

doi: 10.3969/j.issn.1007-2861.2012.04.017

# 赣江上游流域丰水期大型底栖动物群落的分布特征

余飞, 丁国际, 郑乐平, 穆莉, 张明

(上海大学环境与化学工程学院, 上海 200444)

**摘要:** 2009年6—7月间从赣江上游流域的70个采样点共采集到大型底栖动物33种, 其中软体动物门23种、环节动物门7种、节肢动物门3种, 主要优势种为河蚶(*Corbicula fluminea*)和耳型河螺(*Rivularia auriculata*)。为了较好地了解大型底栖动物的群落分布特征, 根据支流汇流和生境状况, 将上游流域划分成6个区域。对6个区域的多样性、多维尺度等的分析结果表明, 不同区域间大型底栖动物的群落结构组成存在明显差异, 其中受人为扰动最小的区域采集得到的底栖动物种类数最多, 丰度和生物量最高, Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数均处于最高水平。

**关键词:** 赣江上游流域; 大型底栖动物; 优势种; 多样性; 多维尺度

中图分类号: Q 16; Q 178

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2012)04-0419-06

## Distribution Characteristics of Macroenthos in Wet Season in Upper Ganjiang River Basin

YU Fei, DING Guo-ji, ZHENG Le-ping, MU Li, ZHANG Ming

(School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

**Abstract:** 33 macroenthos including 23 mollusks, 7 annelids and 3 arthropods were recorded from 70 sample stations in upper Ganjiang River basin during June and July in 2009. The dominant species were *Corbicula fluminea* and *Rivularia auriculata*. According to the confluence and habitat of branches, upper Ganjiang River basin was divided into 6 areas for understanding the distribution characteristics of macroenthos community. Analyses on diversity, multidimensional scaling and other factors indicate that the different areas have different structures of macroenthos community. However, among all 6 areas, the area with the least anthropogenic disturbance had the largest number of species, the highest abundance and biomass, the highest Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index.

**Key words:** upper Ganjiang River basin; macroenthos; dominant species; diversity; multidimensional scaling

赣江上游河流众多, 水利资源丰富, 为当地的工农业和生活用水、水运及旅游事业等提供了优越的条件。流域内钨、稀土、氟盐化工、脐橙四大产业集群

和一批主导产业快速成长, 已形成了一定规模的工业格局。资源性工业发展和城镇化进程对水资源的有效利用和保护提出了更高的要求。掌握水资源和

收稿日期: 2011-05-16

基金项目: 国家水体污染控制与治理重大科技专项资助项目(2008ZX07526008-008-02); 上海市重点学科建设资助项目(S30109)

通信作者: 丁国际(1955~), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为生态学。E-mail: gjding@shu.edu.cn

水环境的本底,对完善现有的水环境管理技术与方法,实现流域可持续发展具有重要的意义。

大型底栖动物的生命周期相对较长,移动能力相对较弱,因而具有一定的稳定性。同时,大型底栖动物对环境质量变化敏感,比较容易采集和易于进行种类鉴定,这些特点使其成为了水环境质量的常用指示生物之一<sup>[1-3]</sup>。此外,底栖动物在湖泊和河流等水生态系统中作为次级消费者,在物质和能量循环中扮演着重要的角色,是了解水生态系统中污染物的生物积累和迁移的重要一环<sup>[4-8]</sup>。国内外已开展了大量利用大型底栖动物对河流健康的评价工作。例如,Vannote等<sup>[9]</sup>利用大型底栖动物的群落结构完整性,进行了水生态功能分区检定和河流健康评价。赣江流域底栖动物的调查和研究,虽然已有较长的历史,但主要集中在赣江下游鄱阳湖及周边连通湖泊<sup>[10-13]</sup>,流域规模的调查和研究较为匮乏。为此,本研究在赣江丰水期对赣江上游流域的大型底栖动物进行了调查,并分析了大型底栖动物的多样性、多维尺度及生境特征等,以为赣江流域功能分区和水资源的有效利用提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 赣江上游流域概况和采样点布设

