

云南小江流域典型泥石流沟中底栖动物群落特征及其对河流地貌的响应*

朱朋辉¹, 潘保柱^{1**}, 李志威², 蒋小明¹, 赵娜³, 赵耿楠¹, 何浩然¹

(1: 西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 西安 710048)

(2: 长沙理工大学水利工程学院, 长沙 410114)

(3: 河南科技大学农业工程学院, 洛阳 471003)

摘要: 云南小江流域为典型干热河谷区, 该区域干热少雨, 流域内泥石流沟众多, 生态环境十分脆弱. 2017年4月和9月对小江流域的吊嘎河、蒋家沟、蓝泥坪沟、清水沟、陶家小河5条泥石流沟及小江干流开展了系统调查, 旨在摸清5条泥石流沟及小江干流河流地貌、水环境及底栖动物群落现状, 分析不同河床结构发育程度的泥石流沟间的底栖动物群落差异, 揭示底栖动物对反映河床结构发育程度的河流地貌特征参数凹凸度的响应关系. 调查期间于5条泥石流沟及小江干流中共采集到底栖动物70种, 隶属于4门6纲38科69属, 其中环节动物6种, 软体动物2种, 节肢动物61种, 扁形动物1种. 从种类类群来看, 5条泥石流沟及小江干流的底栖动物物种数、密度、生物量上均以节肢动物占绝对优势, 分别占总量的78.0%~92.5%、98.7%~100%、65.0%~100%. 从功能摄食类群上来看, 5条泥石流沟及小江干流底栖动物密度上均以直接收集者为主, 占总量的74.3%~96.3%. 回归分析表明, 5条泥石流沟中底栖动物物种数、密度及生物量均与河流地貌特征参数凹凸度呈正相关关系, 由此可见, 发育良好的河床结构在维持河流地貌稳定和改善河流生态方面起着举足轻重的作用. 本研究结果可为小江流域山区河流泥石流沟河床结构重建及生态修复提供科学依据.

关键词: 小江流域; 泥石流沟; 河床结构; 底栖动物; 群落结构

Macroinvertebrate communities characteristics and their responses to fluvial geomorphological feature of typical debris flow gullies in the Xiaojiang River Basin, Yunnan Province

ZHU Penghui¹, PAN Baozhu^{1**}, LI Zhiwei², JIANG Xiaoming¹, ZHAO Na³, ZHAO Gengnan¹ & HE Haoran¹

(1: *State Key Laboratory of Ecological Water Conservancy in the Northwest Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, P.R.China*)

(2: *School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, P.R.China*)

(3: *College of Agricultural Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, P.R.China*)

Abstract: The Xiaojiang River Basin is a typical dry-hot valley area, characterized by high temperatures, little rain and many debris flow gullies, where ecological environment is very fragile. In April and September of 2017, field surveys were conducted in the five debris flow gullies (i.e., the Diaoga Creek, the Jiangjia Creek, the Lanniping Creek, the Qingshui Creek, and the Taojiaxiaohu Creek) and the Xiaojiang River. The purpose of this study is to understand fluvial geomorphological feature, water environment, and macroinvertebrate communities in the five debris flow gullies and the Xiaojiang River, to analyze the differences in macroinvertebrate communities among debris flow gullies with different riverbed structures, and to reveal the responses of macroinvertebrates to the fluvial geomorphological parameter (degree of concavity-convexity) reflecting the development degree of riverbed structure. A total of 70 taxa of macroinvertebrates were identified, belonging to 4 phyla, 6 classes, 38 families and 69 genera. With regard to the taxonomic groups, arthropods were dominant in the species richness, density, and biomass of macroinvertebrates in the five

* 国家自然科学基金项目(51622901, 51479006, 31770460)资助. 2018-07-17 收稿; 2018-09-14 收修改稿. 朱朋辉(1995~), 男, 硕士研究生; E-mail: 2578837167@qq.com.

** 通信作者; E-mail: zhuzipan@xaut.edu.cn.

debris flow gullies and the Xiaojiang River, accounting for 78.0%–92.5%, 98.7%–100.0% and 65.0%–100.0% of the total richness, densities, and biomass, respectively. With regard to the functional feeding groups, collector-gatherers were all dominated in the five debris flow gullies and the Xiaojiang River, accounting for 74.3%–96.3% of the total densities. Regression analyses showed that the species number, density, and biomass of macroinvertebrates were all positively correlated with the fluvial geomorphological parameter (degree of concavity-convexity) of the five debris flow gullies. The present study indicated that the well-developed riverbed structure plays an important role in maintaining the stability of the fluvial geomorphology and ecological quality. The results of this study can provide scientific basis for riverbed structure reconstruction and ecological restoration of debris flow gullies in mountain regions of the Xiaojiang River Basin.

Keywords: Xiaojiang River Basin; debris flow gully; fluvial geomorphological feature; macroinvertebrates; community structure

云南小江流域为金沙江典型干热河谷区,该区域干热少雨,水土流失严重,生态环境十分脆弱.该流域的显著特点是泥石流沟遍布,泥石流灾害显著,有大小泥石流沟 54 条,占支流总数的 83.5%,其中蒋家沟作为典型泥石流沟的代表被国内外专家誉为“天然泥石流博物馆”^[1].近些年来,该区在自然因素和人为活动干扰的影响下,生态功能明显退化,主要表现为土壤功能退化、植被破坏加剧、水土流失严重、地质灾害严重和生物多样性降低等^[2].河床结构是影响底栖动物栖息环境的关键因素之一,河床结构发育较好时,能有效抑制床沙的起动和输运,从而大大提高水流阻力与河床稳定性^[3-6].小江流域内的干热河谷山区河流面临的最大问题是河床持续侵蚀下切,下切河流的地貌演变过程中,河谷形态会由“V”型变为“U”型,随着下切过程逐渐传递到上游,由于坡降的变缓和上游侵蚀来沙的增大,原本下切的河段也逐渐转为淤积抬升^[7];在汛期暴雨作用下,更易产生崩塌、滑坡和泥石流等自然灾害^[8].该区域除因不同的水沙条件影响,河床分别呈现侵蚀下切型和淤积抬升型河床结构外,还发育有稳定型阶梯—深潭结构,能消耗水流能量,对河床稳定有重要意义.综上所述,干热河谷山区河流的河床演变类型各异,其河流生境差别大,由此导致水生生态系统结构和功能差别大,针对小江干热河谷泥石流沟生态管理需要,研究底栖动物对反映河床结构发育程度的河流地貌特征的响应非常有意义.

本研究选取的指示生物为一类典型的河床生物——大型底栖无脊椎动物.它们是一类生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的个体大于 500 μm 的水生动物群^[9-10],简称为底栖动物.选择底栖动物作为指示生物的原因主要有两个:1) 寿命较长,迁移能力有限,且包括敏感种,能指示环境的长期变化和河床演变过程;2) 底栖动物是生态系统中重要的次级生产者,处于食物链的中间环节,是食物链中的重要环节.目前,该类群是生态指示与评价中应用较为广泛的类群^[11-14].国内外对干热河谷河流生态的研究集中于水生生物群落调查及生态评价^[15-17].关于阶梯—深潭河床结构和不同河床演变类型的生态学作用也有报道^[18-20],研究内容主要集中在不同河床演变条件下生物种类组成和丰度的差异,而不同功能类群对河床演变的响应研究较为薄弱.以往在小江流域开展的研究集中在植被恢复、水土保持、地质灾害等方面,鲜见河流生态方面的研究^[21].因此,基于典型干热河谷区河流生态管理的需求,在小江流域开展此研究有着非常重要的意义.

