

· 解析评价 ·

城镇化对西苕溪大型底栖动物群落的影响

俞建¹, 于海燕¹, 丁宁², 韩鸣花²

(1. 浙江省环境监测中心, 浙江 杭州 310012; 2. 南京农业大学, 江苏 南京 210095)

摘要:于2004—2010年5月对西苕溪流域20个参照点, 5个中度干扰点以及2个重度干扰点的底栖动物进行了调查, 共鉴定出74科190属226个种; 受干扰后, 底栖动物群落物种丰富度、EPT物种丰富度、Shannon-wiener多样性指数和B-IBI指数显著下降, BI指数显著升高。CCA分析结果表明, 参照、中度和重点干扰样点的底栖动物群落差异明显。城镇化引起的溪流水温上升、营养盐升高、泥沙输入量增多和堤岸固化是导致溪流底栖动物群落退化的主要原因。

关键词:生物多样性; 大型底栖无脊椎动物; 城镇化; 西苕溪流域

中图分类号: 826

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2016)06-0045-04

Influence of Urbanization on Benthic Macroinvertebrate in Xitiaozi Watershed

YU Jian¹, YU Hai-yan¹, DING Ning², HAN Ming-hua²

(1. Zhejiang Environmental Monitoring Center, Hangzhou, Zhejiang 310012, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: Urbanization is of great impact on stream ecosystem health. We sampled 20 reference sites, 5 moderately disturbed sites and 2 heavily disturbed sites in May from 2004 and 2010 in Xitiaozi watershed. We identified a total of 226 species which belonged to 190 genera and 74 families. We found significant decrease in taxa richness of benthic macroinvertebrate, EPT taxa richness, Shannon-Wiener diversity index and B-IBI index in disturbed sites, and a significant increase of BI index. Canonical Correspondence Analysis (CCA) well separated the benthic macroinvertebrate communities of the reference, moderately and heavily disturbed sites. The urbanization related factors, such as water temperature increase, nutrients enrichment, high load of fine sediments and bank stabilization greatly contributed to the decline of benthic macroinvertebrae diversity.

Key words: Biodiversity; Benthic macroinvertebrate; Urbanization; Xitiaozi watershed

城镇化过程导致溪流生态系统功能退化在我国普遍存在。城镇化改变了溪流附近的土地利用类型, 从点源和面源层次上增加了进入溪流的污染物^[1]。城镇工业废水与生活污水(如洗涤剂、粪便等)排放造成的集中点源污染化在目前各类污染源中最普遍, 也是当前城市河流黑臭的主要原因。

溪流大型底栖无脊椎动物是在水质生物评价和水生态系统健康评价中应用最广泛的指示生物, 城镇化引起的溪流生物多样性的下降是个复杂的过程, 其对城镇化的响应是多种机制共同作用的结果^[2]。单独研究某个环境因子不足以充分反映城镇化对溪流生物多样性的影响。只有通过研究不同干扰程度下的溪流内底栖动物群落特征, 底栖动物与河道内物理生境、水质、流速和流量等环境因子间的关系, 才能科学地说明城镇化对溪流大型