赣江上游流域位于江西省南部赣州市境内,山岭起伏,气候温和,水量丰沛,河流纵横。众多支流分别汇入章水和贡水,最终在赣州两江汇入赣江。为了比较详细地了解赣江上游流域底栖动物的分布特征,依照水生态功能区划分,将上游流域分为A1~A6 6个区域(见图1)。A1设采样点14个(编号为6~19),涵盖上犹江、龙华江、章江,其中上犹江和龙华江均建有水利设施,河滩以沙滩为主;章江沿岸工厂和居民区密布。A2设采样点8个(编号为1~5,20,71,75),涵盖赣州市辖区、万安水库及上游合流的贡江。这一区域人为扰动较多,水深流急。A3设采样点18个(编号为21~36,76,78),涵盖桃江,上游沿岸有较多的矿工厂。A4设采样点7个(编号为37~42,77),涵盖平江,上游有大型水库一座,河流底质以砂为主。A5设采样点16个(编号为43~56,72,73),涵盖梅江、琴江,梅江上游有水库,沿岸为山脉,植被覆盖率高。A6设采样点15个(编号为57~70,74),涵盖绵水、湘水、廉水,其中绵水两岸植被茂盛,水草丰富。78个采样点中的8个采样点(编号为2,3,4,31,41,47,54,57),由于受到采样时水文等条

件的影响未能采得样品,在数据统计时被排除。



图1 赣江上游流域采样点

Fig. 1 Survey station of upper Ganjiang River basin

### 1.2 采样时间和采样方法

大型底栖动物的调查在2009年6—7月间实施。

对定量样品,在水深处使用彼得逊采泥器采样,在浅水处或岸边使用定量框采样,每个采样点样品采集3次;对定性样品使用D型网采样。使用60目筛网对采集得到的泥样进行淘洗,挑出大型底栖动物置于白瓷盘中供鉴定、计数、称量使用。样品放入含有6%甲醛溶液的样品瓶中保存。对大型底栖动物的鉴定尽可能到种的水平<sup>[14-15]</sup>。

### 1.3 数据处理和分析

根据调查流域大型底栖动物的分布特点,对得到的数据采用如下公式进行分析:① Shannon-Wiener指数  $H' = -\sum (P_i) \ln P_i$ ; ② Pielou均匀度指数  $J' = H' / \ln S$ ; ③ 丰度优势度  $Y = (N_i / N) f_i$ ; ④ 生物量优势度  $Y' = (M_i / M) f_i$ ,其中  $P_i$  为  $i$  种的个体数占总个体数的比例,  $N_i$  为  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种的个体总数,  $S$  为种类总数,  $M_i$  为  $i$  种的湿重,  $M$  为所有种的总湿重,  $f_i$  为  $i$  种的出现率。数据经标准化处理后,使用SPSS 18.0进行多维尺度分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 大型底栖动物的种类和出现率

从赣江上游流域的70个采样点共采集到33种大型底栖动物。这些底栖动物隶属于3门5纲11科17属,其中软体动物门23种,占69.7%;环节动物

门7种,占21.2%;节肢动物门3种,占9.1%。A1~A6检出的大型底栖动物种类数依次为12,10,18,10,11和25种。可见,A6检出的种类数明显多于其他区域,并且只有在A6检出较多对水质和生境变化较为敏感的软体动物门双壳纲珠蚌科底栖动物。

上游流域出现率大于20%的大型底栖动物有河蚬(*Corbicula fluminea*)、耳型河螺(*Rivularia auriculata*)、刻纹蚬(*Corbicula largillierti*)、闪蚬(*Corbicula nitens*)和霍甫斯水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*),相应的出现率依次为44.7%,30.3%,25.0%,25.0%,24.2%。但是,只有耳型河螺、河蚬、霍甫斯水丝蚓在6个区域均被检出,刻纹蚬和闪蚬仅分别在5个和4个区域被检出。因此,从上游流域角度看,耳型河螺、河蚬、霍甫斯水丝蚓是最常见的大型底栖动物,其中耳型河螺和霍甫斯水丝蚓较为适应在细砂淤泥底质和流速较缓的环境中生长,而河蚬则适宜在粗砂、中砂底质环境中生长,对其他水文条件的要求不苛刻。