2017 年 4 和 9 月,对小江流域的 5 条泥石流沟及小江干流开展了系统的河流地貌、水环境及水生生物研究.研究的目标有 3 个:1) 摸清该区域内不同河床结构发育程度的泥石流沟中底栖动物的群落结构;2) 分析各泥石流沟底栖动物群落差异及其成因;3) 揭示底栖动物对反映河床结构发育程度的河流地貌特征参数(凹凸度)的响应关系.以期本研究能对小江流域干热河谷区不同类型河流的生态管理和保护提供科学依据.

1 研究区域和方法

1.1 研究区域

云南省的小江发源于滇东北高原,自南而北流经昆明市的寻甸县、东川区 and 曲靖地区的会泽县注入金沙江,全长 138.2 km,流域面积约 3043.5 km^2 ,天然总落差约 2860 m,平均比降为 12.8%,是金沙江右岸的一级支流^[22].该流域地处云南省东北部(25°32'~26°35'N, 102°52'~103°22'E),小江活动断裂带沿河谷及其支流分布,受小江活动断层影响,区内地震活动频繁,东川区位于小江流域地震带,板块构造活跃,地震灾害多发,泥石流灾害频发,泥石流沟分布广泛,给当地人民群众生命财产造成危害^[23].

本研究于2017年4月和9月对小江流域的吊嘎河、蒋家沟、蓝泥坪沟、清水沟、陶家小河5条泥石流沟和小江干流开展系统的生态调查,每条河流各设20个样点,两次调查共采集到240个样品.研究区域及调查河流见图1.

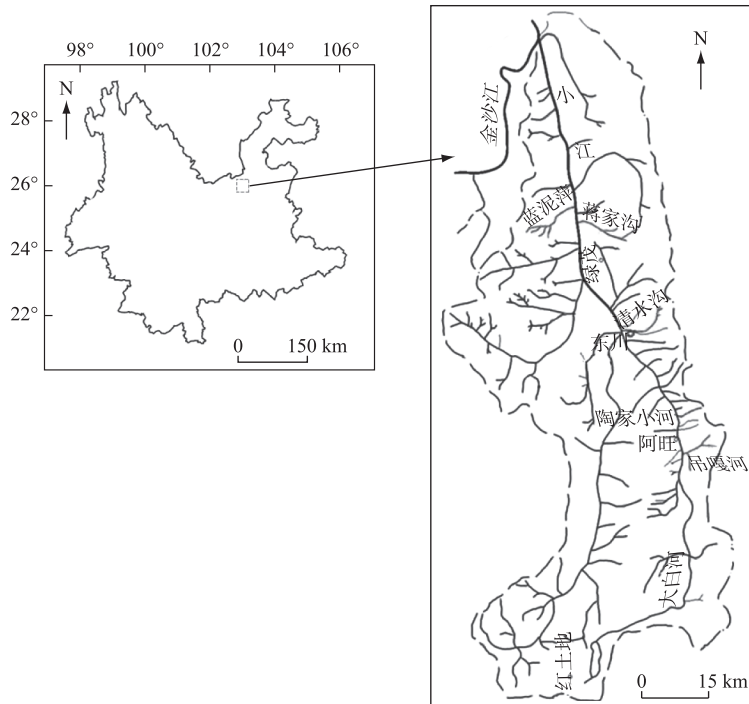


图1 小江流域5条泥石流沟及小江干流分布

Fig.1 Distribution of the five studied debris flow gullies and the Xiaojiang River

1.2 河流地貌及水环境参数测量

在水文特征的参数测量方面,水深采用直尺测量,河流水深较浅,样点处均可涉水而过,在每个样点区域测量3次取平均水深,河宽用 Ranger Laser Finder 测距仪测量,流速采用 Global Water FP211 直读式流速仪测定,将流速仪放到离水面 1/3 处,测出样点处的平均流速,流量通过流速仪法测量计算,取水流流速较均匀的横断面每隔 20 cm 测 1 次水深和流速^[24].本次河流地貌测量中,利用差分 GPS (Trimble, 水平精度 0.5 m, 垂直精度 0.85 m) 和全站仪 (型号拓普康 GTS-102N, 测距精度为 $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D$, D 为测量距离) 对河床断面结构进行精细测量,为精确地反映实地的河床结构形态,在发育典型河床结构的区域 (如阶梯—深潭系统,肋状结构等) 及复杂的地形区域尽可能布设多个测量点.凹凸度和比降通过河床断面结构数据计算得出.将底质分为 5 类:淤泥、沙、砾石、卵石和大石^[25].对于砾石、卵石和大石,采用尺量法测量其粒径;对于细颗粒,带回实验室通过筛分和激光粒度仪测量.计算出样点的平均粒径 (D_w),并做出样点底质的级配曲线.从级配曲线上,可以查出在总底质样中占重量 50% 对应的底质粒径 D_{50} ,称为中值粒径^[26].

在水环境参数测量方面,水温、电导率、溶解氧、pH 4 个水质参数采用哈希 HQ40D 便携式多参数分析仪现场测定,浊度采用哈希 2100Q 便携式浊度仪现场测定.在采样点的表、底层取水样混合,带回实验室分析,分别采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法 (GB 11894—1989) 测定总氮浓度,采用钼钒酸紫外分光光度法 (GB 11893—1989) 测定总磷浓度^[27].

1.3 样品采集与处理

底栖动物采样采用混合生境法,用筛网孔径 420 μm 的手持 D 型网 (网口宽度 0.3 m) 采集,每样点均采集一个样方,面积为 0.3 m^2 .采集到的样本置于白色解剖盘中分拣出底栖动物标本,放入样品瓶中,并用 75% 的酒

精固定,带回实验室进行镜检种类鉴定^[28-31]、计数,并用滤纸吸干水分,然后在电子天平上称量湿重.将采集到的底栖动物划分为5类主要功能摄食类群,分别为撕食者(Shredders,SH)、过滤收集者(Collector-filterers,FC)、直接收集者(Collector-gatherers,GC)、刮食者(Scrapers,SC)和捕食者(Predators,PR)^[31-34].

