

河床底质对大型底栖动物多样性影响的野外试验

段学花¹, 王兆印^{1,2}, 田世民³

(1. 清华大学 水利水电工程系, 北京 100084; 2. 国际泥沙研究与培训中心, 北京 100044;

3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要: 大型底栖动物是水生态系统的重要组成部分, 通过野外试验研究了底质对底栖动物多样性及河流生态的影响。选取5种粒径、形状和糙度各不相同的均匀底质置换原河床底质, 采样分析了底栖动物种类组成及密度。结果表明, 底质的粒径、孔隙率和空隙大小对底栖动物群均有显著影响, 外观形状和表面糙度对底栖动物组成和密度影响不大。底栖动物群在大卵石和片砾石中较稳定, 物种丰度和密度在大卵石、片砾石和小卵石中较高, 粗沙中较低, 细沙中最低。

关键词: 大型底栖动物; 物种丰度; 河床底质; 生物多样性

中图分类号: Q 958 8; TV 141⁺. 1 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-0054(2007)09-1553-04

Field experiment on the effect of stream bed substrate on macro invertebrate diversity

DUAN Xuehua¹, WANG Zhaoyin^{1,2}, TIAN Shimin³

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

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

3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: Macroinvertebrates are important components of stream ecosystems. A field experiment was conducted to study the effects of substrate particle size, shape, and roughness on the composition and biodiversity of macroinvertebrates. The results show that the particle sizes, porosity, and interstitial dimensions of the substrate affect the macroinvertebrate community, while the shape and surface roughness of the substrate do not strongly affect the macrobenthos composition and density. The macroinvertebrate composition in the cobbles and hewn stones is stable. The density and species richness in the cobbles, hewn stones and pebbles are much higher than those in the coarse and fine sands.

Key words: macroinvertebrates; species richness; streambed substrate; biodiversity

河流生态系统的重要成员, 具有重要的生态作用, 在水生态系统的物质和能量循环中发挥着重要作用, 在食物链中位于关键环节, 已作为良好的指示种群被广泛应用到生态评价与生物监测中。对河流中的底栖动物进行深入研究有助于更全面地认识河流生态系统, 进一步了解水生动物与河流系统的相互作用关系, 可为河流健康及其生态恢复提供强有力的生态学依据。影响河流底栖动物的物理因素有很多, 其中河床底质是极其重要的一方面^[1-3]。Beisel等^[3]研究指出, 底质可能是决定群落结构最重要的因素。

本文选取5种底质在天然河流条件下置换原河床底质进行野外生态试验, 观察研究在其他环境因子相同的条件下河床底质对底栖动物的影响, 为中国河流的生态健康建设和实践提供参考。

1 试验和方法

1.1 试验方案布置

选取拒马河北京房山段受人为干扰相对较少、河床较平坦、水深小于0.5m、流速低于0.3m/s的30m河段进行试验。试验前先清除试验河段的水草和原河床底质, 然后在河床上各铺3m×3m的5种均匀底质样方(细沙 $D_{50}=0.2$ mm、粗沙 $D_{50}=1.5$ mm、光滑小卵石 $D_{50}=20$ mm、形状不规则的粗糙片砾石和光滑大卵石 $D_{50}=200$ mm, D_{50} 为底质的中值粒径)。细沙、粗沙和小卵石铺垫厚度均为8cm左右, 大卵石和片砾石分别铺1~2层, 各试验底质样方间隔1m。

收稿日期: 2007-01-02

基金项目: 国家“九七三”重点基础研究资助项目(2003CB415206);

国家自然科学基金资助项目(50221903-3)

作者简介: 段学花(1981—), 女(汉), 山东, 博士研究生。

通讯联系人: 王兆印, 教授, E-mail: zywang@tsinghua.edu.cn

大型底栖动物(benthic macroinvertebrates)是

1.2 采样和分析方法

场地建好后,令底栖动物自然繁殖2周,采样周期为每2周1次,共采集2次,分别选择底质样方的不同位置进行采集。各底质表面均生长了少量丝状水藻和苔藓。采样工具为Kick网(网孔=0.5mm)。挑出底栖动物活体并将其放入10%的福尔马林溶液中固定。同时测定水流的溶氧含量、水温、水深和流速等物理参数,现场记录环境要素。把样本带回实验室分别进行分类、鉴定、计数,并用感量为0.1mg的电子天平称重。底栖动物鉴定工作参考相关文献进行。

采用5项多样性指数对底栖动物的多样性进行评价:

- 1) 物种丰度 S , 即样本中含有的物种总数。
- 2) 密度 D , 即单位面积内底栖动物的总数。
- 3) Shannon-Wiener 多样性指数, 即

$$H = - \sum_{i=1}^S \xi_i \ln \xi_i \quad (1)$$

- 4) 改进的Shannon-Wiener 多样性指数^[4], 即

$$B = - \ln N \sum_{i=1}^S \xi_i \ln \xi_i \quad (2)$$

- 5) Margalef 丰富度指数, 即

$$d_M = (S - 1) / \ln N. \quad (3)$$

式中: N 为样本总数; ξ_i 为第 i 种个数占样本总数的比例, 即 $\xi_i = n_i / N$ 。

应用统计软件SPSS13.0对不同底质中底栖动物的物种组成进行聚类, 以对比分析不同底质中底栖动物组成的相似性。为了减少机会种对群落结构的干扰, 删除在总体中相对丰度 < 1% 的种, 但保留其中在任一底质中相对丰度 > 3% 的种, 聚类之前先对物种丰度进行对数转换即 $\lg(x+1)$, 以减少个别优势种对整个群落影响的权重, 其中连接方法和距离测度方法分别选用组间平均距离连接和Euler距离测度。应用SPSS13.0软件对样本进行2个独立样本的Mann-Whitney U 检验, 判断不同底质中单位面积的底栖动物种类组成是否存在显著差异。

2 结果

2.1 底栖动物密度和多样性比较

2次采样计算得到的不同底质的动物密度和生物量以及多样性指数值 S 、 H 、 B 和 d_M 见表1。

表1 两次采样不同底质中底栖动物的相关生物指数值

采样	底质类型	密度 D /(个·m ⁻²)	生物量/(g·m ⁻²)	物种丰度 S	H	B	d_M
第1次	大卵石	752	16.4	22	2.37	14.1	3.54
	片砾石	800	21.5	20	2.13	12.8	3.17
	小卵石	900	52.2	29	2.26	15.4	4.12
	粗沙	898	46.9	18	1.86	11.3	2.78
	细沙	86	18.2	6	1.41	5.30	1.33
第2次	大卵石	492	5.48	20	1.21	7.47	3.07
	片砾石	534	4.39	21	1.70	10.7	3.18
	小卵石	455	15.8	24	2.40	14.7	3.76
	粗沙	289	11.8	11	1.57	8.89	1.76
	细沙	288	25.5	9	1.42	8.03	1.41

2次采样相比, 细沙中动物密度增加(+234.9%), 其他4种底质中的动物密度均降低, 片砾石(-33.3%)和大卵石(-34.6%)的降低幅度要较小卵石(-49.3%)和粗沙(-67.8%)的小。从表1也可看出, 片砾石和大卵石底质中的物种丰度变化亦不大, 说明底栖动物群落组成在这2种底质中较稳定, 大粒径底质能更好地保护底栖动物免受外界因素的干扰。将2次采样各底质中的底栖动物密度取平均(图1)可以看出, 5种底质中底栖动物密度的大小顺序为小卵石 > 片砾石 > 大卵石 > 粗沙 >

细沙, 其中大卵石、小卵石和片砾石3种底质中的密度差别不大, 粗沙中的密度较以上3种底质低, 细沙中的最低。

一般来说, 丰富度越大, 多样性越高^[5]。用每种底质2次采样所采集到的种类数代表该底质的物种丰度, 不同底质对应的物种丰度对比见图1。第2次采样大卵石和片砾石的多样性指数 H 和 B 值均较低, 主要是由于扁蜉科(Hep tageniidae)幼虫占了很大优势造成均匀度较低所致, 但综合物种丰度和生物密度可以肯定的是, 大卵石和片砾石中的生物多

样性明显高于粗沙和细沙。综上所述可以看出, 小卵石中的生物多样性最高, 其次为大卵石和片砾石, 粗沙较低, 细沙最低。

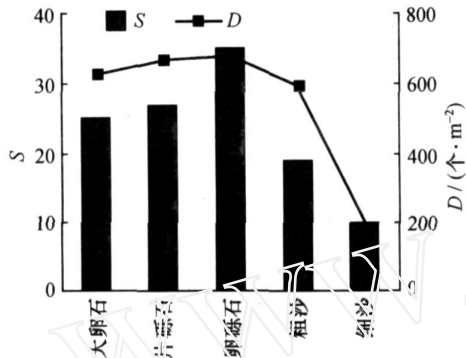


图1 不同试验底质中底栖动物的物种丰度和密度对比

2.2 底栖动物群落组成比较

将2次采样大卵石和片砾石中每种类群所占总数比例(η)绘制成图2。从图2可以看出, 这2种底质中底栖动物物种组成表现出一致的变化趋势, 如, 腹足纲所占比例均降低2/3左右, 分别降低68.8%和61.1%; 蜉蝣目稚虫所占比例分别增加98.8%和101.0%, 均约增加1倍。第1次采样大卵石和片砾石中优势种群均主要为占总数一半左右的腹足纲(Gastropoda), 其次均为蜉蝣目稚虫(Ephemeroptera), 其他类群所占比例也基本相当。

