J. Lake Sci.(湖泊科学), 2008, **20**(4): 520-528
http://www.jlakes.org. E-mail: jlakes@niglas.ac.cn
©2008 by *Journal of Lake Sciences*

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*

苏华武, 江　晶, 温芳妮, 李晓宇, 闫云君**
(华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074)

摘　要: 2006 年 4 月至 2007 年 3 月, 对清江流域上游一二级支流——叹气沟河的大型底栖动物群落结构进行了深入研究, 并利用生物指数对河流水质进行了评价. 结果表明, 共采集到大型底栖动物 82 种, 其中水生昆虫 7 目、27 科、45 属、70 种. 群落表现出明显的时空特点, 具边缘效应的第 2 采样点物种最丰富, 4 月份物种最多, 达 61 种; 群落春季的多样性最高, 依次为夏季、冬季、秋季; 各微生境中共有种占据优势, 物种相似性均大于 60%; 功能摄食群则以收集者占优, 共计达 55 种. 群落密度在 4 月份达到最大, 为 3293ind./m^2; 而生物量则在 12 月份达到最大, 为 163g/m^2. 采用 Shannon 多样性指数、生物指数和科级水平生物指数对叹气沟河水质评价的结果是该河流水质比较清洁.
关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 生物监测; 水质; 叹气沟河

Community structures of macrozoobenthos and bioassessment of water quality in Tanqigou Stream of Qingjiang River Basin, Hubei Province

SU Huawu, JIANG Jing, WEN Fangni, LI Xiaoyu & YAN Yunjun
(*College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan* 430074, *P.R.China*)

Abstract: The community structures of macrozoobenthos and bioassessment of water quality in a second order river—Tanqigou stream of Qingjiang River Basin were investigated from April 2006 to March 2007. Altogether 82 species of macroinvertebrates were collected, among which aquatic insects were 70 species, belonging to 45 genera in 27 families under 7 orders. The community structure exhibited an obvious spatial and temporal variations. Site S2 with fringe effect possessed the largest number of species, and most of the macroinvertebrates presented in April with 61 species sampled, more than those in other months. Over 60% of the collected species could inhabit in the six types of microhabitats. Biodiversity in spring was the largest, and followed summer, winter and fall in rank. The density of the community reached its peak in April at 3293ind./m^2, while biomass attained its peak in December at 163g/m^2. The water quality was bioassessed with Shannon-Weaner diversity, Biotic Index and Family Biotic Index, and totally it was fairly clean during the sampling period. Considering the coincidence with physical-chemical parameters, *BI* and *FBI* bioassessment methods were fitter to apply in this region .
Keywords: Macrozoobenthos; community structure; biomonitoring; water quality; Tanqigou Stream

水生大型底栖无脊椎动物(以下简称底栖动物)在水生系统的物质循环和能量流动中具有不可替代的作用; 又由于其具有生命周期较长、行动缓慢、分布广泛、形体较易辨认等优势, 已越来越广泛地被用于生物监测和生态评价[1] . 有关研究已于 20 世纪 70 年代在北美和欧洲广泛开展, 并取得较大进展. 我国也从 20 世纪 90 年开始应用底栖动物群落结构对河流水质进行生态学评价, 但研究多集中在黄河、淮河、珠江以及长江中下游流域, 涉及长江上游及其支流的研究则相对匮乏[2-5]. 于 2006 年 4 月至 2007 年 3 月间对清江流域一二级河流——叹气沟河的大型底栖动物群落结构和水质生物评价评价进行了为期一年的系统的研究,

* 国家自然科学基金(30640024)资助. 2007−08−20 收稿; 2007−11−09 收修改稿. 苏华武, 男, 1969 年生, 硕士研究生; E-mail: suhuawu2000@tom.com.
** 通讯作者; E-mail: yanyunjun@tom.com.

以期增进对长江上游河流, 特别是三峡水库成库后长江上游河流生物群落及水质变化情况的了解.

