidae</i> spp.				+				38. 粗腹摇蚊一属 <i>Rheopelopia</i> sp.		+				+	
9. 细蜉 <i>Caenis</i> sp.							+	+	39. 多足摇蚊一种 <i>Polypedium tritum</i>		+		+		+
10. 四节蜉 <i>Baetis</i> sp.			+		+	+	+	40. 梯形多足摇蚊 <i>P. scalaemum</i>	+						
11. 扁蜉 <i>Hepagenia</i> sp.			+	+		+		41. 隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> sp.							+
12. 高翔蜉 <i>Epeorus</i> sp.			+					42. 小摇蚊 <i>Microtenidipes</i> sp.	+		+				
13. 微动蜉 <i>Cinygmula</i> sp.	+	+	+	+		+	+	43. 摇蚊科一属 <i>Dicrotendipes</i> sp.							+
14. 宽基蜉 <i>Choroterpes</i> sp.	+					+	+	44. 长附摇蚊 <i>Tanytar sus</i> sp.				+			
15. 柔裳蜉 <i>Habrophlebiodes</i> sp.						+		45. 直突摇蚊 <i>Orthocladius</i> sp.	+					+	
16. 小蜉 <i>Ephemera</i> sp.						+		46. 直突摇蚊一属 <i>Mesocricotopus</i> sp.			+				
17. 越南蜉 <i>Vietnamellidae</i> spp.	+	+	+					47. 朝大蚊 <i>Antocha</i> sp.	+	+	+				
襁翅目 Plecoptera								48. 大蚊科一种 <i>Tipulidae</i> spp.						+	
18. 石蝇 <i>Tetropina</i> sp.	+	+	+	+				49. 蠓 <i>Culicoides</i> sp.						+	
19. 带襁 <i>Strophopteryx</i> sp.			+	+				50. 舞虻 <i>Empididae</i> spp.	+						
毛翅目 Trichoptera								软体动物门 Mollusca							
20. 短脉纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	+	+			+			腹足纲 Gastropoda							
21. 纹石蛾科一属 <i>Aethalopsyche</i> sp.	+							51. 短沟蜷一种 <i>Semisulcospira</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+
22. 纹石蛾科一属 <i>Macrostenum</i> sp.		+						52. 方格短沟蜷 <i>S. cancellata</i>						+	
23. 舌石蛾 <i>Glossosoma</i> sp.	+							53. 圆扁螺属 <i>Hippetit</i> sp.					+		
24. 黑毛石蛾 <i>Melanotrichia</i> sp.						+		瓣鳃纲 Lamellibranchia							
25. 瘤石蛾 <i>Goera</i> sp.	+		+				+	54. 河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>				+			