## 2.2 丰度和生物量

赣江上游流域及其6个区域内,大型底栖动物的丰度和生物量如图2所示。可见,上游流域大型底栖动物的平均丰度为95 ind/m<sup>2</sup>,其中A6的丰度最高,为120 ind/m<sup>2</sup>;A3位居第二,为108 ind/m<sup>2</sup>;低于平均丰度的区域有A1,A4和A5。丰度大小排序与种类数多寡排序相一致,其中A5的丰度最小,只有60 ind/m<sup>2</sup>,而A6的丰度比A5高一倍。这表明,即使在赣江上游流域分成较大的6个区域水平,丰度的分布也存在较大空间差异。

由图2可见,大型底栖动物的生物量分布特征与丰度分布特征存在明显的差异。上游流域的平均生物量为176.0 g/m<sup>2</sup>。A1~A5的生物量均在平均生物量以下,其中A3的生物量最小,仅为97.7 g/m<sup>2</sup>;A6的生物量最高,达到了368.0 g/m<sup>2</sup>,比平均生物量高1倍以上。单位面积上单位个体的重量也以A6为最高,这是因为A6检出较多数量的体重相对较重的双壳纲珠蚌科底栖动物,这可能与此区域的自然条件未受到严重扰动有关。

## 2.3 优势种

优势度是表示一个种在生物群落中的地位与作用的测定度。衡量优势度的指标主要有丰度、生物量及频率。通常小个体种类在丰度上占有优势,大个

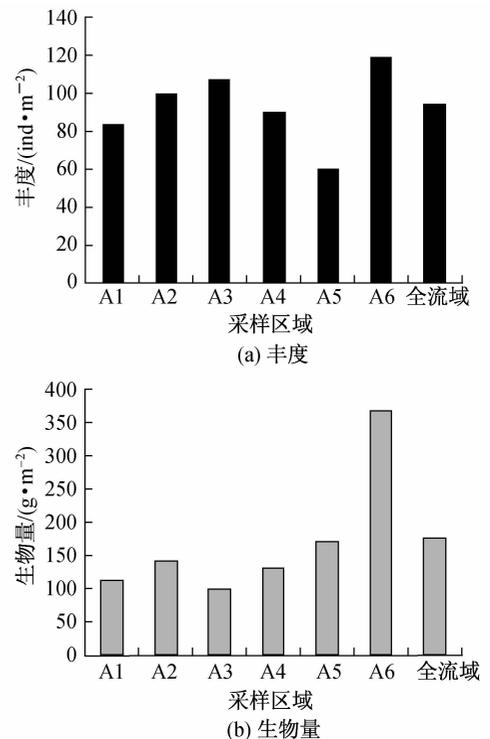


图2 大型底栖动物的丰度和生物量

Fig. 2 Abundance and biomass of macrobenthos

个体则在生物量上占有优势。考虑到大型底栖动物在个体大小上有很大的差异,本研究分别分析了丰度优势度( $Y$ )与生物量优势度( $Y'$ ),并定义优势度大于0.02的种为优势种。由表1和表2可见,在上游流域中,河蚬和耳型河螺无论是 $Y$ 值还是 $Y'$ 值均处于最高或较高的水平,因此,河蚬和耳型河螺是赣江上游流域的主要优势种。

在6个区域中,A2和A6的优势种分布特征比较特别。A2中河蚬的 $Y$ 值和 $Y'$ 值均为最高,且分别达到了0.47和0.28,具有绝对的优势。A6的优势种在丰度和生物量上与其他5个区域均有所不同。