1 方法

1.1 采集点和采样时间

叹气沟河是长江支流清江的一条二级河流, 位于湖北西南地区长阳土家族自治县境内, 在长阳县龙舟坪镇附近注入清江, 其出口与龙舟坪镇隔江相望, 流域面积约 48km^2. 叹气沟河两侧为山脉, 植被覆盖率较高, 河两岸生长灌木和杂草. 流域地区为亚热带气候, 春季和夏季多雨水, 河水流量较大; 秋季和冬季干旱, 河水流量较小. 该河两岸尚未建造工业设施, 但沿岸有农田和居民居住. 根据河流生境类型从上游至下游选择了 6 个采样点(图 1), 分别是: 1 站(S1)位于上游河段较窄处中心点, 河床以沙石为主; 2 站(S2)位于大石块区, 水流较缓, 地势高低错落, 河边有较多树木, 河中部分地方长有水草; 3 站(S3)位于一堰塘下游缓水区, 河边布满水草和树木; 4 站(S4)位于堰塘下游浅水区缓流处, 地势平缓, 河中有较多圆石; 5 站(S5)位于一水库下游, 石块较多, 水流较急, 生境较为单一; 6 站(S6)位于瀑布下游, 水流较急, 河边有较多植物. 采样时间一般为每月 5 号左右, 为期一年, 即 2006 年 4 月至 2007 年 3 月.

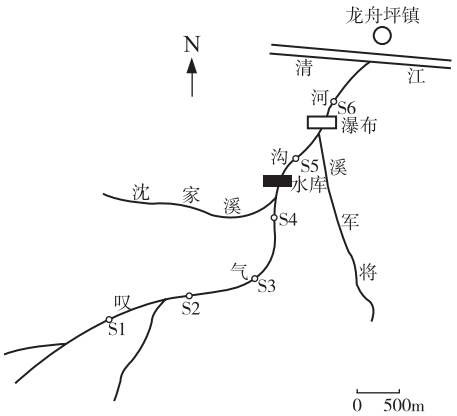


图 1 叹气沟河及采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling sites at Tanqigou Stream

表1 叹气沟河河水理化性质(周年均值)

Tab.1 Main physical and chemical characteristics of Tanqigou Stream (Annual average value)

pH	悬浮物 (mg/L)	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	亚硝酸盐氮 (mg/L)	硝酸盐氮 (mg/L)	溶解氧 (mg/L)	高锰酸盐指数	BOD (mg/L)
7.8	5.3	0.038	1.362	0.76	0.172	0.43	6.86	3.8	1.9

1.2 标本采集及处理

定量采集使用 60 目的 D 型网或 Surber 网, 每样点 1 次, 3 个重复. 样品经 60 目铜筛筛洗后, 剩余物带回实验室, 置于白磁盘活体挑选, 标本以 10%福尔马林固定保存. 标本经鉴定、计数和称重后, 换算成每平方米的含量. 底栖动物鉴定工作参考相关文献[6-8].

1.3 水质的生物学评价

根据叹气沟河大型底栖动物群落的特点及取样数据, 选择以下生物指数进行水质评价.

1.3.1 物种多样性指数 Shannon-Wiener 指数:

$$H' = -\sum_{n}^{s} P_i \ln P_i$$

式中, S 为总物种数; P 为第 i 种的个体数占总个体数的比例; n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种的个体总数. 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.

1.3.2 科级水平生物指数(*FBI*) [9]

$$FBI = \sum_{i=1}^{F} n_i t_i / N$$

式中: n_i为第i科的个体数; t_i为第i科的耐污值; N为各科个体总和; F为科数. 水质评价标准: *FBI*: 0.00–3.75极清洁, 3.76–4.25很清洁, 4.26–5.00清洁, 5.01–5.75一般, 5.76–6.50轻度污染, 6.51–7.25污染, 7.26–10.00 严重污染.