1.4 数据处理

凹凸度(W)是新定义用来科学表征河床凹凸程度的无量纲数.凹凸度除了表征河床凹凸程度,还能够体现更多河床结构的细节,如某一河段纵断面是以冲刷下切为主(凹陷)还是以淤积(凸起)为主.对纵断面进行凹凸度统计,当某段纵断面曲线存在波谷,且波谷处 $\Delta H < 0$,则称该段曲线为“凹陷波谷”,需进行凹度计算;反之若存在波峰,且波峰处 $\Delta H > 0$,则称该段曲线为“凸起波峰”,需进行凸度计算.对河床的纵断面凹陷波谷数(m)和凸起波峰数(n)进行统计,如果 $m > n$,说明该河段河床以冲刷下切为主;如果 $m < n$,说明该河段河床以淤积为主.凹凸度计算公式为:

$$W_{pi} = \frac{\{\Delta H_{i-1}, \Delta H_{i+1}\}_{\max} - \Delta H_i}{L_i} \quad (1)$$

$$W_{bi} = \frac{\Delta H_i - \{\Delta H_{i-1}, \Delta H_{i+1}\}_{\min}}{L_i} \quad (2)$$

$$W = \frac{\sum_{i=1}^m W_{pi} + \sum_{j=1}^n W_{bj}}{m + n} \quad (3)$$

式中, W_p 为凹度; W_b 为凸度; W_{pi} 为某分断面上第 i 个凹陷波谷的凹度; W_{bi} 为第 i 个凸起波峰的凸度; W 为某分断面 W_{pi} 、 W_{bi} 的算术平均值,即为凹凸度; m 为某断面凹陷波谷数; n 为凸起波峰数; ΔH_i 为第 i 个凹陷波谷(凸起波峰)处的纵坐标; ΔH_{i-1} 、 ΔH_{i+1} 为其相邻的两个波峰(或波谷)的纵坐标, $\{\Delta H_{i-1}, \Delta H_{i+1}\}_{\min}$ 值为两者之间的较小值; $\{\Delta H_{i-1}, \Delta H_{i+1}\}_{\max}$ 取值为两者之间的较大值; L_i 为凹陷波谷(凸起波峰)相邻的两个波峰(或波谷)的坡面距离(图2).上述计算中,1个凹陷波谷对应计算1个凹度,1个凸起波峰对应计算1个凸度,1个分断面对应计算1个凹凸度.

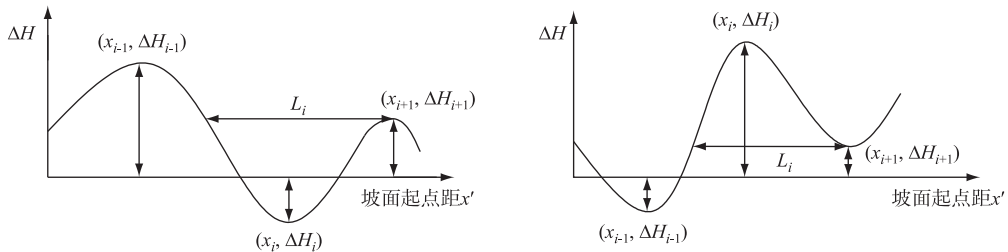


图2 凹度、凸度的计算示意图

Fig.2 Calculation schematics of degree of concavity and convexity

对5条泥石流沟及小江干流两次底栖动物采样数据做平均处理,用两个季度的平均值反映一整年的情况.使用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较底栖动物不同种类类群以及不同功能摄食类群的密度和生物量在不同河流间(5条泥石流沟和小江干流)的差异.若组间差异显著,则进行多重比较.如果方差同质,进行Tukey HSD检验;如果方差不具同质性,则选用Games-Howell进行检验.最后,采用回归分析探究底栖动物的物种数、密度和生物量与凹凸度之间的关系.以上分析均在IBMSPSS 19.0软件中完成.

2 结果

2.1 水文地貌及水环境参数

小江流域5条泥石流沟及小江干流 D_{50} 的范围在5.26 cm(吊嘎河)和11.99 cm(清水沟)之间; D_{50} 的范围在3.60 cm(小江)和9.59 cm(清水沟)之间.5条泥石流沟及小江干流水深为5.4~25.0 cm,流速在0.24~0.94 m/s之间.对5条泥石流沟而言,河床发育较好的清水沟和陶家小河的凹凸度明显高于底质单一的蒋

家沟. 与小江干流相比, 5 条泥石流沟流量(0.04~0.18 m³/s)均很小, 小江干流的流量远大于 5 条泥石流沟, 达到 9.36 m³/s. 5 条泥石流沟及小江干流水温差别不大, pH 均为弱碱性, 溶解氧、电导率较高, 而 N、P 营养盐水平较低(表 1). 依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002), 这些河流的水质属于 II 类或 III 类.

表 1 调查河流的水文地貌及水环境参数*

Tab.1 Hydro-geomorphological and water environmental parameters in the sampling rivers

参数类型	参数名称	吊嘎河	蒋家沟	蓝泥坪沟	清水沟	陶家小河	小江
水文地貌参数	水深/cm	25.0	5.4	14.9	14.3	19.0	17.3
	河宽/m	1.8	1.4	2.0	1.7	3.8	5.2
	流速/(m/s)	0.24	0.74	0.67	0.91	0.94	0.73
	流量/(m ³ /s)	0.06	0.04	0.10	0.13	0.18	9.36
	比降	5.4%	4.1%	4.2%	8.8%	5.0%	1.2%
	凹凸度	0.106	0.031	0.054	0.133	0.139	0.009
	D_{10} /cm	10.55	5.26	9.12	11.99	9.16	6.68
	D_{50} /cm	7.37	3.60	6.95	9.59	7.50	5.14
水环境参数	水温/℃	7	12	14	6	6	6
	pH	8.49	8.52	8.59	8.55	8.56	8.48
	溶解氧/(mg/L)	8.17	7.66	7.79	8.07	8.07	8.35
	电导率/(μ S/cm)	482	809	448	306	609	320
	浊度/NTU	54.80	513.00	78.30	23.20	77.15	400.00
	总氮/(mg/L)	0.644	0.631	0.601	1.113	0.908	1.038
	总磷/(mg/L)	0.038	0.030	0.034	0.072	0.060	0.056

* 水深、流速均为样点的平均值. D_{10} 为平均粒径, D_{50} 为中值粒径.

2.2 底栖动物种类组成

本次调查共发现底栖动物 70 种, 隶属于 4 门 6 纲 38 科 69 属, 其中节肢动物 61 种(昆虫纲 59 种, 甲壳纲 2 种), 环节动物 6 种(寡毛纲 5 种, 蛭纲 1 种), 软体动物 2 种, 扁形动物 1 种(附录 I).

在 5 条泥石流沟及小江干流的底栖动物中, 节肢动物均为绝对优势的类群. 吊嘎河的物种数为 38 种, 节肢动物占 78.0%; 蒋家沟的物种数为 11 种, 节肢动物占 83.3%; 蓝泥坪沟的物种数为 26 种, 节肢动物占 88.5%; 清水沟的物种数为 41 种, 节肢动物占 90.0%; 陶家小河的物种数为 40 种, 节肢动物占 92.5%; 小江的物种数为 33 种, 节肢动物占 90.9%.

5 条泥石流沟及小江干流中的底栖动物优势种均属于广泛分布物种(表 2). 四节蜉(*Baetis* sp.) 在 6 条河流中均为优势种, 花翅蜉(*Baetiella* sp.) 在清水沟、陶家小河和小江中为优势种, 纹石蛾(*Hydropsyche* sp.)、贝蠓(*Bezzia* sp.)、朝大蚊(*Antocha* sp.) 和环足摇蚊(*Cricotopus* sp.) 仅在 1 条河流中为优势种. 就优势种数量而言, 小江的优势种最多(4 种), 陶家小河次之(3 种), 蓝泥坪沟和清水沟均为 2 种, 吊嘎河和蒋家沟仅四节

表 2 调查河流中底栖动物的优势种及相对丰度*

Tab.2 The dominant species and relative abundance of macroinvertebrates in the sampling rivers

河流	优势种(相对丰度)
吊嘎河	四节蜉(36.6%)
蒋家沟	四节蜉(85.6%)
蓝泥坪沟	四节蜉(72.8%)、纹石蛾(10.6%)
清水沟	四节蜉(82.2%)、花翅蜉(10.8%)
陶家小河	四节蜉(63.7%)、贝蠓(11.0%)、花翅蜉(8.2%)
小江	朝大蚊(23.4%)、环足摇蚊(11.4%)、花翅蜉(6.6%)、四节蜉(5.5%)

* 把相对丰度>5%的类群定义为优势种.