已有一些文献指出,霍甫斯水丝蚓的丰度与有机物污染的程度呈正相关<sup>[16-17]</sup>。A1和A3中的霍甫斯水丝蚓的 $Y$ 值分别为0.04与0.10,均是丰度上的优势种,提示了A1和A3存在一定程度的有机物污染。此外,有文献指出,库区内水的流速降低和泥沙沉积量的加大可为寡毛类底栖动物提供适宜的生长环境<sup>[18-20]</sup>。A1的上游建有较多的水库,这与该区域中霍甫斯水丝蚓成为优势种是否有关有待进一步的调查。不过,由于大型底栖动物中寡毛类底栖动物的湿重很小,所有区域的寡毛类底栖动物均未能成为生物量上的优势种。

表1 丰度优势度  $Y > 0.02$  的大型底栖动物种类及其优势度Table 1 Species and abundance dominance of macrobenthos which abundance dominance  $Y > 0.02$ 

纲	种	丰度优势度( $Y$ )						采样区域
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	
腹足纲 Gastropoda	耳型河螺 <i>Rivularia auriculata</i>	0.08	—	—	—	0.05	0.11	0.03
	耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	—	—	—	0.06	—	—	—
	方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	—	—	—	—	—	0.08	—
	大瓶螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	—	—	—	—	—	0.02	—
双壳纲 Bivalvia	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.08	0.47	0.13	0.07	0.18	0.03	0.11
	刻纹蚬 <i>Corbicula largillierti</i>	—	0.12	—	—	0.09	—	0.02
	闪蚬 <i>Corbicula nitens</i>	—	0.04	—	—	0.05	—	—
寡毛纲 Oligochaeta	霍甫斯水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.04	—	0.1	—	—	—	0.02
	奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	0.02	—	0.05	—	—	—	—

表2 生物量优势度  $Y' > 0.02$  的大型底栖动物种类及其优势度Table 2 Species and biomass dominance of macrobenthos which biomass dominance  $Y' > 0.02$ 

纲	种	丰度优势度( $Y'$ )						采样区域
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	
腹足纲 Gastropoda	耳型河螺 <i>Rivularia auriculata</i>	0.08	—	—	0.21	—	0.11	0.14
	耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	—	—	—	0.08	—	—	—
	折叠萝卜螺 <i>Radix plicatula</i>	—	—	—	0.02	—	—	—
	大瓶螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	—	—	—	—	—	0.04	—
	方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	—	—	—	—	—	0.08	—
双壳纲 Bivalvia	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.08	0.28	0.13	0.05	0.14	0.03	0.09
	刻纹蚬 <i>Corbicula largillierti</i>	—	0.11	—	—	0.05	—	—
	闪蚬 <i>Corbicula nitens</i>	—	0.04	—	—	0.03	0.03	—
寡毛纲 Oligochaeta	霍甫斯水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.04	—	0.10	—	—	—	—
	奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	0.02	—	0.05	—	—	—	—

## 2.4 多样性和均匀度

图3为A1~A6底栖动物的Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 和Pielou均匀度指数 $J$ 。可见,二者的变化特征很相似。由于 $H'$ 是反映丰度和均匀度的综合指标, $H'$ 和 $J$ 的相似意味着 $J$ 是影响 $H'$ 的主要因素。6个区域中,A3和A6的 $H'$ 值分别为2.40和2.36, $J$ 值分别为0.814和0.788,均处于 $H'$ 和 $J$ 值的最高水平范围,表明了这2个区域有着相对较好的大型底栖动物群落结构。A2的 $H'$ 和 $J$ 值明显小于其他区域,分别仅为0.432和0.188,这是因为河蚬是该区域的绝对优势种,从而使得均匀度指数变小,多样性指数也变小,提示此区域的水环境可能受到了严重影响,大型底栖动物群落结构较为单一。