底栖无脊椎动物多样性的影响及可能的机制。现于2004—2010年5月对西苕溪中上游流域底栖动物进行了调查。

1 研究方法

1.1 样点设定

西苕溪中上游流域位于东经119°14'—120°29', 北纬30°23'—31°11', 布设27个采样点, 进行底栖动物和水环境数据的野外采集, 见图1。

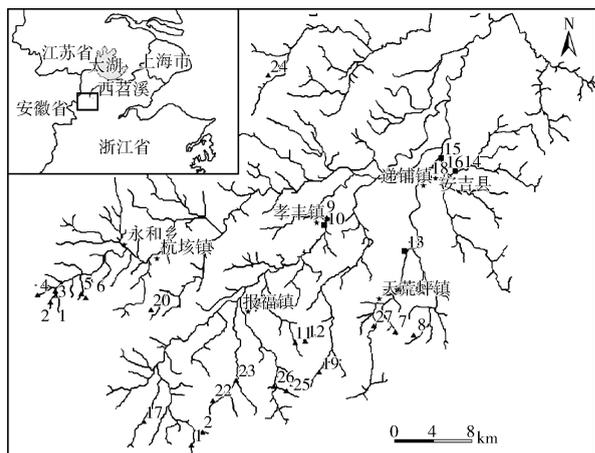
根据样点上游流域内的森林覆盖率, 居民地利用率, 农田利用率, 并结合实地考察^[3], 考虑其上游没有水利发电站等的影响, 制定参照点标准, 见

收稿日期: 2016-08-12; 修订日期: 2016-08-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30840345)

作者简介: 俞建(1974—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事生态环境保护工作。

表1. 采样点包括20个参照点,5个中度干扰点和2个重点干扰点。中度干扰样点位于城市以及城市边缘区域,采样点上游约100 m处均建有溢流式低坝(2~3 m),受到一定的城镇化干扰;重度干扰样点位于城市中心,2岸严重渠道化,周围河岸带完全退化且有明显和大量的居民生活污水等排入,水体有异味。



▲参照点位;■中度干扰点位;●重度干扰点位。

图1 西苕溪样点分布

表1 确定参照点环境参数标准

环境参数	参数值
田地土地利用率/%	<6
居民土地利用率/%	<0.2
森林覆盖率/%	>90
栖境指数	>75

1.2 底栖动物采集

在100 m长的采样区域内,选取5个样点^[3],包括3个急流样点和2个缓流样点,用索伯网(40目纱,0.093 m²)采集,采样总面积为0.465 m²。所采标本直接在野外用40目铜筛筛选,并用5%~10%的福尔马林液固定后带回实验室鉴定。标本一般鉴定到属或种,并记录每个分类单元(属、种)的个体数。

1.3 水体理化指标测定

DO、电导率、pH值和温度用HANNA水质检测仪(HI98129、HI9147)现场测定。按文献[4]采集水样带回实验室测定,TN采用紫外分光光度法、TP采用钼蓝法、COD采用高锰酸钾法^[5]测定。

1.4 栖境指标的测定

参考Barbour等的方法^[6]对底质进行测量。

参照Hauer等的方法^[7],在100 m的河段内,平均设5个断面,测量宽度取平均值。同时将每个断面分成不同间隔(每个间隔的宽度不得>3 m)测量深度。用数字杆式流速计测定流速,在每个间隔内测量水体流速。

1.5 数据处理与分析

试验共计算了7个多样性指数:总物种丰富度(Total taxa richness)、EPT物种丰富度(EPT taxa richness)、优势度指数(Simpson index)、多样性指数(Shannon-Wiener index)、均匀度指数(Pielou index)、BI指数(Biotic index)、B-IBI指数(Benthic index of biotic integrity)^[7]。数据采用Excel 2003进行整理。采用SPSS 18.0统计软件,利用最小显著性差异(LSD)多重比较方法分析。大型底栖动物群落与环境因子之间的关系采用CCA分析,在Canoco for Windows 4.53软件中完成。

2 结果分析

2.1 城镇化强度和水质理化指标

重度干扰溪流所在流域内的不透水地表面积比56%远高于中度干扰溪流8%,而参照溪流则没有,见表2。森林用地89%百分比重度干扰溪流最小仅为1%,中度干扰溪流的农田用地百分比是重度干扰溪流的2倍多。另外,中度干扰溪流的TN、TP、COD和温度要高于参照溪流,重度干扰溪流的TN、TP、COD也明显高于中度干扰溪流。