蜉为优势种,其余物种相对丰度均未超过5%。在5条泥石流沟中,四节蜉均占绝对优势(相对丰度在36.6%~85.6%之间)。

2.3 不同种类各分类类群的密度和生物量

调查发现,吊嘎河底栖动物总密度和总生物量分别为759 ind./m²和1.396 g/m²,节肢动物为优势类群,其密度和生物量分别占总量的94.0%和65.0%;蒋家沟底栖动物总密度和总生物量分别为46 ind./m²和0.031 g/m²,全部为节肢动物;蓝泥坪沟底栖动物总密度和总生物量分别为207 ind./m²和0.159 g/m²,节肢动物分别占总量的99.9%和97.7%;清水沟底栖动物总密度和总生物量分别为773 ind./m²和0.681 g/m²,节肢动物分别占总量的99.9%和99.5%;陶家小河边底栖动物总密度和总生物量分别为402 ind./m²和0.688 g/m²,节肢动物分别占总量的99.6%和98.8%;小江底栖动物总密度和总生物量分别为57 ind./m²和0.197 g/m²,节肢动物分别占总量的98.7%和95.3%(图3)。

对底栖动物不同类群的方差分析显示,各类群的密度和生物量在5条泥石流沟及小江干流间均差异显著。底栖动物总密度和节肢动物门的密度表现为清水沟最高、吊嘎河次之、蒋家沟最低,而环节动物门和软体动物门的密度均为吊嘎河最高、蒋家沟最低。总生物量、软体动物和节肢动物的生物量均为吊嘎河最高、蒋家沟最低,而环节动物的生物量则为小江干流最高、吊嘎河次之、蒋家沟最低(图3)。

2.4 不同功能摄食类群的密度和生物量

在功能摄食类群组成上,5条泥石流沟及小江干流底栖动物中,直接收集者密度均最大,在吊嘎河中为564 ind./m²(占总密度的74.3%),蒋家沟为41 ind./m²(占96.3%),蓝泥坪沟为178 ind./m²(占86.0%),清水沟为725 ind./m²(占93.8%),陶家小河为305 ind./m²(占76.4%),小江为49 ind./m²(占86.0%)(图4)。

吊嘎河中刮食者生物量最大,达到0.161 g/m²(占总生物量的34.6%);蒋家沟中过滤收集者生物量最大,达到0.006 g/m²(占91.1%);蓝泥坪沟中过滤收集者生物量最大,达到4.839 g/m²(占34.1%);清水沟中直接收集者生物量最大,达到0.568 g/m²(占83.4%);陶家小河边直接收集者生物量最大,达到0.662 g/m²(占38.9%);小江中直接收集者生物量最大,达到0.049 g/m²(占48.5%)。

对底栖动物功能摄食类群的方差分析显示,各功能摄食类群的密度和生物量在5条泥石流沟及小江干流间均差异显著。各功能摄食类群的密度,除直接收集者外,均为吊嘎河最高、蒋家沟最低,直接收集者密度为清水沟最高、吊嘎河次之、蒋家沟最低。过滤收集者、直接收集者和捕食者类群的生物量均为陶家小河最高、蒋家沟最低,而撕食者和刮食者类群的生物量均为蓝泥坪沟最高、陶家小河次之、蒋家沟最低(图4)。

2.5 底栖动物物种数、密度、生物量与凹凸度的关系

凹凸度是反映调查河流河床结构的参数,而底栖动物的物种数、密度和生物量3个参数能够综合反映调查河流底栖动物的现存量,通过分析底栖动物物种数、密度和生物量与凹凸度的关系,可以反映出底栖动物现存量与河床结构之间的响应关系。回归分析表明,5条泥石流沟凹凸度与底栖动物的物种数、密度和生物量之间均呈正相关,物种数、密度和生物量均随凹凸度的增加而增加(图5)。

3 讨论

本研究中5条泥石流沟的底栖动物群落组成上的共同点为种类组成、密度及生物量均以水生昆虫占绝对优势。但5条泥石流沟底栖动物的物种多样性、密度和功能摄食类群组成均有各自特点。物种数是物种多样性的重要衡量指标之一。本次调查的5条泥石流沟中,清水沟、陶家小河和吊嘎河的物种数均在40种左右(38~41),蓝泥坪沟其次,为26种,而蒋家沟物种数最低,仅为11种(附录I)。密度是底栖动物现存量的重要衡量指标之一,本次调查中河床发育较好的清水沟、陶家小河的底栖动物密度明显高于受到严重冲刷的蒋家沟。5条泥石流沟生境异质性的差异是造成底栖动物物种数和密度差异的主要原因,底栖动物的种类组成与栖息地的多样性和底质稳定性紧密相连,一般而言,生境异质性高,生物多样性就高;底质越稳定,底栖动物密度越高^[3-5]。5条泥石流沟中,蒋家沟河床被严重冲刷,河床砂石松软、稳定性差,而清水沟、陶家小河和吊嘎河的河床结构发育较好,底质组成以卵石为主,为底栖动物提供了较好的栖息环境,因此,清水沟、陶家小河和吊嘎河的底栖动物群落在物种多样性和密度方面均远高于蒋家沟^[35]。此外,虽然5条泥石流沟的功能摄食类群在密度上均以直接收集者为主,但在生物量上,吊嘎河以刮食者为主;蒋家沟和蓝泥坪沟以

