

典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性

段学花^{1,*}, 王兆印^{1,2}, 程东升²

(1. 清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084 ; 2. 国际泥沙研究与培训中心, 北京 100044)

摘要 底栖动物是河流生态系统中食物链的重要环节。通过对长江、黄河、东江和拒马河等河流野外调查和采样分析研究了河床底质组成对底栖动物群落结构的影响规律。研究发现,不同河床底质组成中的底栖动物结构差别很大,不同地理位置而相同底质条件和水力条件的河流底栖动物群落组成相似,说明河床底质是影响河流底栖动物群落结构的关键因素,受地理位置和大气候的影响不大。利用多项生物指标分析了不同河床底质组成中底栖动物群落的多样性,卵石河床且有水生植物生长的河流底栖动物物种组成最丰富,大河中沙质河床不稳定,未采集到底栖动物;不同底质类型河床中的优势种群亦不同。并分析了采样所得底栖动物物种数与采样面积之间的关系,符合前者随后者呈幂指数增加的规律,当实测采样面积为 1 ~ 2 m² 时物种数变化不大,建议一般情况下最小采样面积应为 1 m²。

关键词 大型底栖动物 河床底质 栖息地 群落结构 生物多样性指数

文章编号: 1000-0933 (2007) 04-1664-09 中图分类号: Q145 文献标识码: A

Benthic macroinvertebrates communities and biodiversity in various stream substrata

DUAN Xue-Hua^{1,*}, WANG Zhao-Yin^{1,2}, CHENG Dong-Sheng²

1 State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2 International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (4) 1664 ~ 1672.

Abstract : Benthic macroinvertebrates are vital in the food chain of aquatic bio-communities. Substrata play an important role in the benthic invertebrate communities, and the characteristics of stream substrata, such as bed material size, heterogeneity and stability, can obviously affect the benthic bio-community. Field investigations were done to study the biodiversity of macroinvertebrates in various stream substrata. Sampling sites differing in bed composition, latitude and climate were selected along the Yangtze River, the Yellow River, the East River, and the Juma River in China. The results show that the benthic community structures found in different substrata clearly differ, while those found in substrata of similar composition and flow conditions but in different macroclimates are quite similar. The study thus demonstrates that the benthic macroinvertebrate community is mainly affected by substrate composition and flow condition, but is generally unaffected by latitudinal position and macroclimate. Biodiversity in different substrata is assessed via several biodiversity indices. Taxa richness of the macroinvertebrate community was found to be highest in hydrophyte-covered cobbles, high in

基金项目 国家科技部 973 资助项目 (2003CB415206); 中港基金资助项目 (50318003)

收稿日期 2006-05-06; 修订日期 2006-12-15

作者简介 段学花 (1981 ~), 女, 博士生, 山东滨州人, 主要从事河流泥沙、河流生态研究. E-mail: duanxh04@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duanxh04@mails.tsinghua.edu.cn

Foundation item The project was financially supported by 973 Program of Ministry of Science and Technology of China (No. 2003CB415206) and RGC-NSFC (No. 50318003)

Received date 2006-05-06; **Accepted date** 2006-12-15

Biography DUAN Xue-Hua, Ph. D. candidate, mainly engaged in hydrosience and sediment mechanics and river ecology. E-mail: duanxh04@mails.tsinghua.edu.cn

moss-covered bedrock , and relatively low in clay and cobble substrata devoid of plant biomass. Sand substrate is compact and unstable , and no benthic macroinvertebrates were found colonizing this substrate. Aquatic insects account for most of the macroinvertebrates found in these rivers. Different insect representatives dominate in different substrata types : mainly Ephemeroptera larvae were found in cobble and moss-covered bedrock substrata while Chironomidae larvae were found in clay beds. The relation between the number of species in the samples and the sampling area is also analyzed. The results support the species-area power rule. Since the experimental results differed little between surveys using 1m² and 2m² sampling areas , 1m² is suggested as a sufficient minimum sampling area.

Key Words : macroinvertebrates ; substrate ; habitat ; community structure ; biodiversity index

大型底栖无脊椎动物 (以下简称底栖动物)在水生系统能量循环中具有不可替代的作用 ,以其独有的优势已越来越广泛地被用来进行生物监测和生态评价^[1]。利用底栖动物的群落结构来评价水生系统的水质状况已有较多报道 ,如对湖泊、河流、水库及海洋等水体的热排放^[2]、水体富营养化等河湖污染^[3~5]和盐碱化^[6]等进行水质生物评价 ,而对不同物理环境如河床底质对底栖动物群落组成影响的报道甚少。河床底质可为水生动物提供多样的栖息地 ,底栖动物在其适应的底质中数量最多 ,如栖息在不适的基质上 ,生活就会受到抑制并逐渐死亡^[7]。研究河床底质与底栖动物之间的关系具有重要的生态意义。底质是影响河流底栖动物群落结构最重要的环境因素之一^[8~10] ,其粒径大小、异质性、密实性和稳定性等对底栖动物的组成影响很大。一般来说 ,群落的多样性随底质的异质性和稳定性的增加而增加^[11] ;松散底质的物种多样性高于密实底质^[12,13] ;底质粒径对底栖动物的影响各研究者观点不尽一致^[9,14,15]。本文通过对长江、黄河、东江和拒马河等 4 条河流进行野外考察和采样分析 ,旨在探讨不同粒径组合的河床底质对底栖动物群落结构及其多样性的影响 ,为环境监测、水利工程建设和河流整治提供生态学依据。

