

大型底栖动物定量和定性采样方法的对比分析

杨柳, 汪祖茂, 吴忠诚, 韩瑜, 王立硕, 吴秋燕 (中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘要 [目的]对比定量和定性采样方法的差异,为进行大型底栖动物的采样提供理论基础。[方法]2011年10月采用定量采样的彼得逊采泥器和定性采样的D型手网对温榆河流域大型底栖动物进行采样,并分析该2种采样方法大型底栖动物各自物种组成、优势种、密度和生物量。[结果]定量和定性采样方法均采集到28种大型底栖动物,有16种相同物种。定性采样中大型底栖动物的密度为7 377 ind/m²,大于定量采样中大型底栖动物的密度(6 309 ind/m²)。[结论]在定量采样的同时加入定性的采样方法能够更有效进行大型底栖动物群落的研究和评估。

关键词 温榆河;大型底栖动物;定量;定性

中图分类号 S271;Q958.8 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)24-10002-03

Macrobenthos Quantitative and Qualitative Comparative Analysis of Sampling Methods

YANG Liu et al (School of Earth Science and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083)

Abstract [Objective] To compare differences of quantitative and qualitative sampling methods and provide theoretical basis for sampling of macrobenthos. [Method] In October 2011, the quantitative sampling Peterson grab and qualitative sampling D-frame net were used to collect macrobenthos in Wenyu River, and comparatively analyzed macrobenthos species composition, dominant species, density and biomass. [Result] Both quantitative and qualitative sampling methods were adopted to collect 28 species of macrobenthos, and 16 kinds of the same species. The qualitative sampling macrobenthos density was 7 377 ind/m² which was greater than the quantitative sampling macrobenthos density 6 309 ind. m². [Conclusion] Combined quantitative and qualitative sampling methods would be more effectively for carrying out macrobenthos community research and evaluation.

Key words Wenyu River; Macrobenthos; Quantitative; Qualitative

大型底栖动物(Macrozoobenthos)是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部且不能通过0.5 mm(40目)孔径筛网的水生动物类群,主要由环节动物(水栖寡毛类、蛙类)、软体动物(螺类、蚌类)、线形动物(线虫)、扁形动物(涡虫)、节肢动物(甲壳纲、昆虫纲等)组成^[1]。大型底栖动物在水生态系统中具有极其重要的生态学作用:降解水体中的植被凋落物^[2]、牧食水体中的藻类^[3]、底层区鱼类的重要食物来源^[4],同时作为指示物种应用于水质环境监测和评价^[5-8]。随着对水生态系统了解的深入,大型底栖动物的采样方法也越来越细致,使用的工具越来越多样^[9]。笔者采用2011年10月温榆河大型底栖动物定量和定性采样方法的数据,对不同采样方法进行比较,了解不同采样方法之间的差异,以期为该地区更有效地进行大型底栖动物的采样提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况 温榆河,又称北京市的“母亲河”,发源于北京燕山南麓,属于北运河水系,是北京市五大水系中唯一发源于境内且常年有水的河流^[10],流经海淀、昌平、顺义、朝阳、通州5区,在通州区北关拦河闸入北运河,经通州区杨洼闸进入河北省。温榆河主要支流有7条,东沙河、南沙河和北沙河3条支流在昌平区沙河镇汇集于沙河闸形成沙河水库,沙河闸以上为温榆河上游,沙河闸至鲁瞳闸之间有蔺沟汇入,鲁瞳闸以下为温榆河下段,鲁瞳闸至北关闸之间依次有清河、坝河、小中河等支流,全长47.5 km,流域面积2 478 km²^[11]。

1.2 采样点的设置 于2011年10月沿温榆河从上至下依

次布设了22个采样点,上游11个采样点:温泉桥(s1)、前沙涧桥(s2)、稻香湖(s3)、上庄水库(s4)、南沙河桥(s6)、北沙河桥北(s7)、北沙河桥(s8)、响潭水库(s9)、羊台子东(s10)、羊台子西(s11)、羊台子混合(s12);中游7个采样点:沙河水库(s5)、南庄水库(s13)、肖村桥(s14)、沙沟桥东(s15)、秦屯河(s16)、沙沟桥西(s17)、土沟村桥(s18);下游4个采样点:辛堡闸(s19)、清河(s20)、小中河(s21)、尹各庄桥(s22)。各采样点分布见图1^[12]。