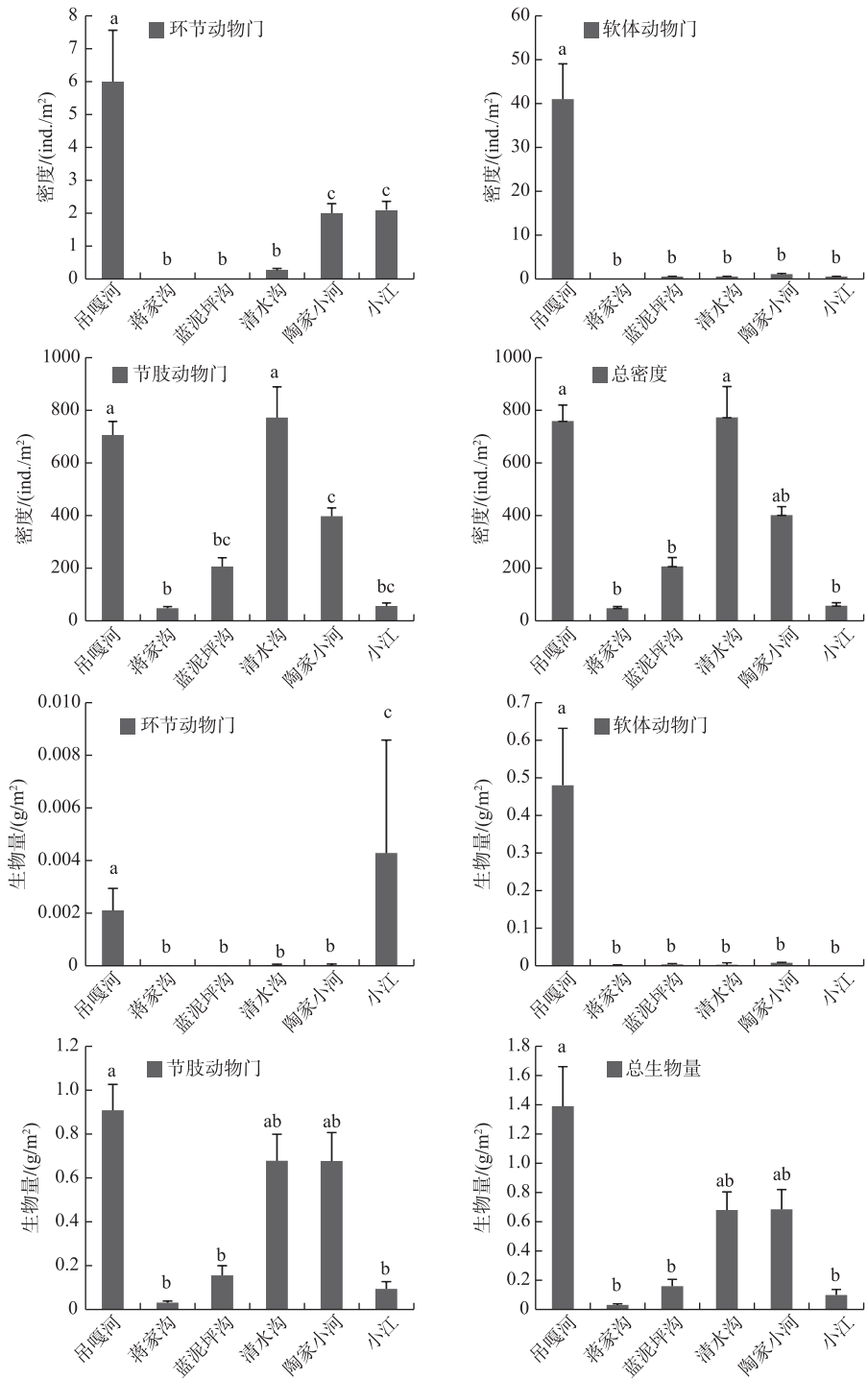


图 3 5 条泥石流沟和小江干流底栖动物不同种类类群的密度和生物量 (平均值+标准误, 字母不同表示存在显著差异 ($P < 0.05$), 下同)

Fig.3 Density and biomass of different taxonomic groups of macroinvertebrates in the five debris flow gullies and the Xiaojiang River

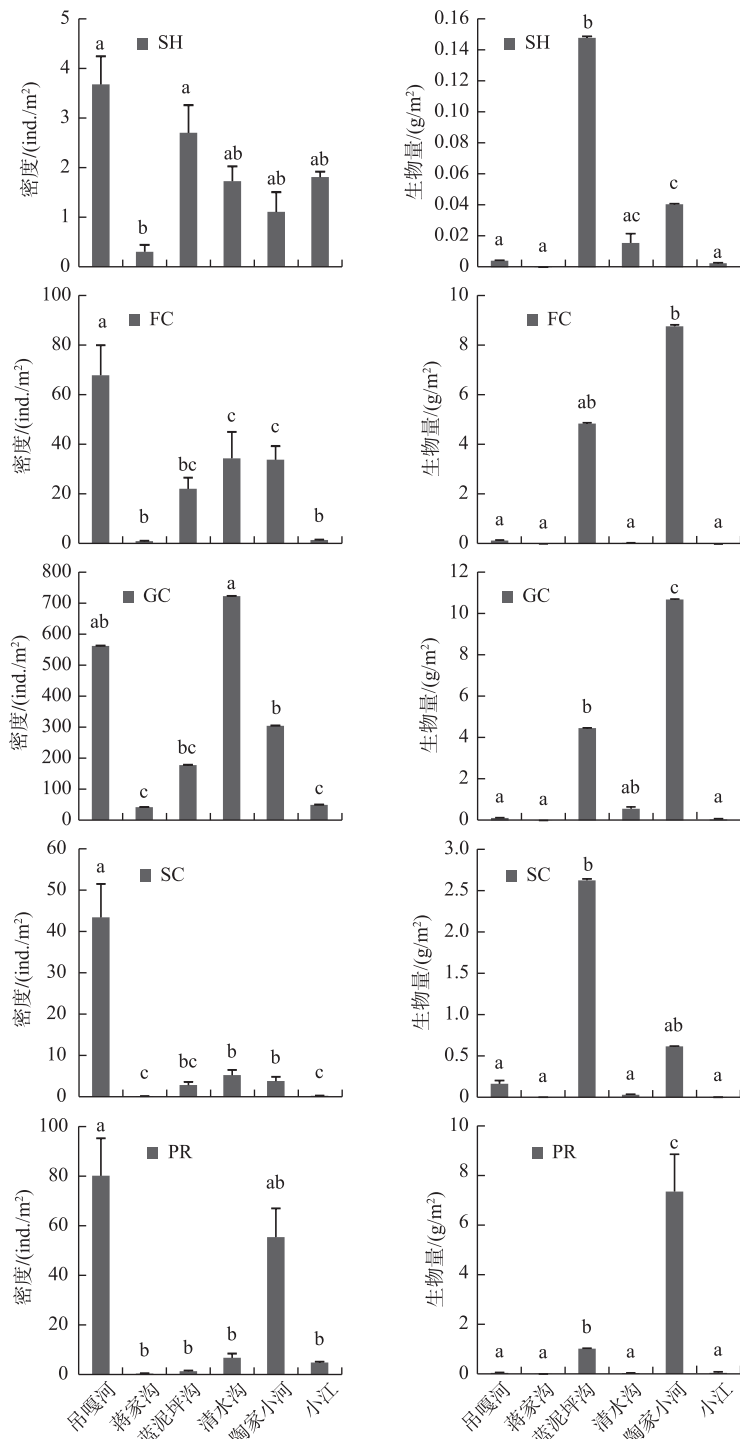


图 4 小江流域调查河流底栖动物不同功能摄食类群的密度和生物量 (SH: 撕食者; FC: 过滤收集者; GC: 直接收集者; SC: 刮食者; PR: 捕食者)

Fig.4 Density and biomass of different functional feeding groups of benthic animals in the Xiaojiang River Basin (SH: Shredders; FC: Collector-filterers; GC: Collector-gatherers; SC: Scrapers; PR: Predators)

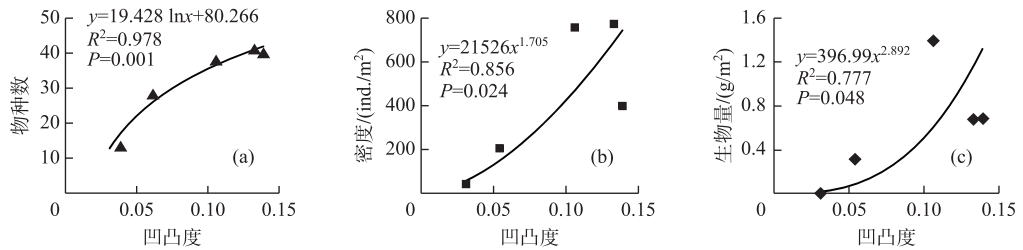


图5 小江流域5条泥石流沟凹凸度与底栖动物物种数(a)、密度(b)和生物量(c)的回归关系

Fig.5 Regressions of species number (a), density (b) and biomass (c) of macroinvertebrates against degree of concavity-convexity of the five debris flow gullies in the Xiaojiang River Basin

过滤收集者为主;清水沟和陶家小河以直接收集者为主. 本次调查发现,吊嘎河河床附着大量藻类,而刮食者主要以附着藻类为食;另外四条泥石流沟以收集者为主,收集者主要以有机碎屑为食^[10].