1 研究区域概况

为了研究不同河床底质组成中的底栖动物群落结构 2005 年 6 ~ 8 月对长江、黄河、东江和拒马河等 4 条河流进行野外考察 ,选取 7 处不同地区、不同河床条件的河段进行底栖动物取样调查。拒马河是大清河的干流 ,在北京房山张坊分为南拒马河和北拒马河 ,后在白沟汇流入大清河 ,而后汇入海河 ,该流域属半湿润温带季风气候 ,夏季炎热多雨 ,冬季寒冷干燥 ,春、秋短促 ;拒马河采样点位于北京市房山区十渡村 ,水质清洁 ,水草生长茂盛。黄河东营河段采样点位于东营市黄河口垦利县 ,属温带季风气候 ,一年四季分明 ,光照充足 ,雨热同期 ,年平均降水量约 560mm。车溪和神农溪均属长江三峡库区支流 ,采样点分别位于宜昌车溪河段和神农溪上游两河口 ,水质清洁 ,属亚热带季风气候区。东江流域 3 个采样点分别位于广东省惠州市西枝江入汇东江口、广东省河源市龙川县义都镇和广东省东莞市园洲镇 ,东江流域为典型的亚热带-热带湿润季风气候 ,四季不分明 ,高温多雨 ,年均降雨量在 1500 ~ 2400mm 之间。

黄河东营河段水流含沙量较高 ,为 10kg/m³ ,其它采样点的水流含沙量都接近于零。同时 ,各采样点的河床底质组成和水流参数也具有一定的差异 ,各采样点环境条件见表 1 ,其河床底质表层床沙粒径级配即粒度组成情况见图 1。

2 研究方法

2.1 采样面积的选取

为了考虑采样面积对底栖动物物种数及多样性的影响 ,在拒马河进行了野外定点生态实验 ,以选取适宜的采样面积。采样点处于同一片水域 ,其周围环境基本一致。研究结果 (见图 2)表明采样方法的局限和局部条件的不同使得数据点略有起伏 ,但总趋势为物种数随采样面积的增大而单调增加 ,当到达 1.5m² 之后物种数增加缓慢。将物种数与采样面积进行回归拟合 ,最佳回归方程为 $S = 26A^{0.3}$,物种数随采样面积增大而呈幂指数增加 ,与 Olaf Arrhenius 提出的物种数-面积的幂函数关系 ($S = cA^z$)^[16] 相一致 ,鉴于当实测点采样面积为 1 ~ 2m² 时物种数变化不大和从实际工作量考虑 ,本文建议最小采样面积应为 1m² 才能保证结果的可靠性。实

际操作时要视具体情况而论,若底栖动物密度较大时,1m²的采样面积就基本能反映物种组成;若密度小时则要适当增加采样面积,若物种组成单一且密度非常大时较小的采样面积也能保证结果的合理性。本文采样面积全部为1m²。

表 1 采样点河床组成、地理位置及其相关水流参数

采样点 Sampling site	河床组成 Substrata composition	地理位置 Location	水深 H (m)	溶解氧 DO (mg/L)	流速 V (m/s)	水温 T (℃)
拒马河北京段 Juma River	卵石和少量粗沙, $D_m = 72\text{mm}$; 长有水草	N39°38'301" E115°33'157"	0.2 ~ 0.5	9.76	0.25 ~ 0.5	24
垦利黄河口 Yellow River estuary at Kenli	细沙, $D_m = 0.07\text{mm}$	N37°36'217" E118°31'909"	0.5 ~ 0.7	8.67	0.1 ~ 0.7	15.4
三峡库区-神农溪 Shennongxi Stream	卵石, $D_m = 158\text{mm}$, 有少量水草生长	—	0.2 ~ 0.6	11.83	0.2 ~ 0.7	23.3
三峡库区-车溪 Chexi Stream	基岩河床, 表面有苔藓生长	N30°29'821" E111°03'973"	0 ~ 0.5	11.01	0.3 ~ 0.5	—
西枝江入汇东江口 Xizhijiang River	浮泥, $D_m = 0.008\text{mm}$; 有稀疏水草	N23°05'526" E114°24'000"	0.1 ~ 0.3	—	0.05 ~ 0.1	22
东江下游园洲 East River at Yuanzhou	粗沙, $D_m = 0.6\text{mm}$	N23°05'916" E114°05'058"	0.1 ~ 1.0	—	0 ~ 1.0	22
东江上游龙川 East River at Longchuan	主要为卵石, 底部有淤泥和少量沙, $D_m = 210\text{mm}$	N24°05' E115°08'	0.1 ~ 0.7	—	0.1 ~ 0.4	21

D_m 采样点表层床沙的中值粒径 Median size of bed sediment at sampling sites ; H :Water depth ; DO :Dissolved oxygen ; V :Current velocity ; T : Water temperature