## 2.5 多维尺度分析

以上结果表明,流域内大型底栖动物群落结构在空间上具有显著差异。为此,结合样点生境条件,对底栖动物群落结构进行多维尺度分析。图4为多

维尺度分析结果。可见,赣江上游样点大致可以分为如下3类。

第1类样点的数量最多,以A2,A4区域较多,主要分布在各支流中下游或是河流汇合处,底质以粗砂为主,扰动强烈,适宜河蚬的滤食特征。该区域检出的物种以河蚬或同科生物占有绝对优势,底栖敏感生物类群几近消失,物种数也较少,这与这些区域位于水利设施下游和采砂活动密集有关。

第2类主要分布在A1西部区域和A3南部区域,底质以淤泥为主。该区域矿产资源丰富,企业排出的废水对大型底栖动物群落的影响较大,区域内主要物种为霍甫斯水丝蚓、耳萝卜螺等对重金属和水体富营养化有耐受力的物种。

第3类主要分布在A5,A6区域的上游或中游。这些样点岸上植被丰富,水中水草茂盛,大型底栖动物主要以耳型河螺为代表。水生植物给腹足纲生物提供了栖息、掩蔽和捕食的场所,符合Thomas<sup>[21]</sup>提

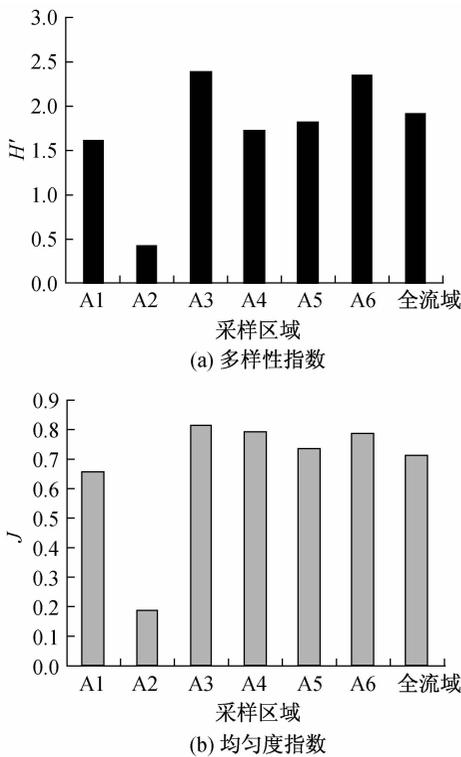


图3 大型底栖动物的多样性指数  $H'$  和均匀度指数  $J$   
 Fig. 3 Shannon-Wiener index  $H'$  and Pielou species evenness index  $J$  of macrobenthos

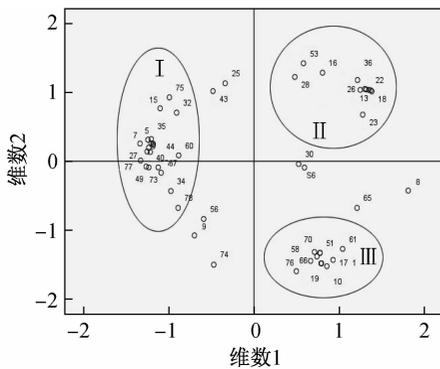


图4 多维尺度分析

Fig. 4 Analyse on multidimensional scaling

出的螺-草互利理论. 该区域中采集到的大型底栖动物种类数最多, 丰度和生物量最高, 多样性指数也处于最高水平, 这也许与该区域河流受到人为扰动相对最少有关.

本研究结果与2007年胡茂林等<sup>[22]</sup>对赣江中游泰和段部分采样点的考察结果相比, 主要种类的差异较大. 这是因为泰和段所设采样点沿江而下, 生境与上游样点大不相同, 因此, 所反映的水文状况(流速、底质)也具有较大差异. 2009年6月, 方亚红

等<sup>[23]</sup>对赣江下游袁河流域进行了大型底栖动物考察. 相较而言, 本考察采得的软体动物较多而水生昆虫较少, 各采样点丰度和生物量均大于下游袁河, 优势种和生物多样性指数  $H'$  近似, 这可能是与上游流域与下游流域所受到的影响类型和影响程度类似有关.