本次研究表明,除蒋家沟外,属于小江支流的4条泥石流沟底栖动物的现存量均明显高于小江干流,干流底栖动物密度仅为4条支流底栖动物平均密度的10.69%,这主要与干、支流底质异质性的差异有关. 虽然干、支流均以沙石底质为主,但其组成存在较大差异. 小江干流底质为小卵石或小砾石夹杂淤泥混合而成,这样较为紧密的底质组成限制了物理空间的大小,降低了氧气的获取性,而不利于蜉蝣目、毛翅目等类群的生存^[36]. 而除蒋家沟外的四条支流具有不同发育程度的阶梯—深潭系统,底质由大卵石、小卵石或砾石夹粗砂混合而成,异质性和稳定性均高于干流. 卵石等大粒径的河床底质存在大量稳定空隙,为底栖动物提供了稳定且多样的栖息地和避难场所^[37-39],有利于维持较高的底栖动物多样性.

2005—2011年吊嘎河的底栖动物总密度为583 ind./m²,物种数为36种;蒋家沟只有节肢动物,总密度为1880 ind./m²,物种数为18种^[40]. 与过去相比,本次调查中吊嘎河的底栖动物密度为759 ind./m²,物种数为38种,两者均有所增加;然而,本次调查结果显示蒋家沟的底栖动物密度为43 ind./m²,物种数为11种,两者均明显降低. 由此看来,通过治理,吊嘎河的生态有所改善,但是,被国内外专家誉为“天然泥石流博物馆”的蒋家沟的生态环境依旧脆弱,本次调查中其水流泥沙含量很高,河床稳定性极差,生存的底栖动物的种类和数量也很少^[41].

本次调查结果与2014年长江干流的底栖动物采样调查结果(课题组未发表数据)相比,在密度组成上,5条泥石流沟的底栖动物平均密度约为长江上游段(重庆—宜昌)的57.37%,约为长江中游段(宜昌—虎口)的76.42%,约为长江下游段(虎口—南京)的134.24%^[42]. 与长江干流相比,山区河流的生境异质性和底质类型更适合底栖动物的生存,但调查的5条泥石流沟底栖动物的密度并未高于长江上中游. 本次调查结果与发源于秦岭较自然、无灾害胁迫、生态较健康的两条溪流(即金水河和渭水河)的底栖动物2017年采样调查结果(课题组未发表数据)相比,5条泥石流沟底栖动物平均密度(435 ind./m²)和秦岭两条溪流底栖动物平均密度(384 ind./m²)相差不大,水质均属于Ⅱ类或Ⅲ类. 5条泥石流沟的平均河床比降大于金水河和渭水河,其底质由大卵石、小卵石、砾石和粗砂混合而成,且发育有稳定型阶梯—深潭结构,河床结构发育良好,而金水河、渭水河的底质均由大卵石、小卵石或砾石混合而成,相比而言,5条泥石流沟底质粒径组成范围更大,河床结构类型更多. 综上所述,这两组结果产生差异的主要原因为:1)5条泥石流沟河道不稳定,由枯水期转变成丰水期时,河水可能冲毁河道,水流沿着新的路径流动,部分河段的底栖动物缺少长期稳定的生活环境. 2)5条泥石流沟受到地质灾害的影响,部分对生境条件有要求的底栖动物种类无法生存. 3)5条泥石流沟虽然水质差于秦岭里的溪流,但是坡降较大、发育有良好的河床结构,其稳定性有利于更多生物个体生存.

凹凸度是新定义用来评价河床结构的起伏及发育程度的一个河床地貌参数. 河流河床的凹凸程度是自然形成的,受到流速、流量、坡降和底质等多种因素的影响,所以,凹凸度不仅是河床结构的表征,也是河流水文情势的整体反映. 回归分析表明,泥石流沟底栖动物的物种数、密度、生物量随凹凸度的增大而增大. 凹凸不平的河床相比起伏不大的河床受到更多流水的冲刷,经过长时间的河床演变,需要更好的河床稳定性

才能够保持自身凹凸度;此外,凹凸不平的河床能够产生多样的栖息环境,消耗更多的水能,产生适宜的流速条件,这些生境条件均更有利于底栖动物的生存^[10]。

根据对云南小江流域典型泥石流沟中底栖动物群落特征分析以及现场调查的情况,对小江流域泥石流沟生态治理提供以下几条建议:1)在泥石流沟的上游封山育草,植树造林,以达到降低水流中泥沙含量、缓解水土流失的目的。2)在泥石流沟中,选择有利地形,修建泥石流拦挡坝或拦沙堰,拦蓄泥沙,减缓河床纵坡,固定河床,保护河道;在坡降大的泥石流沟段,选择有利地形,修建消能池,以达到消耗水流能量、降低流速的目的。3)人工制造阶梯—深潭系统,提高生物多样性。山区河流河宽较窄,流量小,且两岸石块多,为就地取材制造阶梯—深潭系统提供了良好的条件。

致谢:衷心感谢长沙理工大学李志威教授和颜旭、李开宇、刘晶同学在野外采集给予的大力帮助!