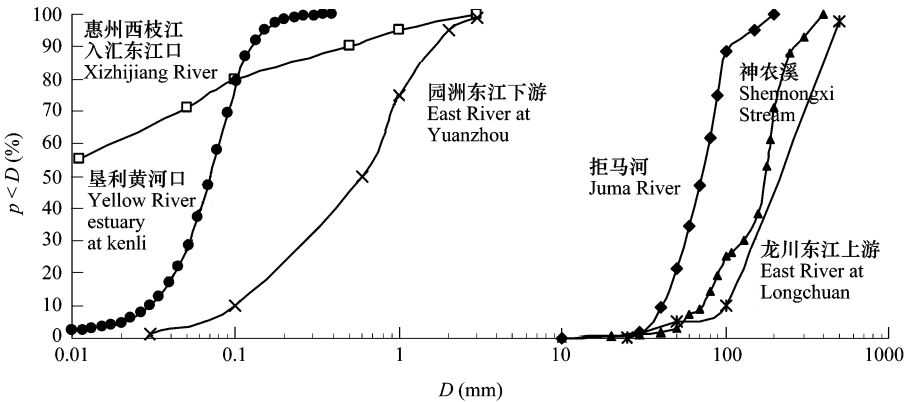


图 1 各采样点表层床沙粒径级配曲线图

Fig. 1 Cumulative size distribution of bed sediment from the sampling sites

2.2 材料与采样方法

由于大型底栖动物栖境的复杂性,野外采样常用定量采集和定性采集相结合的方法^[7]。站点布置原则是选取生境宽阔、流速、水深和底质组成及生物环境均有代表性的100m河段进行定量与定性采集,黄河口采样水域水流较深,主要选取浅水处进行采集。车溪、神农溪、龙川和园洲4个采样点水深较浅,水面开阔,栖境较一致,用(1m×1m) Kick网顺着水流方向进行定量采集0.8m²,并通过目测在石块表面、枯枝和落叶堆中用D形网(0.2m²宽)进行定性采集,累计采集长度约1m,共折合采样面积1m²。西枝江淤泥底质和黄河口采样点深水处采用1/16m²彼得逊采泥器,并多处采集,共采集16次,折合采样面积1m²。现场记录环境要素,如底质、水深、水温、流速、溶解氧和水生植物生长情况等,同时采集水样。将采集的底质样本放入60目分样筛中筛洗,将动物活体放入10%的福尔马林溶液中固定,带回分别进行镜检分类、计数,并用感量为0.0001g的电子天平称重。底栖动物鉴定工作参考相关文献^[18-21],鉴定水平大部分到科或属,尽量区分至种。

2.3 分析手段

物种多样性常用物种丰富度表示 ,即一定面积内物种的数目 ,Poole 认为只有这个指标才是唯一真正客观的多样性指标。一般来说 ,丰富度越大 ,多样性越好 ,系统越稳定 [22]。密度和生物量也常用来评价底栖动物的群落组成。除此之外 ,还采用了 Shannon-Wiener 多样性指数 ,改进的 Shannon-Wiener 指数 ,Pielou 均匀度指数 ,Margalef 丰富度指数 ,Simpson 多样性指数等其他 5 项生物指标用来评价各河床中底栖动物的生物多样性 ,其定义公式见表 2。

3 结果与讨论

3.1 底栖动物群落结构组成

各采样点底栖动物的种类组成见表 3 ,由于各采样点动物类群不同 ,且类目较多 ,无法给出详细的实际鉴定水平结果 ,因此表 3 仅列出属或更高级的鉴定水平。从表 3 可以看出 ,在这几个采样点中底栖动物群落结构组成差异较大。拒马河共采到底栖动物 44 种 ,隶属 4 门 28 科 ,其中水生昆虫 34 种 ,软体动物 5 种 ,水栖寡毛类 2 种 ,蛭纲、扁形动物和螨形目各 1 种 ;惠州西枝江入汇东江口采到底栖动物 12 种 ,隶属 3 门 7 科 ,其中水生昆虫 7 种 ,软体动物 1 种 ,水栖寡毛类 3 种 ,甲壳纲 1 种 ;东江上游龙川县义都镇采到底栖动物 16 种 ,隶属 2 门 15 科 ;三峡库区支流神农溪采到底栖动物 23 种 ,隶属 1 门 15 科 ,其中水生昆虫 22 种 ,螨形目 1 种 ;三峡库区支流车溪采到底栖动物 26 种 ,隶属于 1 门 18 科 ,其中水生昆虫 25 种 ,螨形目 1 种 ,黄河东营河段和园洲镇东江干流未采到底栖动物。表 3 黑体数字表示各采样点主要种群数量。

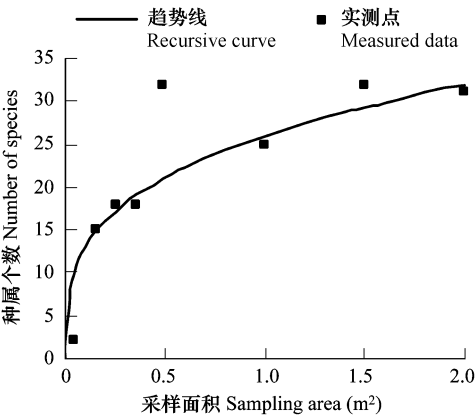


图 2 物种数随采样面积增加的变化趋势
Fig. 2 The number of species in the samples as a function of the sampling area