1.3.3 生物指数(*BI*)[10]

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

式中: n_i为第i分类单元(属或种)的个体数; a_i为第i分类单元(属或种)的耐污值; N为各分类单元(属或种)的个体总和; S为种类数. 水质评价标准: *BI* = 0.00–3.50极清洁, 3.51–4.50很清洁, 4.51–5.5清洁, 5.51–6.50一般, 6.51–7.50轻度污染, 7.51–8.50污染, 8.51–10.00严重污染.

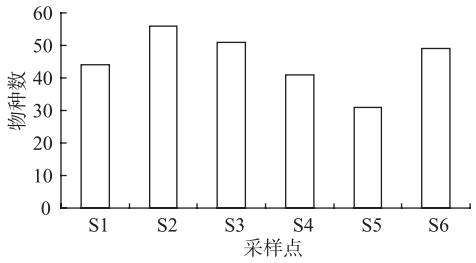


图 2 河流底栖动物群落结构的空间动态

Fig.2 Spatial dynamics of riverine macrozoobenthos community

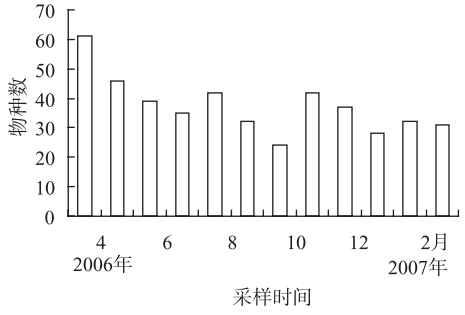


图 3 河流底栖动物群落结构的时间动态

Fig.3 Temporal dynamics of riverine macrozoobenthos community

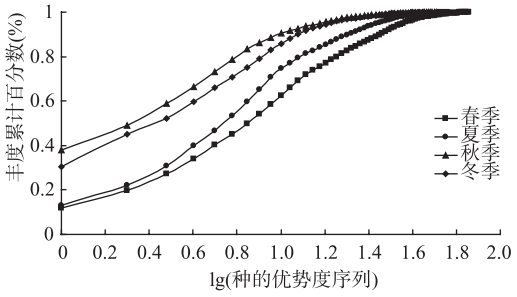


图 4 各季节的 *K*-优势曲线

Fig.4 *K*-dominance curve of various seasons

2 结果

2.1 叹气沟河大型底栖动物群落构成及动态

共采集到大型底栖动物 82 种, 其中环节动物 4 种, 软体动物 4 种, 水生昆虫 70 种, 软甲动物 3 种, 鱼 1 种(表 2). 其中, 水生昆虫 7 目、27 科、45 属、70 种, 计 14034 头.

2.1.1 群落结构的空间动态 从空间上看, 在一年中各样点采集到的物种数如图 2 所示. 其中 S2 采集到的底栖动物种类最多, 共计 56 种. 这与 S2 位于河边水草区, 生境复杂, 空间异质性强, 具边缘效应有关. 而 S5 的种类最少, 仅有 31 种, 这可能由于水流较急, 生境单一且受污染干扰, 造成多数环境敏感种类不能生存的缘故.

2.1.2 群落结构的时间动态 从时间上看, 4 月份采集到的物种最多, 为 61 种, 明显高于其它月份, 这说明春季河流底栖动物大量繁殖, 特别是少见种在 4–6 月份出现较多. 相反, 在 10 月少见种出现得比较少, 10 月物种数仅有 24 种, 这与秋季捕食者的捕食压力大和采样误差有关.

2.1.3 群落 *K*-优势度曲线的季节动态 物种多样性可用 *K*-优势曲线比较, 它综合了物种多样性的两个主要方面——物种丰富度和均匀性, 通过对一特定群落内的各个物种(按优势度从大到小排列)相应的累计密度百分数作图, 群落的优势格局可以非常直观地表现出来. 如果某一曲线所有各点都位于另一曲线之下, 表明该曲线所表示的群落物种多样性比另一曲线表示的群落高[11]. 图 4 是各个季节中叹气沟河大型底栖动物群落的 *K*-优势曲线. 从图 4 可以看出, 春季的群落多样性要高于夏季, 夏季又要高于冬季、秋季. 秋季的群落多样性最低.