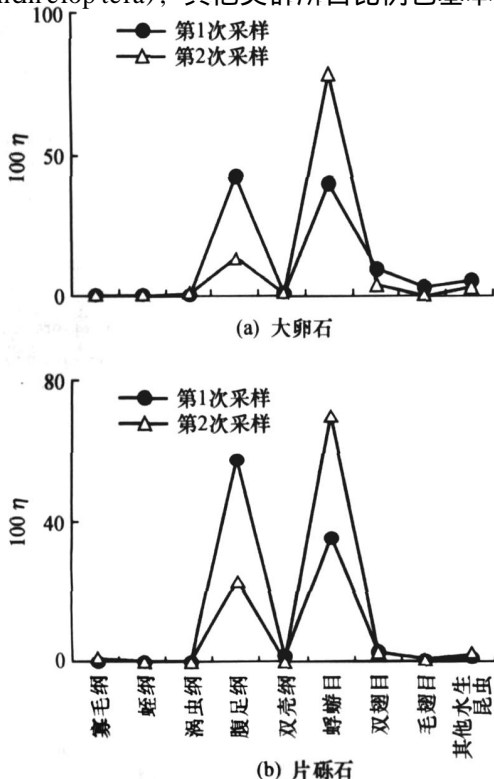


图2 两次采样各底栖类群占总数比例 η 的变化情况

第2次采样2种底质中的蜉蝣目稚虫均跃居为主要的优势类群, 腹足纲退居其次, 其他类群所占比例均变化不大。聚类分析中, Euler距离越小表示两者相似性越大。当选择Euler距离度量值为5时, 第1次采样5种底质中的动物组成可分为3类: 第1类为小卵石、片砾石和大卵石; 第2类为粗沙; 第3类为细沙。同样地, 当度量值为5时第2次采样5种底质中的动物组成也可分为3类: 第1类为大卵石和片砾石; 第2类为小卵石; 第3类为粗沙和细沙。可以发现, 2次采样大卵石和片砾石均聚为一类, 且聚类距离很近, 说明这2种底质中的底栖动物物种组成很相似。

粗沙中的优势类群主要为蜉蝣目、腹足纲和蛭类, 细沙中的优势类群与粗沙中相同, 但与粗沙相比, 蜉蝣目在细沙中的优势地位要弱于腹足纲和蛭类, 蜉蝣目所占比例也较粗沙中低。除蜉蝣目稚虫外的其他水生昆虫在2次采样的粗沙中仍占有一定比例(大于10%), 而在细沙中的比例却非常低(尚不足2.5%)。细沙中水生昆虫物种丰度和密度低与细沙粒径小有关, 细沙空隙小, 从而为底栖动物创造的活动空间小, 对底栖动物不利, 使得物种组成更单一。与其他4种底质相比, 小卵石中蜉蝣目和腹足纲仍然是优势类群, 但除优势类群外其他类群的分布要较其他4种底质更均匀, 物种组成也更加多样化。

非参数检验结果显示, 小卵石、大卵石和片砾石三者之间底栖动物组成差异不显著($P > 0.05$), 其中大卵石与片砾石差异最不显著($P > 0.05$); 粗沙与大卵石和片砾石动物组成差异不显著, 与小卵石的差异由不显著($P > 0.05$)变为显著($P < 0.05$); 由于苔藓和水藻的生长, 细沙与大卵石、小卵石和片砾石的差异均由极显著($P < 0.01$)变为显著($P < 0.05$), 细沙与粗沙的差异由显著($P < 0.05$)变为不显著($P > 0.05$)。由于多种底栖类群对小卵石的偏好使得小卵石中动物组成更加多样, 从而加大了与粗沙动物组成的差异。大卵石与片砾石的动物组成差异最不显著也进一步说明了这2种底质中的底栖动物组成之间存在很大的相似性。

3 讨论

3.1 底质粒径大小对底栖动物的影响

底栖动物的多样性随底质粒径的变化而发生明显的增减。沙质河床对底栖动物最不利, 其对应的生物多样性最低, 大卵石和片砾石中的生物多样性较高, 小卵石中的生物多样性最高。且不同粒径大小的