4 附录

附录 I 见电子版(DOI: 10.18307/2019.0325)。

5 参考文献

- [1] Liang MC. Geological environmental factors and others of debris flow gullies in the Xiaojiang River basin. *Yunnan Geology*, 1987, (3): 66-71. [梁明川. 小江泥石流的地质环境因素及其他. 云南地质, 1987, (3): 66-71.]
- [2] Wang DJ, Cui P, Zhu B *et al.* Vegetation rehabilitation techniques and ecological effects in Dry-Hot Valley of Jinsha River. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 95-98. [王道杰, 崔鹏, 朱波等. 金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应——以云南小江流域为例. 水土保持学报, 2004, 18(5): 95-98.]
- [3] Downes BJ, Lake PS, Schreiber ESG *et al.* Habitat structure, resources and diversity: the separate effects of surface texture and macroalgae on stream invertebrates. *Oecologia*, 2000, 123: 569-581.
- [4] Grant G, Swanson FJ, Wolman MG *et al.* Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, western Cascades, Oregon. *Geological Society American Bulletin*, 1990, 102: 340-352.
- [5] Lamarre H, Roy AG. The role of morphology on the displacement of particles in a step-pool river system. *Geomorphology*, 2008, 99: 270-279.
- [6] Xu J, Wang ZY. The formation of the step-pool and its mechanism of action. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, (10): 48-55. [徐江, 王兆印. 阶梯-深潭的形成及作用机理. 水利学报, 2004, (10): 48-55.]
- [7] Wang ZY, Cui P, Liu HX. Mountain disasters caused by the Wenchuan earthquake and the management strategy of the barrier lake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(7): 757-763. [王兆印, 崔鹏, 刘怀湘. 汶川地震引发的山地灾害以及堰塞湖的管理方略. 水利学报, 2010, 41(7): 757-763.]
- [8] Yu GA, Wang ZY, Zhang K *et al.* Field experiment for harnessing incised mountain stream (the Diaoga river) by using artificial step-pools. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2008, 27(1): 85-89. [余国安, 王兆印, 张康等. 应用人工阶梯-深潭治理下切河流——吊嘎河的尝试. 水力发电学报, 2008, 27(1): 85-89.]
- [9] Brink FWBDV, Beljaards MJ, Boots NCA *et al.* Macrozoobenthos abundance and community composition in three lower Rhine floodplain lakes with varying inundation regimes. *Regulated Rivers: Research and Management*, 1994, 9: 279-293.
- [10] Liang YL, Wang HZ eds. Chapter 10 Benthic Animals // Liu JK ed. *Advanced aquatic biology*. Beijing: Science Press, 1999: 241-259. [梁彦龄, 王洪铸. 第十章 底栖动物 // 刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999: 241-259.]
- [11] Chessman BC, Royal MJ. Bioassessment without reference sites: use of environmental filters to predict natural assemblages of river macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 2003, 23(3): 599-615.
- [12] Flotemersch JE, Stribling JB, Paul MJ *et al.* eds. Concepts and approaches for the bioassessment of non-wadeable streams and rivers. Ohio: US Environmental Protection Agency, 2006, EPA600-R-06-127.
- [13] Miller SW, Budy P, Schmidt JC *et al.* Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: applications of meta-analysis to river restoration. *Restoration Ecology*, 2009, 18: 8-19.
- [14] Wang BX. Water quality bioassessment using benthic macroinvertebrates [Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003. [王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2003.]
- [15] Wu J, Wu MS. Fish fauna of the Jinsha River. *Sichuan Animals*, 1990, 9(3): 23-26. [吴江, 吴明森. 金沙江的鱼类区

- 系. 四川动物, 1990, **9**(3): 23-26.]
- [16] Wang XA, Chen XY, Yang JX. Ichthyologic fauna of Niulan River. *Zoological Research*, 2009, **30**(5): 585-592. [王晓爱, 陈小勇, 杨君兴. 中国金沙江一级支流牛栏江的鱼类区系分析. 动物学研究, 2009, **30**(5): 585-592.]
- [17] Brown LR, May JT. Periphyton and macroinvertebrate communities at five sites in the San Joaquin River Basin, California, during June and September, 2001. U.S. Scientific Investigations Report, 2004: 43.
- [18] Wang ZY, Melching CS, Duan XH *et al.* Ecological and hydraulic studies of step-pool systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, **135**(9): 705-717.
- [19] Yu GA, Wang ZY, Zhang K *et al.* Artificial step-pool improves the aquatic habitat and ecology in incised river. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, **39**(2): 162-167. [余国安, 王兆印, 张康等. 人工阶梯-深潭改善下切河流水生栖息地及生态的作用. 水利学报, 2008, **39**(2): 162-167.]
- [20] Wang ZY, Cheng DS, He YP *et al.* The ecological role of the river ladder in the southwest mountainous step-pool system. *Advances in Earth Science*, 2006, **21**(4): 409-416. [王兆印, 程东升, 何易平等. 西南山区河流阶梯—深潭系统的生态学作用. 地球科学进展, 2006, **21**(4): 409-416.]
- [21] Duan XH, Wang ZY, Yu GA. Evaluation of water ecology in the Yangtze River Basin with benthic animals as indicator species. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, **18**(3): 241-247. [段学花, 王兆印, 余国安. 以底栖动物为指示物种对长江流域水生态进行评价. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(3): 241-247.]
- [22] Cheng ZL, You Y, Zhu PY. Characteristics and model test of sediment in the upper reaches of Xiaojiang River Basin in Yunnan Province. *Journal of Natural Disasters*, 2000, **9**(3): 113-114. [程尊兰, 游勇, 朱平一. 云南小江流域中上游泥沙特征及模型试验. 自然灾害学报, 2000, **9**(3): 113-114.]
- [23] Zhang DD. GIS-based analysis of landslide impact factors and dangers in Xiaojiang River Basin, Yunnan Province [Dissertation]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2015. [张丹丹. 基于GIS的云南小江流域滑坡影响因素及危险性分析 [学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2015.]
- [24] Xie YB ed. Water information technology. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2009. [谢悦波. 水信息技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.]
- [25] Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD *et al.* eds. Rapid bioassessment for in use streams and Wadeable Rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish; 2nd edition. Washington DC: Envionme Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [26] Zhang RJ ed. River sediment dynamics. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 1998. [张瑞瑾. 河流泥沙动力学. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.]
- [27] Editorial board of "Water and wastewater monitoring and analysis method", Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China ed. Monitoring and analysis methods of water and wastewater; third edition. Beijing: China Environmental Science Press, 1989. [国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法: 第3版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.]
- [28] Epler JH. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. *FEBS Letters*, 2001, **81**(2). DOI: 10.1016/0014-5793(77)80570-X.
- [29] Brinkhurst RO. Guide to the freshwater aquatic *Microdrile oligochaetes* on North America. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, **84**: 1-259.
- [30] Liu YY, Zhang WZ, Wang YX *et al.* eds. Zoology of Chinese economy. Freshwater molluscs. Beijing: Science Press, 1979. [刘月英, 张文珍, 王跃先等. 中国经济动物志. 淡水软体动物. 北京: 科学出版社, 1979.]
- [31] Morse JC, Yang L, Tian L *et al.* eds. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality. Nanjing: Hohai University Press, 1984.
- [32] Merritt RW, Cummins KW, Berg MB *et al.* eds. An introduction to the aquatic insects of North America; 4th edition. Dubuque: Kendall Hunt Publishing, 2008; 181-771.
- [33] Duan XH, Wang ZY, Xu MZ eds. Benthic macroinvertebrate and application in the assessment of stream ecology. Beijing: Tsinghua University Press, 2010: 49-53. [段学花, 王兆印, 徐梦珍. 底栖动物与河流生态评价. 北京: 清华大学出版社, 2010: 49-53.]
- [34] Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD *et al.* eds. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable river; Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish; 2nd edition. Washington, DC: US EPA, Office of Water, 1999; B1-B50.
- [35] Duan XH, Wang ZY, Xu MZ *et al.* Effect of streambed sediment on benthic ecology. *International Journal of Sediment Re-*

- search, 2009, **24**(3): 325-338.
- [36] Allan JD ed. Stream ecology. London: Chapman and Hall, 1995.
- [37] Beisel JN, Usseglio-Polatera P, Thomas S *et al.* Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics. *Hydrobiologia*, 1998, **389**(1/2/3): 73-88.
- [38] Beisel JN, Ussegliopolatera P, Moreteau JC *et al.* The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 2000, **422/423**(4): 163-171.
- [39] Jiang XM, Xiong J, Xie ZC *et al.* Longitudinal and seasonal patterns of macroinvertebrate communities in a large undammed river system in Southwest China. *Quaternary International*, 2017, **440**: 1-12.
- [40] Zhao N, Wang ZY, Pan BZ *et al.* Ecological functions of riverbed structures with different strengths in the Xiaojiang River basin. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2014, (5): 584-589. [赵娜, 王兆印, 潘保柱等. 小江流域不同强度河床结构的生态学作用. 清华大学学报: 自然科学版, 2014, (5): 584-589.]
- [41] Dai DF, Wang J. Analysis of debris flow and ecology status in Xiaojiang River Basin of Yunnan Province. *Technological Innovation and Application*, 2012, (5): 23-24. [代德富, 齐馨. 云南省小江流域泥石流与生态现状分析研究. 科技创新与应用, 2012, (5): 23-24.]
- [42] Xie Z, Liang Y, Wang J *et al.* Preliminary studies of macroinvertebrates of the mainstream of the Changjiang (Yangtze) River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**: 148-157.