表 2 生物多样性评价指标

名称 Item	定义 Definition	备注 Note
Shannon-Wiener 多样性指数 H' Shannon-Wiener diversity index	$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln (n_i/N)$ [23]	综合了物种数和均匀度两层含义 ,是常用的一种多样性指数 H' integrates both richness and evenness , a common diversity index
改进的 Shannon-Wiener 指数 β Modified Shannon-Wiener diversity index	$\beta = - (\ln N) \sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln (n_i/N)$ [24]	物种数、均匀度和生物密度的综合指标 An index integrating richness , evenness and total abundance
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	$J = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$ [25]	实测多样性与最大多样性之比 The measured diversity / the maximum diversity
Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	$d_M = (S - 1) / \ln N$ [26]	生物群落物种的丰富程度 The degree of taxa richness of the bio-community
Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	$D = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i/N)^2$ [27]	物种多样性的度量 Measurement of species diversity

S : 群落中物种数目 Number of species ; N : 样方中观察到的个体总数 Total number of individual specimen ; n_i : 第 i 种物种的个数 The number of individuals in the i^{th} species ; $H'_{\max}$: 群落完全均匀的多样性 The diversity while the community is even completely

从物种数多寡来看 ,各河床底栖动物丰富度从高到低的顺序依次为 :拒马河卵石河床 > 车溪基岩河床 > 神农溪卵石河床 > 东江龙川县卵石河床 > 惠州西枝江口淤泥质河床 > 黄河细沙质河床 = 东江干流园洲粗沙质河床。前 3 者均有新鲜的水草、苔藓等水生植物生长 ,说明水生植物是影响底栖动物分布的一个关键因素 [9, 28]。

各河床底栖动物的密度 (ind./ m^2)和生物量 (g/ m^2)见表 4 ,可以看出有水生植物生长的河床底质中底栖动物密度均较大。拒马河的生物量最高 ,主要由软体动物构成 ,以小型螺类 (如方格短沟蜷、萝卜螺属、蜆科)

为主 ,软体动物的平均体重不足 0.1g。车溪的生物量最低 ,主要由水生昆虫构成 ,可以看出车溪基岩河床以小型水生昆虫为主 (如 4 ~ 5mm 的四节蜉科幼虫、纹石蛾科幼虫) ,平均体重尚不足 0.001g。

表 3 各采样点底栖动物的组成 (ind./m²)
Table 3 Composition of macroinvertebrates community

类别 Taxa	拒马河 Juma River	西枝江口 Xizhijiang	车溪 Chexi	神农溪 Shennongxi	龙川 Longchuan
节肢动物 Arthropoda					
摇蚊科 Chironomidae	48	11	212	105	21
大蚊科 Tipulidae	8		36	16	1
螳科 Ceratopogonidae	4		1		
蚋科 Simuliidae			3		
虻科 Tabanidae	1				
其他双翅目 Diptera	3		20		
纹石蛾科 Hydropsychidae	1		108	8	4
岩石蛾科 Polycentropodidae				5	
蝶石蛾科 Psychomyiidae			82		
小石蛾科 Hydropsilidae			2		
角石蛾科 Stenopsychidae				5	
弓石蛾科 Arctopsychidae	1				
长角石蛾科 Leptoceridae	70		1	3	
箭蜓科 Gomphidae	3	1			5
蟈科 Coenagrionidae		6			
扇蟈科 Platycnemididae		1			
蜉蝣科 Ephemeridae	90				
细蜉科 Caenidae	14				1
四节蜉科 Baetidae	191		792	55	
扁蜉科 Heptageniidae	57		7	118	11
小裳蜉科 Leptophlebiidae	2			76	44
小蜉科 Ephemerellidae	9		76	3	
二尾蜉科 Siphonuridae					1
其他蜉蝣目 Ephemeroptera	4				
襀翅目 Plecoptera			1		3
半翅目 Hemiptera	1		11	1	1
扁泥甲科 Psephenidae			2		
龙虱科 Dytiscidae	4				
长角泥甲科 Elmidae	5		29		
水龟甲科 Hydrophilidae	1				
鱼蛉科 Corydalidae				1	1
螨形目 Acariformes	29		27	92	
匙指虾科 Atyidae					2
束腹蟹科 Paratelphusidae		1			
软体动物 Mollusca					
蜆属 Corbicula	15				
无齿蚌属 Anodonta	16				
萝卜螺属 Radix	111				
扁卷螺科 Planorbidae		1			
短沟蜷属 Semisulcospira	5				1
觿螺科 Hydrobiidae					1
环节动物 Annelida					
水丝蚓属 Limnodrilus	58	3			
尾鳃蚓属 Branchiura		1			
泥蚓属 Ilydrolus		1			
蛭纲 Hirudinea	2				
扁形动物 Platyhelminthes					
涡虫纲 Turbellaria	1				