表2 不同干扰类型溪流的理化性质^①

参数	参照溪流	中度干扰溪流	重度干扰溪流
COD	1.27 ± 0.36	2.78 ± 1.36	8.33 ± 3.15
TN	1.45 ± 0.71	2.28 ± 1.26	9.12 ± 4.79
TP	0.04 ± 0.02	0.11 ± 0.10	0.67 ± 0.35
DO	6.75 ± 4.12	5.15 ± 3.43	3.02 ± 2.08
水温	14.58 ± 7.01	19.73 ± 7.33	22.22 ± 8.7
不透水地表面积/%	0	8 ± 3.2	56 ± 7.1
森林用地百分比/%	98 ± 1.2	34 ± 18.2	21 ± 9.6
农田用地百分比/%	2 ± 0.6	56 ± 15.8	23 ± 10.2

①平均值 ± 标准差。

2.2 底栖无脊椎动物群落组成

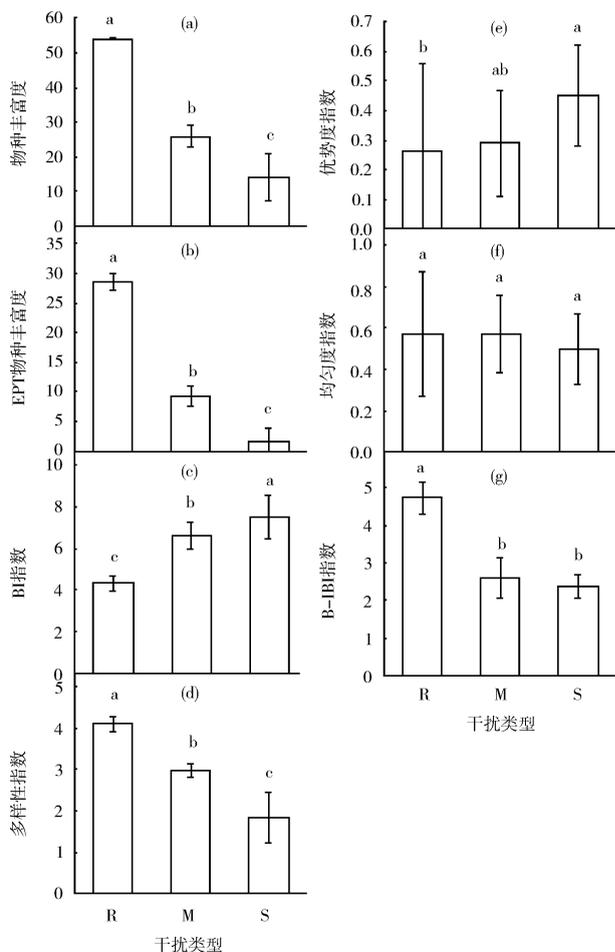
共采集到4门7纲74科190属226个分类单元。其中昆虫纲和甲壳纲共10目66科共214种,在所有底栖动物种类中占的比例最大。昆虫纲中蜉蝣目为优势目,包括12科27属44种,占有昆虫纲种类的21.26%,蜉蝣目中优势科为四节蜉科

和细裳蜉科, 优势属为四节蜉属和宽基蜉属。

2.3 城镇干扰与参照溪流底栖动物群落结构比较

参照溪流与中度干扰溪流的 Simpson 优势度指数和均匀度指数差异不显著, 见图 2(a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)。

由图 2 可见, 参照溪流的物种丰富度、EPT 物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、B-IBI 指数显著高于中度干扰溪流。参照溪流的 BI 指数显著低于中度干扰溪流。



R—参照溪流; M—中度干扰溪流; S—重度干扰溪流。

图 2 不同干扰类型下群落参数的多重比较结果

参照与重度干扰溪流除均匀度指数没有显著差异外, 其他群落参数均有显著差异。参照溪流的物种丰富度、EPT 物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、B-IBI 指数均显著高于重度干扰溪流。Simpson 优势度指数、BI 指数, 参照溪流显著低于重度干扰溪流。