### 3 结束语

赣江上游大型底栖动物总体上处于一个良好的生长环境, 物种比较丰富, 群落结构均匀, 生物密度和生物量均较大. 但是, 个别区域所面对的人类干扰压力很大. 例如, 建有较多水坝筑坝的区域及河床挖沙活动广泛的区域, 底栖敏感生物类群几近消失, 物种数也较少. 矿山使大型底栖动物群落结构发生了变化, 耐污种占有绝对优势.

### 参考文献:

[1] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 36-37.

[2] BEISEL J N, POLATERA P, THOMAS S, et al. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of microhabitat characteristics [J]. Hydrobiologia, 1998, 71(389): 73-88.

[3] BEYENE A, ADDIS T, KIFLE D, et al. Comparative study of diatom s and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: case study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia [J]. Ecological Indicators, 2009(9): 381-392.

[4] COLLIER K J. Temporal patterns in the stability, persistence and condition of stream macroinvertebrate communities: relationships with catchment land-use and regional climate [J]. Freshwater Boil, 2008, 53(3): 603-616.

[5] 鲍毅新, 葛宝明, 郑祥, 等. 温州湾天河滩涂大型底栖动物群落分布与季节变化[J]. 动物学报, 2006, 52(1): 45-52.

[6] 刘向伟, 杜好, 张辉, 等. 长江上游新市至江津段大型底栖动物漂流调查[J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 266-273.

[7] 袁永峰, 李招娣, 张林林, 等. 黄河干流中上游水生生物资源调查研究[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(6): 15-19.

[8] 张敬怀, 高阳, 方宏达, 等. 珠江口大型底栖生物群落

- 生态特征[J]. 生态学, 2009, 2(6): 2989-2999.
- [9] 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 [J]. *American Naturalist*, 1980, 115(5): 667-695.
- [10] 吴和利, 欧阳珊, 詹诚, 等. 鄱阳湖夏季淡水螺类群落结构[J]. 江西科学, 2008(1): 97-101.
- [11] 向启华. 江西五湖水库的底栖动物[J]. 四川动物, 1990(2): 23-25.
- [12] 欧阳珊, 詹诚, 陈堂华, 等. 鄱阳湖大型底栖动物物种多样性及资源现状评价[J]. 南昌大学学报: 工科版, 2009, 31(1): 9-13.
- [13] 朱江, 任淑智. 德兴铜矿废水对乐安江底栖动物群落的影响[J]. 应用与环境生物学报, 1996, 2(2): 162-168.
- [14] 刘月英. 中国经济动物志(淡水软体动物)[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 35-134.
- [15] 董聿茂. 浙江动物志(软体动物)[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989: 12-198.
- [16] 蔡永久, 龚志军, 秦伯强, 等. 太湖软体动物现存量及空间分布格局(2006—2007年)[J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 713-719.
- [17] 程曦, 李小平, 陈晓华. 苏州河水质和底栖动物群落1996—2006年的时空变化[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3278-3287.
- [18] 傅小城, 吴乃成, 周淑婵, 等. 引水型电站对河流底栖动物栖息地的影响及生态需水量[J]. 生态学报, 2008(5): 1942-1948.
- [19] DOMINIC M D T, MAHONEY J D, HANSEN D J, et al. Toxicity of cadmium in sediments: the role of acid volatile sulfide [J]. *Environmental Toxicology and chemistry*, 1990, 9(12): 1487-1502.
- [20] 王琴, 王海军, 崔勇, 等. 武汉东湖水网区底栖动物群落特征及其水质的生物学评价[J]. 水生生物报, 2010, 34(4): 739-746.
- [21] THOMAS J D. Mutualistic interactions in freshwater modular systems with molluscan components [J]. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 125-178.
- [22] 胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 赣江中游泰和江段的鱼类资源现状[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2010(1): 90-93.
- [23] 方红亚, 张方方, 张萌, 等. 赣江流域袁河底栖动物群落结构及其水质生物学评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2254-2257.