底质中底栖动物组成及其优势种群也不同。大卵石等大粒径的河床底质结构稳定,能更好地保护底栖动物免受外界干扰,底栖动物种类组成在大卵石和片砾石中较稳定。这是由于大卵石和片砾石中存在的大量稳定空隙为底栖动物提供了稳定且多样的避难和栖息场所所致,底栖动物可以栖于石块间隙或底部躲避外界环境的扰动。

3.2 底质空隙大小和孔隙率对底栖动物的影响

与大卵石相比,2次采样小卵石中的生物多样性更高,与Alexander和Allan^[5]的研究结果一致。他们发现底栖动物在松散的小卵石中比在松散的大卵石中物种更丰富,2种底质相比颗粒空隙均较大,均可为底栖动物提供广阔适宜的栖息空间,但同等体积条件下小卵石的孔隙率要高于大卵石,因此小卵石可为动物提供更丰富的小生境,使得生活在其中的底栖类群要比大卵石中更多样。若以 L 代表空隙大小, e 代表孔隙率,则物种丰度 S 与 L 、 e 之间的关系可用下式表示: $S = f(L, e) = aL^m e^n$,其中 a 、 m 、 n 均大于0,即底栖动物的多样性与空隙大小和孔隙率均成正相关关系。河床底质的粒间空隙越大对底栖动物越有利,反之则越不利。在粒间空隙大小适宜的条件下,孔隙率越高对生活在其中的底栖动物越有利。当二者共同作用创造的底质异质性越大时,生物多样性也越高。小卵石综合了空隙大小适宜且孔隙率较高两方面优势,使得小卵石中的生物多样性要较其他底质中的高。

3.3 底质粗糙度和外观形状对底栖动物的影响

2次采样相比大卵石和片砾石中的底栖类群组成表现出一致的变化趋势,物种组成也非常相似。Emman和Emman^[6]研究发现,糙度高的岩石比糙度低的岩石更易被更多数量的底栖动物占居生存,对物种数影响不大,但Downes等^[7]试验研究发现,表面粗糙的底质比光滑的底质中物种更丰富。本试验2次采样片砾石中的动物密度均略高于大卵石,但不显著,二者的物种丰度无明显差异。试验选取的大卵石表面虽相对光滑但也存在一定量的小型凹穴,因此与片砾石相比,二者的糙度对比不十分显著,导致试验结果没有前人研究结果来得明显。综上所述,试验底质的表面糙度和外观形状对底栖类群组成和密度方面影响不大,对物种丰度没有影响。

4 结论

底质的颗粒粒径、孔隙率和空隙大小对底栖动物群落组成均影响显著。生物多样性在小卵石中最高,大卵石和片砾石中较高且二者基本相当,粗沙中较低,细沙中最低。不同粒径的底质中底栖动物组成及优势类群亦不同。底栖动物组成及多样性受到底质空隙大小和孔隙率耦合作用的影响,当二者共同创造的底质异质性越大时,生物多样性越高。大卵石和片砾石中的底栖动物组成非常相似,变化趋势表现一致,底质的外观形状和表面糙度对底栖动物群落组成和密度影响不大。底栖动物群在大卵石和片砾石中物种组成比较稳定,结构稳定的大粒径底质能更好地保护底栖动物免受外界干扰。

致谢 本次野外试验得到了陈根发同学、王费新博士、黄文典博士、施文婧同学和赵献忠师傅等的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- [1] Reice S R. Experimental disturbance and the maintenance of species diversity in a stream community [J]. *Oecologia*, 1985, 67(1): 90 - 97.
- [2] 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 [J]. *Hydrobiologia*, 1991, 213: 141 - 148.
- [3] Beisel J N, Ussaglio-Polatera P, Thomas S, et al. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 389: 73 - 88.
- [4] 王兆印,程东升,何易平,等.西南山区河流阶梯-深潭系列的生态学研究[J].地球科学进展,2006,21(4):409-416
WANG Zhaoyin, CHENG Dongsheng, HE Yiping, et al. A study on the ecological functions of step-pool system in mountain streams [J]. *Advance in Earth Science*, 2006, 21(4): 409 - 416 (in Chinese)
- [5] Alexander S F, Allan J D. The importance of predation, substrate and spatial refugia in determining lotic insect distributions [J]. *Oecologia*, 1984, 64(3): 306 - 313.
- [6] Emman D C, Emman N A. The response of stream invertebrates to substrate size and heterogeneity [J]. *Hydrobiologia*, 1984, 108: 75 - 82.
- [7] Downes B J, Lake P S, Schreiber E S G, et al. Habitat structure, resources and diversity: The separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates [J]. *Oecologia*, 2000, 123: 569 - 581.