表 4 各采样点的生物指数分析结果

Table 4 Analysis results of the bio-assessment indices for the sampling sites

地点 Site	密度 Density (ind./m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	<i>S</i>	<i>J</i>	<i>H'</i>	β	<i>d_M</i>	<i>D</i>
拒马河 Juma River	754	14.1894	44	0.70	2.65	17.56	6.49	0.901
西枝江口 Xizhijiang	26	3.4785	12	0.93	2.30	7.49	3.38	0.885
龙川 Longchuan	97	1.9528	16	0.67	1.85	8.46	3.28	0.746
园洲 Yuanzhou	0	0	0	—	—	—	—	—
车溪 Chexi	1410	1.2346	26	0.50	1.62	11.75	3.45	0.651
神农溪 Shennongxi	488	1.4476	23	0.71	2.23	13.80	3.55	0.854
垦利黄河口 Yellow River estuary at Kenli	0	0	0	—	—	—	—	—

生物量采用湿重 Biomass-Mass of fresh femur ; *S* :Number of species ; *J* :Evenness ; *H'* : Shannon-Wiener ; β :Modified Shannon-Wiener ; *d_M* : Margalef ; *D* Simpson

拒马河、西枝江口、龙川县东江上游、神农溪和车溪的水生昆虫个体数均占底栖动物总数的一半以上 ,分别为 68.6%、73.1%、95.9%、81.2% 和 98.2% ,说明河流底栖动物的主要成员为水生昆虫 ,其中卵石河床和有附生植物的基岩河床以蜉蝣类为主 ,拒马河、龙川县东江上游、神农溪和车溪四个采样点蜉蝣目幼虫分别占水生昆虫总数的 71%、61.3%、63.6% 和 63.3% ,淤泥质河床以摇蚊幼虫为主 ,西枝江口摇蚊幼虫占水生昆虫总数的 57.9%。

3.2 底栖动物组成多样性比较

对以上 7 个采样点采集的水样进行水质化学分析 ,拒马河、西枝江、车溪和神农溪所有水质指标均在国家水质标准 I 类和 II 类水限值之内 ;义都、园洲和黄河口采样点由于分别位于东江和黄河干流 ,总氮含量略高于 II 类水限值 ,其他指标均在 I 类和 II 类水限值之内 ,因此采样点水质状况基本良好。

表 4 中多样性指数值反映出了河床底质组成对底栖动物群落多样性的影响。拒马河的 Shannon 指数、改进的 Shannon 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数均是 7 个采样点最高的 ,神农溪卵石河床以上 4 项指数除 Shannon 指数外也均高于除拒马河外的其它点 ,说明由粒径大小不一的卵石组成且有水草生长的河床是物种多样性最高的基质类型。车溪基岩河床四节蜉科幼虫占了很大优势 ,优势度高 ,使得底栖动物群落的均匀度降低 (仅 0.5) ,从而 Shannon 指数最低 ,但该处水质清洁无污染 ,且底栖动物密度相对最大 ,从其物种数和 Margalef 指数值来看该处的多样性也很高。惠州西枝江口底栖动物的种类、数量均较少 ,由于均匀度高 (达 0.93) ,使得 Shannon 和 Simpson 多样性指数很高 (分别为 2.30 和 0.885) ,但物种数 *S*、密度、改进的 Shannon 指数和 Margalef 指数却基本上是除沙质河床外最低的 ,说明该处的物种多样性较低。

综合以上指数分析可得出各河床中底栖动物多样性从高到低依次为 :拒马河卵石河床 > 神农溪卵石河床 > 车溪基岩河床 > 龙川县东江上游卵石河床 > 惠州西枝江口淤泥质河床 > 黄河口垦利河段细沙质河床 = 园洲镇东江下游粗沙质河床。这与国外的许多研究结果基本一致 ,如 Grubaugh 等^[29]指出 ,底栖动物的年产量在无水生植物生长的大卵石中相对较低 ,岩床栖息地中较高 ,有水生植物生长的卵石中最高。若用各河床的中值粒径为横坐标 ,多样性指数为纵坐标作图 ,可看出底栖动物多样性有一个随粒径先减小后增大再减少的趋势 ,即从淤泥河床变为沙质河床时底栖动物多样性从较高骤减为零 (图 3) ,这说明 ,沙质河床对底栖动物非常不利 ,随着粒径的增大 ,多样性也随之增高 ,当到达一定粒径的卵石之后达到最大 ,粒径进一步增大变为大型卵石甚至为漂石时 ,多样性继而下降 ,当完全变为基岩河床时要视有无水生植物生物生长等具体情况而论。

3.3 群落结构的几个影响因素

(1)气候差异

拒马河、神农溪和龙川东江上游 3 个采样点河床均为卵石河床 ,水流条件如水深、水温、流速等基本相似 ,但地理位置不同 ,分别位于中国的北部、中部和南部 ,分属不同的气候类型。为了比较不同地理位置的卵石底