2.2 各类型微生境群落相似性

Sørensen 指数: $S = 2c/(a+b)$ (式中, S: 相似性指数; c: 两个群落共有的种数; a: S_i 站点大型底栖动物群落的物种数; b: S_j 站点大型底栖动物群落的物种数). 计算出各微生境的 Sørensen 相似指数见表 3. 总体上, 生活在各微生境中的共有中占据优势, 最小的相似性也达到 0.60. S3 和 S6、S4 和 S6 的相似性更高达 0.84、0.80. 说明多数物种能够适应河流的多种微环境, 从某种意义上保证了在干旱季节河流物种多样性的延续.

表 2 叹气沟河底栖动物名录
Tab.2 The list of macrozoobenthos in various microhabitats in Tanqigou Stream

物种名称	S1	S2	S3	S4	S5	S6
环节动物						
参差仙女虫 *Nais variabilis*		+				
霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*		+				
苏氏尾鳃蚓 *Branchiura sowerbyi*	+				+	
扁蛭 *Glossiphonidae*			+			+
软体动物						
无齿蚌 *Anodonta fluminea*		+				
拟钉螺 *Tricula*			+	+		+
尖口圆扁螺 *Hippeutis cantori (Benson)*	+	+	+			+
闪蚬 *Corbicula nitens*		+	+	+	+	+
昆虫纲						
中华扁蜉 *Epeorus sinensis Umler*	+	+	+	+	+	+
黑细蜉 *Caenis nigropunctata Wu*	+	+	+	+	+	+
小裳蜉 *Leptophlebia* sp.	+	+	+	+	+	+
二翼蜉 *Cloeon dipterum*	+	+	+	+	+	+
小蜉 *Ephemerella*	+	+	+	+	+	+
花鳃蜉 *Potamanthus*	+			+		
二尾蜉 *Siphlonurus*	+	+		+		+
晚蜉一种 *Teloganodidae* sp.			+			+
蜉蝣一种 *Ephemera* sp.	+	+	+	+	+	+
四节蜉一种 *Baetidae* sp.		+	+	+		+
低头石蚕 *Neureclipsis* sp.	+	+	+	+		+
纹石蚕种 1 *Hydropsyche* sp.		+		+	+	+
纹石蚕种 2 *Hydropsyche* sp.	+	+	+	+		+
石蚕一种 *Atopsyche* sp.	+					
石蝇 *Perla*	+	+	+	+		+
短尾石蝇 *Nemoura*	+	+	+	+		+
大石蝇 *Pteronacys*	+	+				
菱跗摇蚊一种 *Clinotanypus* sp.		+		+	+	
前突摇蚊一种 *Procladius* sp.	+		+			+
三带环足摇蚊 *Cricotopus trifasciatus*		+		+		
昏眼摇蚊一种 *Stempellina* sp.		+	+			+
侧叶雕翅摇蚊 *Glyptotendipes lobiferus*	+	+				
摇蚊一种 *Zavrelimyia* sp.		+				
雕翅摇蚊一种 *Glyptotendipes* sp.	+	+	+	+	+	+
羽摇蚊 *Tendipes plumosus*	+	+	+	+	+	+
梯形多足摇蚊 *Polypedilum scalaenum*	+	+	+	+	+	+
流水长跗摇蚊一种 *Rheotanytarsus* sp.	+	+	+	+	+	+
流水巴氏摇蚊一种 *Hydrobaenus* sp.		+				
斑点摇蚊 *Stictochironomus* sp.			+			
罗甘小突摇蚊 *Micropsetra logana*		+	+	+	+	
小摇蚊一种 *Microtendipes* sp.	+	+	+	+	+	+
长跗摇蚊一种 *Tanytarsus* sp.						+