中度干扰溪流与重度干扰溪流的 Simpson 优

势度指数、Pielou 均匀度指数、B-IBI 指数没有显著差异。重度干扰溪流的物种丰富度、EPT 物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数显著低于中度干扰溪流, BI 指数显著高于中度干扰溪流。

2.4 底栖动物群落结构与环境因子的 CCA 分析

选择了 14 个环境因子, 分别为: COD、TN、TP、温度、pH 值、DO、电导率、海拔、流速、森林用地百分比、沙和淤泥百分比、砾石百分比、卵石百分比、大石块百分比, 与物种组成进行 CCA 分析。通过手动筛选去除了一些无效的变量 ($p > 0.05$)。最终 7 个环境变量: 海拔、大石块百分比、沙和淤泥百分比、TN、DO、温度和 pH 值进入下一步分析。

CCA 排序结果表明, 海拔的相关性与第 1 轴的关系最大, 相关系数高达 0.86, 且为负相关。大石块百分比与第 1 轴显著负相关, 相关系数为 0.67。沙和淤泥百分比与第 2 轴显著相关, 相关系数为 0.60。TN 与第 2 轴显著正相关, 相关系数为 0.56。DO 与第 3 轴显著正相关, 相关系数为 0.64, 表 3。

表 3 环境因子与 CCA 排序轴之间的相关系数

环境因子	AX1	AX2	AX3
海拔	-0.86	0.31	0.03
大石块百分比	-0.67	0.30	0.00
沙和淤泥百分比	0.51	0.60	0.22
TN	0.48	0.56	0.40
温度	0.37	-0.19	0.00
DO	-0.30	-0.26	0.64
pH 值	0.22	-0.24	-0.04

CCA 排序的结果表明, 参照点、中度干扰和重度干扰样点能很好地区分。参照样点组有较高的海拔和水体 DO, 以及较低的营养盐 (TN 和 TP)。中度干扰样点组与温度、pH 值相关性较大, 主要是中度干扰样点组上游均建有低坝, 坝下游水体的温度受上游水坝影响, 变化较明显。此样点组受城镇化干扰强度较重度干扰样点组小, TN 和 TP 低于重度干扰溪流; 总物种丰富度、EPT 物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数显著高于重度干扰溪流。

重度干扰样点组与 TN、沙和淤泥百分比高度相关。重度干扰样点组是受城镇化高度干扰的溪流, 堤岸严重渠道化, 生活污水直接排入, 导致 TN 显著上升 (9.12 ± 4.79), 底质几乎全部淤泥化。重度干扰样点组的大型底栖动物种类最少, 均以耐污的摇蚊和水丝蚓为主。

3 讨论

研究发现,受城镇化干扰样点溪流由于土地利用改变、水坝建造、生活垃圾污染等影响,导致周围植被覆盖度降低,溪流底质多样性退化,使得水体中 TN、TP、COD、电导率明显上升,而水体中的 DO 值明显下降,水生生态系统功能稳定性和完整性受到损害,底栖动物的群落生物多样性和完整性逐渐降低^[9]。参照溪流物种丰富度、EPT 物种丰富度、多样性指数、B - IBI 指数最高,中度干扰溪流其次,重度干扰溪流最低。受人为干扰程度越大,BI 指数越高。当干扰到一定程度时,敏感物种逐渐消失,某些耐污种增多,优势度指数上升。

CCA 分析表明,海拔、底质中大石块百分比、沙和淤泥百分比以及水体中的 TN、DO 等指标对西苕溪大型底栖无脊椎动物的分布作用比较大,这与 Pearson 相关性分析的结果是类似的。7 个环境因子变量解释了 27.4% 的大型底栖动物群落结构变化。城镇化对溪流生态系统的影响是多种因子(水流、污染物和物理栖境改变)共同作用的结果^[10-11]。很难隔离单独一个因子的影响。这些因子的综合作用产生了环境因子的梯度变化,在生物群落影响之间,通过敏感种类的减少,耐污种类的增加,物种丰富度减少,导致群落多样性的显著减少,群落结构完整性的显著下降。