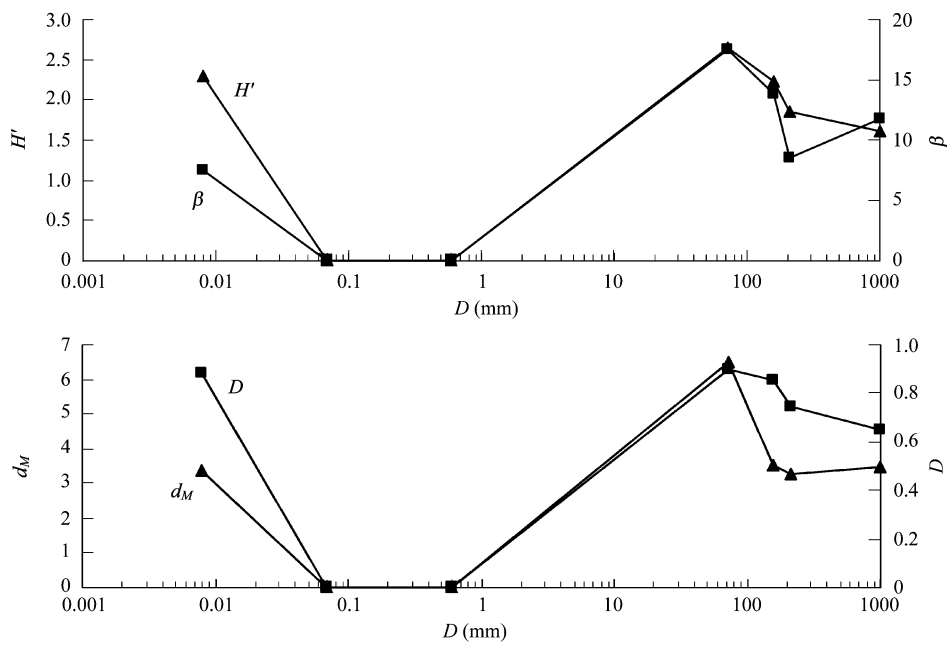


图 3 各多样性指数随河床底质中值粒径的变化

Fig. 3 The relationship between the diversity indices and the median diameter of bed sediment
基岩河床中值粒径用 1000mm 表示 The bedrock diameter is represented by 1000mm

质中底栖动物群落组成的差异情况,采用 Sorensen 相似性指数 $SI = 2c / (a + b)$ [30] 计算以上 3 个采样点群落组成的相似性 (其中 a 为 A 群落中的类群数 b 为 B 群落中的类群数 c 两群落中共有的类群数),参与计算的类群水平为本文最低鉴定水平结果,计算结果见表 5:

龙川县东江干流和神农溪各 15 科底栖动物中均有 10 科在拒马河样本中出现,相互之间相似性指数均接近 0.5,彼此相似性较高,且神农溪剩余 5 科中的 3 科和龙川县东江干流剩余 5 科中的 2 科在拒马河以后的野外考察中均有发现,表明这 3 种卵石河床中的底栖动物组成具有较强的相似性,同时也说明在一定

纬度范围内,底栖动物的组成受底质的影响较受地理位置和气候的影响更为显著。

(2)底质均匀性、密实性

与组成均匀的河床底质相比,底质粒径组成范围广的河床可以形成多样性的生物栖息地,而生物栖息地的多样性愈高,底栖动物的生物多样性就愈高 [31]。粒径范围较广的卵石河床不仅为附生动物提供了很大的附着面积,其缝隙也为底栖动物提供了大量的生存空间和避难场所。拒马河卵石粒径为 3 ~ 9cm 不等,神农溪为 1 ~ 20cm 不等,龙川县东江上游为 2.5 ~ 50cm 不等,均为底栖动物营造了良好的生物栖息地环境。相比之下,淤泥底质和沙质河床空隙小,提供的栖息地丰富性较低,底栖动物的多样性也相对较低。20 世纪 50 年代和 80 年代的调查发现,黄河干流的水生生物无论种类数还是密度都远低于其支流 [32, 33],1979 ~ 1982 年相关研究报道了黄河的底栖动物少于 20 种,中下游数量极少 [33, 34]。本文认为造成黄河底栖动物多样性低的原因与其河床底质为均匀密实的沙质有关,本次调查在黄河口采样点未发现底栖动物与黄河口的“铁板沙”特性关系很大,该地沙质坚硬密实,底栖动物难以钻行,缺少必要的生存空间。

(3)底质稳定性

底栖动物的种类组成取决于栖息地的多样性和稳定性,物种多样性随底质稳定性的增加而增多,底质任

表 5 3 处卵石河床底栖动物群落的相似性

Table 5 The similarity of benthic community in three cobble substrata		
地点 Site	拒马河 Juma River	神农溪 Shennongxi
龙川县 Longchuan	0.4651	0.4667
神农溪 Shennongxi	0.4651	

何形式的不稳定 ,对底生生物都有极不利的影响^[7,9,35]。沙质河床不很稳定 ,洪水季节容易发生冲刷 ,底栖动物繁衍生息需要时间 ,难以在不稳定河床上的定居。淤泥底质疏松富含沉积物碎屑 ,饵料基础丰富 ,且周围有水草为水生动物提供食物 ,应有较高的生物量 ,但西枝江口底栖动物密度相对较低 ,可能与调查之前一场大洪水时发生过冲淤有关。有附生植物的基岩溪底为生物定居提供了一个坚固的基质 ,但动物直接承受流水冲刷作用 ,只有抓附力最强的生物才能生活在那里。所以底质的稳定性是影响底栖动物的一个重要因素。