续表 2

物种名称	S1	S2	S3	S4	S5	S6
黑内摇蚊 *Enolochironomus nigricans*	+		+			
摇蚊一种 *Conchapelopia* sp.	+	+	+	+	+	+
摇蚊一种 *Mesopsectrocladius* sp.	+	+	+	+	+	+
摇蚊一种 *Acricotopus* sp.	+	+	+	+	+	+
摇蚊一种 *Oliveridia* sp.			+			+
摇蚊一种 *Paradadius* sp.	+		+	+		+
拟长跗摇蚊一种 *Paratanytarsus* sp.	+	+	+	+	+	+
斑特突摇蚊一种 *Thienemannimyia* sp.	+	+	+	+	+	+
粗腹摇蚊一种 *Macropelopia* sp.	+	+	+			
波特真开氏摇蚊一种 *Eukiefferiella* sp.	+	+	+	+	+	+
摇蚊一种 *Euorthocladius* sp.	+	+	+	+	+	+
摇蚊一种 *Paralimnophyes* sp.					+	
刀突摇蚊一种 *Psectrocladius* sp.					+	
斯氏摇蚊一种 *stempellinella* sp.	+		+			
长跗摇蚊一种 *Tangtarsus* sp.		+				
摇蚊一种 *Chironomini*		+	+	+		+
摇蚊一种 *Paratrissocladius* sp.		+				
摇蚊一种 *Chernovskiia* sp.			+			+
摇蚊一种 *Cyphomella* sp.		+				
摇蚊一种 *Xylotopus* sp.		+				
摇蚊一种 *Sordidellus* sp.		+				
摇蚊一种 *Odontomesa* sp.	+					
摇蚊一种 *Pseudorthocladius* sp.			+			
蚋一种 *Simulium* sp.			+	+		+
蠓 *Palpomyia*	+	+	+	+	+	+
大蚊一种 *Tiplua* sp.	+	+	+	+	+	+
水虻一种 *Stratiomyia* sp.		+	+			+
蜓科一种 *Aeschnidae* sp.		+	+			
蜻科一种 *Libellulidae* sp.		+	+			+
亚洲瘦蟌 *Ischnura asiatica*	+	+		+	+	+
丝蟌一种 *Lestes* sp.	+					
虎蜻 *Epitheca marginata*						+
小判虫 *Naucoris exclamationis*		+	+			
豉虫一种 *Gyrinus* sp.		+				
沼甲 *Helodes*	+	+	+	+	+	+
龙虱一种 *Dytiscidae* sp.			+	+	+	
水跳虫 *Podura aquaticus*						+
甲壳纲						
中华齿米虾 *Caridina denticulata*	+	+				+
钩虾 *Gammarus*	+		+	+		+
圆顶华溪蟹 *Sinopotamon teritisum*	+	+	+	+	+	+
脊椎动物						
鱼 纲						
短体条鳅 *Nemachilus potaneni Guther*	+					
物种总数	44	56	51	41	31	49

表 3 各种微生境的物种相似性

Tab.3 Similarity of species composition between microhabitats in Tanqigou Stream

站点	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	1	-	-	-	-	-
S2	0.60	1	-	-	-	-
S3	0.69	0.69	1	-	-	-
S4	0.65	0.72	0.76	1	-	-
S5	0.64	0.62	0.61	0.78	1	-
S6	0.71	0.69	0.84	0.80	0.63	1

2.3 功能摄食类群分析

在采集到的 82 种大型底栖动物中, 共有撕食者(shredders)5 种, 收集者(collectors)55 种, 刮食者(scrapers)10 种, 捕食者(predators)12 种, 功能摄食群分布较为合理. 各采样点功能摄食群分布见表 4.

从表 4 可以看出, 在 S2 以撕食活的或死的植物组织为生的撕食者比其他样点多, 这是由于 S2 位于河边水草区, 落叶、树枝或其他有机物质残渣有相当一部分没有分解, 依赖撕食者分解, 而下游的 S5 由于水流急, 生境较为单一, 没有落叶等滞留, 甚至没有采到撕食者. S1、S2 以滤食较细颗粒有机质为生的收集者较多, 而随着粗颗粒有机物质经过撕食者、收集者和微生物等的共同利用后逐渐分解变细, 同时上游水生生物也被带到下游, 因此 S3 的捕食者明显增加, 上述结果与“河流连续概念”基本一致.