对照 CAA 分析结果以及国外有关城镇化对溪流生态系统影响机制的研究结果,分析本实验所调查的城镇化对溪流底栖动物多样性的可能机制:(1) 大石块百分比显著下降,底质多样性下降,溪流底部的沉积物增多,淤泥化现象明显,适宜在大石块、卵石等生活的底栖动物多样性下降,适合在细软淤泥中生活的水丝蚓、摇蚊大量发生^[12-13];(2) 城镇化发展产生的重金属污染物和水中可溶性 TN、TP 的增多,直接导致对水质较为敏感的底栖动物如 EPT 昆虫大幅度减少^[14-15];(3) 河畔林的砍伐改变了进入溪流的外来能源(落叶的种类和数量),使以外来能源为主的底栖动物多样性下降^[7],底栖动物群落结构尤其是优势种发生改变。因此,控制水体养分的浓度、增加溶解氧和减少水体电导率是维持城镇溪流生态系统的正常结构和生态功能以及保护和恢复大型底栖无脊椎动物多样性可行手段之一^[16],当然应当结合其他环境因子,例如保持周边生境的完整性、增加河岸带植被的荫庇度等来恢复和保护溪流生态系统的

健康以及完整^[7,17],以此维持水生生物尤其是大型底栖无脊椎动物的多样性。

[参考文献]

- [1] RESH V H, BROWN A V, COVICH A P, et al. The role of disturbance in stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1988, 5(4): 433 - 455.
- [2] KARR J R. Biologic integrity: A Long - neglected aspect of water resource management[J]. Ecological Applications, 1991, 1(1): 66 - 84.
- [3] ODE P R, REHN A C, MAY J T. A Quantitative tool for assessing the integrity of southern coastal california streams[J]. Environmental Management, 2005, 35(4): 493 - 504.
- [4] 蒋燕敏. 《地表水环境质量标准》修订后引发的思考[J]. 仪器仪表与分析监测, 2003(2): 43 - 44.
- [5] 刘鸿亮. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [6] BARBOUR M T, GERRITSEN J. Subsampling of benthic samples: A defense of the fixed-count method[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1996, 15(3): 386 - 391.
- [7] 李强, 杨莲芳, 吴泉, 等. 底栖动物完整性指数评价西苕溪流健康[J]. 环境科学, 2007, 28(9): 2141 - 2147.
- [8] R H F, A L G. Methods in stream ecology[M]. Academic Press, 2006.
- [9] POFF N L, HART D D. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal[J]. Bioscience, 2002, 52(8): 659 - 668.
- [10] SPRAGUE L A, ZUellig R E, A D J. Effects of urban development on stream ecosystems along the front range of the rocky mountains, colorado and wyoming [J]. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 2006: 134 - 145.
- [11] HELMS B S, FEMINELLA J W, PAN S. Detection of biotic responses to urbanization using fish assemblages from small streams of western Georgia, USA[J]. Urban Ecosystems, 2005, 8(1): 39 - 57.
- [12] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003(11): 1 - 6.
- [13] 段学花, 王兆印, 程东升. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性[J]. 生态学报, 2007, 27(04): 1664 - 1672.
- [14] PAGLIOSA P R. Assessing the environment - benthic fauna coupling in protected and urban areas of southern Brazil[J]. Biological Conservation, 2006, 129(3): 408 - 417.
- [15] PAUL M J, MEYER J L. Streams in the Urban Landscape[J]. Urban Ecology, 2015, 32(1): 207 - 231.
- [16] 徐东炯, 张咏, 徐恒省. 水环境生物监测的发展方向核心技术[J]. 环境监控与预警, 2013, 5(6): 9 - 11.
- [17] 毕军, 曲常胜, 黄蕾. 中国环境风险预警趋势[J]. 环境监控与预警, 2009, 1(1): 1 - 5.