(4)底床附生植物

苔藓、水草及着生藻类等底床附生植物是影响底栖动物的重要因素 ,它们不仅能为底栖动物提供食物与栖息、繁殖、避难场所 ,还能稳定底质^[28]、降低大水时对底栖动物的冲击^[9]。拒马河卵石河床上水草的存在使得底栖动物的多样性和密度均比神农溪和龙川县东江上游卵石河床要高。车溪基岩河床表面的苔藓通过光合作用为水体提供了丰富的氧气来源 ,使得好氧性动物大量出现 ,且该处的底栖动物密度也较高。若底质中缺乏必要的附生植物 ,底栖动物的多样性和数量将大大降低。

4 结语

河流底栖动物大多数为水生昆虫幼虫 ,其中卵石河床和有附生植物的基岩河床主要为蜉蝣目幼虫 ,淤泥质河床主要为摇蚊幼虫 ,均占了水生昆虫的 60% 以上。在水流条件相似的情况下 ,当河床底质组成相同时 ,在较高纬度和较低纬度河流的底栖动物群落组成大致相似 ,受地理位置和大气候影响不大。底质为粒径大小不一的卵石且有水草生长的河床是物种多样性最高的基质类型 ,沙质河床不稳定 ,不适合底栖动物的生长 ,生物种类极少甚至为零 ,基岩河床和淤泥河床基质中底栖动物的多样性因其水文、地貌、水生植物生长情况而别。如果基岩河床水流流速不大 ,且有附石藻类或苔藓类生长 ,该底质适合抓附力强的水生昆虫和扁形动物生长 ,以小型蜉蝣目幼虫等水生昆虫为主 ,密度也可能很大 ,其成员对氧气的要求都很高。淤泥河床则适合穴居型底栖动物生活 ,如寡毛类、摇蚊和其他昆虫幼虫等 ,其成员对低氧都有较大的适应性。底质的均匀性、密实性、稳定性和底床附生植物的生长情况对底栖动物的影响均较大。本文还分析了采样所得底栖动物物种数与采样面积之间的关系 ,符合前者随后者呈幂指数增加的规律 ,由于实测采样面积为 1 ~ 2m²时物种数变化不大 ,本文建议一般情况下最小采样面积应为 1m²。

References :

[1] Resh V H , Jackson J K. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In : Rosenberg D M , Resh V H eds. New York : Chapman & Hall , 1993.

[2] Hu D L , Yang H N. Effects of heat shock on macroinvertebrates in Xiangjiang River. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control* , 2001 , 2 (1) : 8 , 25 - 27.

[3] Gong Z J , Xie P , Tang H J , *et al.* The Influence of Eutrophication upon Community Structure and Biodiversity of Macrozoobenthos. *Acta Hydrobiol Sin* , 2001 , 25 (3) : 210 - 216.

[4] Wang B X , Yang L F. Bioassessment of Qinhuai River using a river biological index. *Acta Ecologica Sinica* , 2003 , 23 (10) : 2082 - 2091.

[5] Dai Y Z , Tang S Y , Zhang J B. The distribution of zoobenthos species and bio-assessment of water quality in Dongting Lake. *Acta Ecologica Sinica* , 2000 , 20 (2) : 277 - 282.

[6] Xie Z H , Zhou Y B. Zoobenthos in Inland Saline Waters from Autonomous Region Northern Parts of China. *J. of Dalian Fisheries University* , 2002 , 17 (3) : 176 - 186.

[7] He Z H. *Freshwater Ecology*. Beijing : China Agricultural University Press , 2000 : 63 - 64.

[8] Arunachalam M , Nair K C M , Vijverberg J , *et al.* Substrate selection and seasonal variation in densities of invertebrates in stream pools of a tropical river. *Hydrobiologia* , 1991 , 213 : 141 - 148.

[9] Beisel J N , Usseglio-Polatera P , Thomas S , *et al.* Stream community structure in relation to spatial variation : the influence of mesohabitat characteristics. *Hydrobiologia* , 1998 , 389 : 73 - 88.

[10] Reice S R. The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a woodland stream. *Ecology* , 1980 , 61 : 580 - 590.

[11] Beisel J N , Usseglio-Polatera P , Moreteau J C. The spatial heterogeneity of a river bottom : a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia* , 2000 , 422/423 : 163 - 171.

[12] Cobb D G , Galloway T D , Flannagan J F. Effects of Discharge and Substrate Stability on Density and Species Composition of Stream Insects.

- Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences CJFSDX ,1992 ,49 :1788 –1795.
- [13] Flecker A S , Allan J D. The importance of predation , substrate and spatial refugia in determining lotic insect distributions. *Oecologia* ,1984 ,64 :306 –313.
- [14] Erman D C , Erman N A. The response of stream invertebrates to substrate size and heterogeneity. *Hydrobiologia* ,1984 ,108 :75 –82.
- [15] Heino J. Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity , habitat size and water chemistry. *Hydrobiologia* ,2000 ,418 :229 –242.
- [16] Arrhenius O. Species and Area. *The Journal of Ecology* ,1921 ,9 :95 –99.
- [17] Wang B X , Yang L F. Advances in rapid bio-assessment of water quality using benthic macroinvertebrates. *Journal of Nanjing Agricultural University* ,2001. 24 (4) :107 –111.
- [18] Dalian Fisheries University ed. *Freshwater Biology (the first volume : taxonomy)*. Beijing : Agriculture Press ,1982.
- [19] Liang X Q , Fang J Z , Yang H Q. *Hydrobiology (Configuration and Classification)*. Beijing : China Agriculture Press ,1995.
- [20] Liu Y Y , Zhang W Z , Wang Y X. *Economic Fauna of China : Freshwater Mollusk*. Beijing : Science Press ,1979.
- [21] Morse J C , Yang L F , Tian L X. *Aquatic Insects of China Useful for Monitoring Water Quality*. Nanjing : HoHai University Press ,1994.
- [22] Poole R W. *An Introduction to Quantitative Ecology*. New York : McGraw-Hill ,1974.
- [23] Shannon C E , Weaver W J. *The mathematical theory of communication*. Urbana : University of Illinois ,1949. 117.
- [24] Wang S B. A Question on the Traditional Biodiversity Index. *Journal of Fudan University (Natural Science)* ,2003 ,42 (6) :867 –868 ,874.
- [25] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York : Wiley-Inters ,1975. 163.
- [26] Margalef D R. *Information Theory in Ecology*. *Gen Syst* ,1957 ,3 :36 –71.
- [27] Simpson E H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* ,1963 :688.
- [28] Downes B J , Lake P S , Schreiber E S G , *et al.* Habitat structure , resources and diversity : the separate effects of surface texture and macroalgae on stream invertebrates. *Oecologia* ,2000 ,123 :569 –581.
- [29] Grubaugh J W , Wallace B J , Houston E S. Production of Benthic Macroinvertebrate Communities along a Southern Appalachian River Continuum. *Freshwater Biology* ,1997 ,37 (16) :581 –596.
- [30] Ma K P , Liu C R , Liu Y M. Measurement of Biotic Community Diversity II Measurement of Beta Diversity. *Chinese Biodiversity* ,1995 ,3 (1) 38 –43.
- [31] Wang Z Y , Joseph H W L. *Integrated River Management*. Beijing : Tsinghua University ,2005.
- [32] Institute of zoology Chinese academy of sciences. *An elementary investigation report on biology foundation of fishery resources in Yellow River*. Beijing : Science Press ,1959. 20 –33.
- [33] Zhang S G , Li Y Q , Zhao Y X , *et al.* Effect of river sedimentation on the biological diversion and efficiency of toxic heavy metal. *Water Environment Monitoring Center of Yellow River Basin* ,1998 ,24 –43.
- [34] Hong S , Chen J S. Structure characteristics of aquatic community from the main rivers in china. *Acta Hydrobiol Sin* ,2002 ,26 (3) :295 –305.
- [35] Cummins K W. The natural stream ecosystem. In : Ward J V , Stanford J A eds. *The Ecology of Regulated Streams*. New York : Plenum Press ,1979. 7 –24.

参考文献：

- [2] 胡德良,杨华南. 热排放对湘江大型底栖无脊椎动物的影响. *环境污染治理技术与设备* ,2001 ,2 (1) :8 ,25 ~27.
- [3] 龚志军,谢平,唐汇娟,等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响. *水生生物学报* ,2001 ,25 (3) :210 ~216.
- [4] 王备新,杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究. *生态学报* ,2003 ,23 (10) :2082 ~2091.
- [5] 戴友芝,唐受印,张建波. 洞庭湖底栖动物种类分布及水质生物学评价. *生态学报* ,2000 ,20 (2) :277 ~282.
- [6] 谢祚浑,周一兵. 中国北方盐碱水域中的底栖动物. *大连水产学院学报* ,2002 ,17 (3) :176 ~186.
- [7] 何志辉主编. *淡水生态学*. 北京:中国农业大学出版社,2000. 63 ~64.
- [17] 王备新,杨莲芳. 大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展. *南京农业大学学报* ,2001 ,24 (4) :107 ~111.
- [18] 大连水产学院主编, *淡水生物学(上册 分类学部分)*. 北京:农业出版社,1982.
- [19] 梁象秋,方纪祖,杨和荃编著. *水生生物学(形态和分类)*. 北京:中国农业大学出版社,1995.
- [20] 刘月英,张文珍,王耀先. *中国经济动物志*. 北京:科学出版社,1979.
- [24] 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 ,874.
- [30] 马克平,刘灿然,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II. β 多样性的测度方法. *生物多样性* ,1995 ,3 (1) :38 ~43.
- [32] 中国科学院动物所. *黄河渔业资源生物学基础初步调查报告*. 北京:科学出版社,1959. 20 ~33.
- [33] 张曙光,李雅卿,赵玉仙,等. 河流沉降物对有毒重金属的生物学转移及有效性影响. *黄河流域水环境监测中心* ,1998 ,24 ~43.
- [34] 洪松,陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. *水生生物学报* ,2002 ,26 (3) :295 ~305.