表 4 各微生境大型底栖动物的功能摄食类群

Tab.4 Functional feeding groups in various microhabitats in Tanqigou Stream

功能摄食类群	采样点					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
撕食者	1	4	2	1	0	2
收集者	33	34	31	30	22	35
刮食者	4	9	7	5	6	7
捕食者	6	9	11	5	3	5
总计	44	56	51	41	31	49

2.4 群落现存量周年动态

叹气沟河大型底栖动物群落现存量的周年动态如图 5 所示. 从图 5 可以看出, 群落多度在 4 月份、8 月份、次年 1 月份达到峰值, 分别为 3293ind./m^2、2356ind./m^2 和 3309ind./m^2. 而生物量则在 8 月份和 12 月份达到最大, 分别为 98g/m^2 和 163g/m^2. 生物量在 4 月份和次年 1 月份没有达到峰值可能与老个体的衰亡与羽化及新个体体重极小有关. 多度和生物量的周年平均值分别为 2280.25ind./m^2, 52.067g/m^2. 各样点群落现存量动态如图 6 所示, 各个样点群落密度差异极显著(P<0.006), 生物量差异也极为显著(P<0.007).

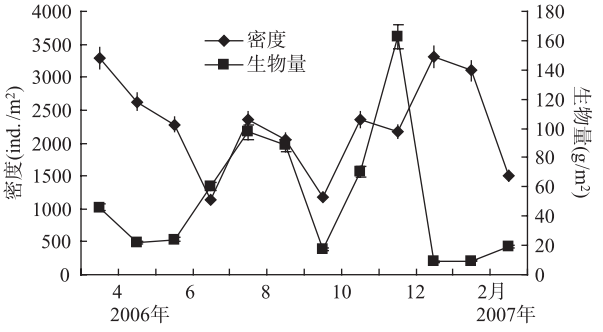


图 5 叹气沟河大型底栖动物群落现存量的周年动态

Fig.5 Annual variations of standing stock of macrozoobenthos in Tanqigou Stream

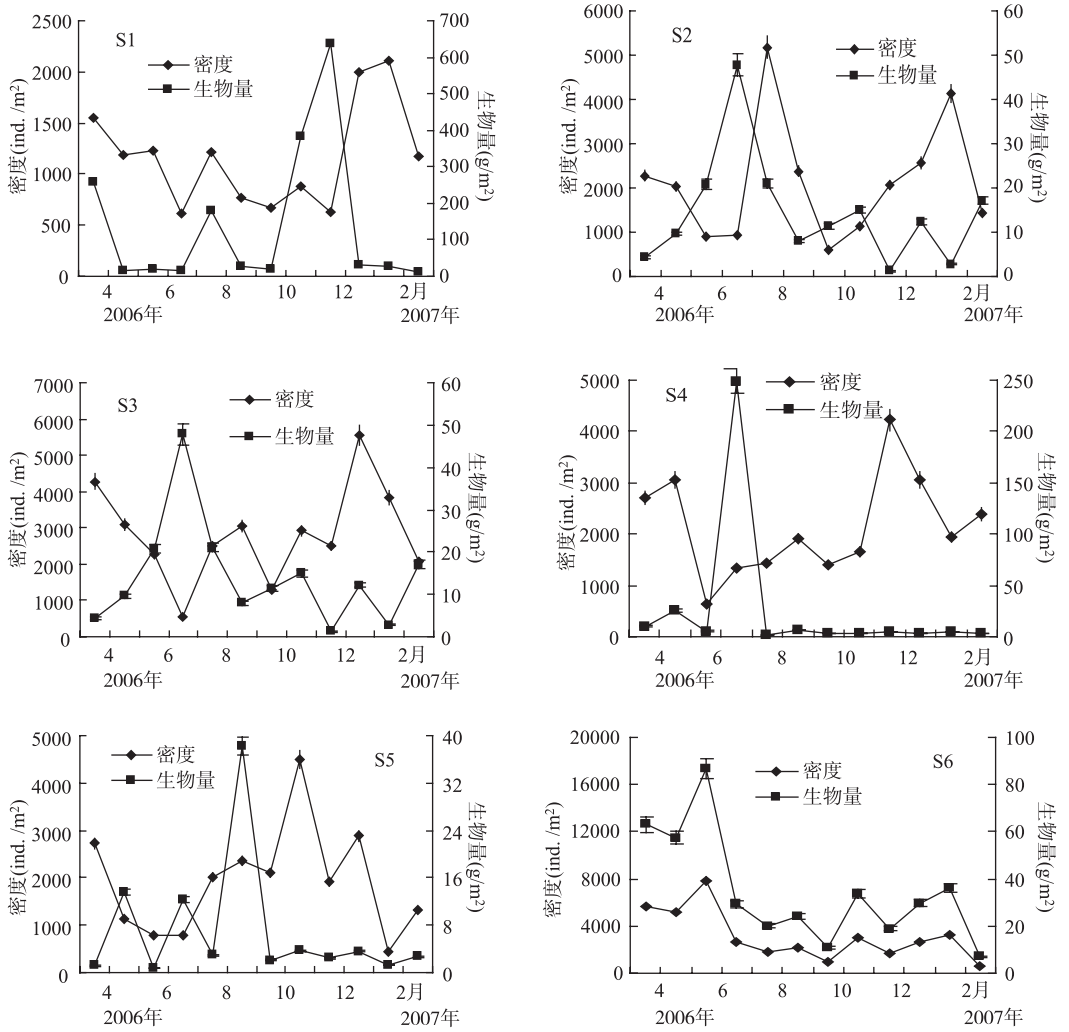


图 6 各采样点的现存量周年动态

Fig.6 Annual variations of standing stocks of various stations

2.5 水质的生物学评价