附录 I 调查河流的底栖动物名录

Appendix I List of macroinvertebrates of sampling rivers

门 科	吊嘎河	蒋家沟	蓝泥坪沟	清水沟	陶家小河	小江
环节动物门 Annelida						
舌蛭科 Glossiphoniidae						
舌蛭 Glossiphoniidae spp.					+	+
仙女虫科 Naididae						
仙女虫 <i>Nais</i> sp.	+				+	+
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+					
奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	+					
厚唇嫩丝蚓 <i>Teneridrilus mastix</i>				+		
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+					
软体动物门 Mollusca						
膀胱螺科 Physidae						
尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>	+		+	+	+	
椎实螺科 Lymnaeidae						
萝卜螺 <i>Radix</i> sp.	+		+	+	+	+
节肢动物门 Arthropoda						
蜉蝣科 Ephemeraeidae						
蜉蝣 <i>Ephemera</i> sp.	+			+	+	
四节蜉科 Baetidae						
四节蜉 <i>Baetis</i> sp.	+	+	+	+	+	+
花翅蜉 <i>Baetiella</i> sp.	+	+	+	+	+	+
扁蜉科 Heptageniidae						
高翔蜉 <i>Epeorus</i> sp.		+	+	+	+	
扁蚴蜉 <i>Ecdyonurus</i> sp.				+		
假蜉 <i>Iron</i> sp.				+		
似动蜉 <i>Cinygmina</i> sp.				+		
细蜉科 Caenidae						
细蜉 <i>Caenis</i> sp.	+				+	+
草蜉科 Cramnidae						
水蜉一属种 <i>Elophila</i> sp.				+		
水蜉一属种 <i>Neoschoenobia</i> sp.				+		
水蜉一属种 <i>Potamomusa</i> sp.				+		
小石蛾科 Hydroptilidae						
小石蛾 Hydroptilidae spp.					+	
原石蛾科 Rhyacophilidae						
喜马拉雅石蛾 <i>Himalopsyche</i> sp.					+	+
沼石蛾科 Limnophilidae						
伪突沼石蛾 <i>Pseudostenophylax</i> sp.	+	+	+		+	
沼石蛾 Limnophilidae spp.			+	+	+	+
纹石蛾科 Hydropsychidae						
纹石蛾 <i>Hydropsyche</i> sp.	+	+	+	+	+	+
角石蛾科 Stenopsychidae						
角石蛾 <i>Stenopsyche</i> sp.					+	
管石蛾科 Psychomyiidae						
管石蛾 Psychomyiidae spp.	+					

II

续表

门 科	吊嘎河	蒋家沟	蓝泥坪沟	清水沟	陶家小河	小江
多距石蛾科 Polycentropodidae						
多距石蛾 Polycentropodidae spp.				+		
等翅石蛾科 Philopotamidae						
等翅石蛾科一属种 <i>Dolophilodes</i> sp.			+	+	+	
短尾石蝇科 Nemouridae						
倍叉襮 <i>Amphinemura</i> sp.					+	
原叉襮 <i>Protonemura</i> sp.						+
石蝇科 Perlidae						
石蝇科一种 <i>Agnatina</i> sp.			+	+	+	
纯石蝇 <i>Paragnetina</i> sp.			+	+	+	
长角泥虫科 Elmidae						
长角泥虫幼虫 Elmidae spp.1	+		+		+	+
长角泥虫 Elmidae spp.2	+	+	+		+	+
龙虱科 Dytiscidae						
龙虱 Dytiscidae spp.1	+					+
龙虱幼虫 Dytiscidae spp.2						+
水龟虫科 Hydrophilidae						
水龟虫 Hydrophilidae sp.		+		+	+	+
毛蠓科 Psychodidae						
毛蠓 Psychodidae spp.	+					
舞虻科 Empididae						
舞虻 Empididae spp.				+	+	
水虻科 Stratiomyidae						
水虻 Stratiomyidae spp.				+		
伪鹬虻科 Athericidae						
伪鹬虻 Athericidae sp.			+		+	+
大蚊科 Tipulidae						
花翅大蚊 <i>Hexatoma</i> sp.	+		+	+	+	+
朝大蚊 <i>Antocha</i> sp.	+		+	+	+	+
大蚊 <i>Tipula</i> sp.	+	+		+		+
蠓科 Ceratopogonidae						
蠓 Ceratopogonidae spp.	+			+		+
贝蠓 <i>Bezzia</i> sp.	+		+	+	+	+
蚋科 Simuliidae						
蚋 <i>Simulium</i> sp.	+		+	+	+	
水蝇科 Ephydriidae						
水蝇 Ephydriidae sp.	+			+		
长足虻科 Dolichopodidae						
长足虻 Dolichopodidae spp.				+		
细蚊科 Dixidae						
细蚊 Dixidae spp.			+			
摇蚊科 Chironomidae						
长足摇蚊亚科 Tanypodinae						
长足摇蚊 <i>Tanytus</i> sp.						+
特突摇蚊 <i>Thienemannimyia</i> sp.	+	+	+	+	+	+
粗腹摇蚊 <i>Pelopia</i> sp.	+			+	+	+
大粗腹摇蚊 <i>Macropelopia</i> sp.	+					

续表

门 科	吊嘎河	蒋家沟	蓝泥坪沟	清水沟	陶家小河	小江
直突摇蚊亚科 <i>Orthoclaadiinae</i>						
拟矩摇蚊 <i>Paraphaenocladus</i> sp.	+		+	+		+
真开氏摇蚊 <i>Eukiefferiella</i> sp.				+		
拟开氏摇蚊 <i>Parakiefferiella</i> sp.	+					
裸中足摇蚊 <i>Psilometriocnemus</i> sp.					+	+
拟中足摇蚊 <i>Parametriocnemus</i> sp.			+	+	+	+
环足摇蚊 <i>Cricotopus</i> sp.	+			+	+	+
直突摇蚊 <i>Orthocladus</i> sp.			+	+		
矮突摇蚊 <i>Nanocladus</i> sp.	+		+	+	+	+
摇蚊亚科 <i>Chironominae</i>						
多足摇蚊 <i>Polypedilum</i> sp.	+	+	+	+	+	+
隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> sp.	+				+	+
流水长跗摇蚊 <i>Rheotanytarsus</i> sp.	+			+	+	
间摇蚊 <i>Paratendipes</i> sp.	+					
摇蚊蛹 <i>Chironomidae</i> pupa	+	+	+		+	+
钩虾科 <i>Gammaridae</i>						
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	+					
匙指虾科 <i>Atyidae</i>						
米虾 <i>Caridina</i> sp.					+	+
其他						
真涡虫 <i>Planaria</i> sp.	+			+	+	
总计(种)	38	11	26	41	40	33