采用 Shannon 多样性指数、生物指数(*BI*)和科级水平生物指数(*FBI*)对叹气沟河水质评价结果见表 5. 从表 5 可看出, *FBI* 生物指数和 *BI* 生物指数的水质评价结果基本吻合, 但在 S4 存在差异, 用 *FBI* 生物指数评价 S4 水质一般, 用 *BI* 生物指数评价 S4 的水质属于轻微污染. 而 Shannon 生物指数的水质评价与前两者结果差异较大. 总体上, 无论采用哪种生物指数, 上游 S1、S3 采样点的水质优于下游 S4、S6 在采集到的标本中, S1、S3有一些对水质特别敏感的类群, 如蜉蝣目的扁蜉、小裳蜉, 原石蛾科的原石蛾属等, 而在 S4、S6 耐污能力相对较强的类群比 S1、S3 多, 如四节蜉科的 *Cloeon*、细蜉科的 *Caenis*, 其耐污值在 7.0 左右.

表 5 各采样点的生物指数和水质评价

Tab.5 Biotic Indexes and bioassement of water quality of various stations

采样点	*FBI*生物指数			*BI*生物指数			Shannon生物指数		
	指数值	水质级别	洁净度排序	指数值	水质级别	洁净度排序	指数值	水质级别	洁净度排序
1	4.80	清洁	1	4.69	清洁	1	4.36	清洁	1
2	5.27	清洁	4	5.46	清洁	4	4.21	清洁	3
3	4.94	清洁	2	5.01	清洁	3	4.25	清洁	2
4	5.61	一般	5	5.89	轻污	6	3.94	清洁	4
5	4.97	清洁	3	4.74	清洁	2	2.99	轻污	6
6	5.64	一般	6	5.62	一般	5	3.70	清洁	5

3 讨论

根据上述采集到的物种数和物种多样性指数, 并结合群落 *K*-优势度曲线的季节动态, 群落的现存量动态, 参照生物评价水环境的相关研究方法[12-13], 可以看出该河流水质比较清洁, 与河水理化指标提示的状况较为一致性. 总体上看, 由于该溪流生态系统处于山区, 主要的土地利用模式以农业和林业为主, 受到人为影响特别是废水排放污染相对较小. 因此, 河流生态系统处于良好的健康状态, 生物多样性比较复杂, 生态功能运转良好.

从种多度的季节动态来看, 春季的群落多样性最高, 依次为夏季、冬季、秋季. 在对同一河流的不同类型微生境群落结构的比较发现, 约有 60%的物种可以适应生存于河流的各种微生境, 其余约 40%的物种则在不同定程度上反映出微生境间的差异. 如 S5 位于一水库下游, 水流急, 生境较单一, 所采集到的物种数和物种多样性较其它各采样点均小; 而 S2 比其它采样点生长着更多的水生植物, 改变了生态系统的空间结构, 增加了空间的异质性, 所采集到的物种数和物种多样性较其它采样点均大. 这与董哲仁[14]的结论相一致.

物种多样性指数 Shannon 指数由于以生物分类单元为基础, 适用于各种水体的水生生物群落, 但由于没有考虑各物种(类群)的耐污值, 当耐污种替代敏感种时对水质的评价可能比实际值高. 生物指数评价法既考虑了水生生物本身的耐污值, 又考虑了物种的个体数, 增强了评价的可靠性. 科级水平生物指数评价法, 由于样品只需要鉴定到科级分类单元, 省时省力, 但同一科内, 不同属、种间耐污能力有时差异较大, 因而相对也较粗放; *BI* 生物指数由于鉴定到了属或种, 比 *FBI* 生物指数精确度更高[15]. 在较清洁的水体中, 如 S1、S3, *FBI* 生物指数比 *BI* 高, 这与 Hilsenhoff[9]的结论相似.

为此, 该溪流的物种和生物多样性可作为我国低级清洁河流的本底, 为评价其它存在不同程度污染河流提供背景参考.

致谢: 华中科技大学环境科学与技术学院在水样理化性质的测定过程中给予了帮助, 本实验室的刘文山、阎金勇、汪小锋等同学也参与了采样工作, 在此一并感谢.

4 参考文献

[1] 任淑智. 北京地区河流中大型大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究. 环境科学学报, 1991, **11**(1): 31-46.

[2] 段学花, 王兆印, 程冬升. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性. 生态学报, 2007, **27**(4): 1664-1672.

[3] 贾建华, 田家怡. 黄河三角洲淡水底栖动物名录. 海洋湖沼通报, 2003, (2): 83-86.

[4] 刘 玉, Vermaat JE, Ruyter ED. 珠江、流溪河大型底栖动物分布和氮磷因子的相关分析. 中山大学学报(自然科学版), 2003, **42**(1): 95-99.

[5] 夏爱军, 陈校辉, 蔡永祥. 长江江苏段底栖动物群落结构现状及其水质的初步评价. 海洋渔业, 2006, **28**(4): 272-277.

[6] 周长发, 归 鸿, 周开亚. 中国蜉蝣目稚虫科检索表(昆虫纲). 南京师大学报(自然科学版), 2003, **26**(2): 65-68.

[7] 大连水产学院主编. 淡水生物学: (上册). 北京: 农业出版社, 1978: 291-334.

[8] 梁象秋, 方纪祖, 杨和荃编著. 水生生物学(形态和分类). 北京: 中国农业出版社, 1995: 200-252.

[9] Hilsenhoff WL. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic ind.ex. *Journal of North American Benthological Society*, 1988, **7**(1): 65-68.

[10] Hilsenhoff WL. An improved biotic ind.ex of organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist*, 1987, **20**: 31-39.

[11] 闫云君, 李晓宇, 梁彦龄. 草型湖泊和藻型湖泊中大型底栖动物群落结构的比较. 湖泊科学, 2005, **17**(2): 176-182.

[12] 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. 应用与环境生物学报, 2003, **9**(3): 279-284.

[13] 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. 生态学报, 2004, **24**(12): 2769-2775.

[14] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性. 水利学报, 2003, **11**: 1-7.

[15] 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. 华南农业大学学报, 1995, **16**(3): 6-10.