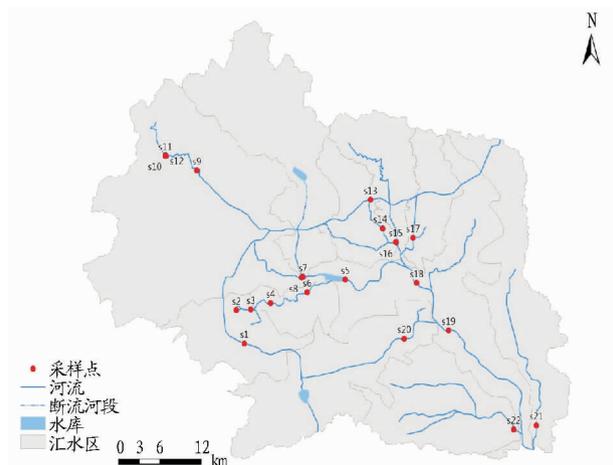


图1 温榆河流域水系及采样点分布

1.3 采样方法

1.3.1 定量标本采集.采用改良的彼得逊采泥器(有效采集面积为1/16 m²)进行样本采集。以采样点(浅于1 m深的河岸区)为中心,在长度约30 m的采样断面内选择不同生境类型,每个采样点进行3次有效采样(即在由于石块、树枝等杂物的妨碍使得采泥器无法有效合拢而出现泥样洒漏的情况下,必须进行重新采样)。所采集泥样经40目筛网滤洗

基金项目 国家自然科学基金项目(40901295);北京市财政资金支持项目(PXM2012-178203-000001)。

作者简介 杨柳(1978-),女,辽宁铁岭人,副教授,博士,从事城市水环境和河流生态研究,E-mail: zumaw@163.com。

收稿日期 2013-07-15

后,置于白瓷盘中进行挑拣,挑拣出来的大型底栖动物标本放入 50 ml 标本瓶中,并加入 75% 的福尔马林溶液溶液固定,然后带回实验室鉴定。用滤纸吸去标本表面的固定液,置于精度为 0.001 的电子天平上进行称重,计算单位面积的生物密度和生物量(以鲜重计)。

1.3.2 定性标本采集。将 40 目网径的 D 形手网放置于准备采样的河底,使 D 形手网的直边(0.3 m)紧贴河流底部,减少大型底栖动物随流水从网下方的损失。向前移动 D 形手网使大型底栖动物随着搅动和流水的冲刷进入 D 形手网内,采集 3 个小样方,总面积约为 1 m²。后续泥样处理同“1.3.1”中定量采集的方法。

1.4 数据统计与分析 按照以下公式计算各采样方法采集的大型底栖动物物种数、栖息密度、生物量和相对重要性指数:

$$\text{密度}(\text{ind}/\text{m}^2) = \text{样品中生物总数量}(\text{个})/\text{采样面积}(\text{m}^2) \quad (1)$$

$$\text{生物量}(\text{g}/\text{m}^2) = \text{样品中生物总重量}(\text{g})/\text{采样面积}(\text{m}^2) \quad (2)$$

$$\text{相对重要性指数 } IRI = (W + N') \times f_i \quad (3)$$

式中, W 为某一种群大型底栖动物的生物量占总生物量的百分比; N' 为某一种群的大型底栖动物的丰度占总丰度的百分比; f_i 为该种群的出现频率^[13]。

2 结果与分析

2.1 物种组成及优势种 对温榆河采用彼得逊采泥器(有效采集面积为 1/16 m²)定量采集和 D 型手网定性采集所获得的大型底栖动物样品进行鉴定、分类与统计。从表 1 可以看出,2011 年 10 月定量和定性采样方法所采集到的大型底

栖动物均为 28 种。其中,定量采样中环节动物 6 种,占 21.43%;节肢动物 18 种,占 64.29%;软体动物 4 种,占 14.28%。定性采样中环节动物 4 种,占 14.28%;节肢动物 22 种,占 78.57%;软体动物 2 种,占 7.15%。定量和定性采样中环节动物有 4 种物种相同,节肢动物中有 11 种物种相同,环节动物中相同物种仅有 1 种,2 种不同采样方法所采集到的大型底栖动物的相同物种有 16 种,相似度为 57.14%。从大型底栖动物各类群落所占比重来看,定量采样能够更均衡地反映研究区大型底栖动物的群落结构,定性采样是定量采样物种组成研究的有力补充。根据程济生与韩洁等的方法^[14-15],将相对重要性指数值(IRI)大于 1 000 的大型底栖动物确定为优势种,定量采样中的优势种为苏氏尾鳃蚓($IRI = 1\ 358.537$),定性采样中的优势种为猛摇蚊($IRI = 1\ 328.108$); IRI 值在 1 000 ~ 100 的为常见种,定量采样中的常见种为霍甫水丝蚓($IRI = 931.586$)、猛摇蚊($IRI = 327.796$)、溪流摇蚊($IRI = 254.383$)、黄色羽摇蚊($IRI = 162.129$)、河蚬($IRI = 159.702$)、拉氏蚬($IRI = 138.396$)和浅白雕翅摇蚊($IRI = 111.305$),定性采样中的常见种为苍白摇蚊($IRI = 531.229$)、浅白雕翅摇蚊($IRI = 237.381$)、宽腹蜻($IRI = 222.637$)、霍甫水丝蚓($IRI = 153.679$)、黄色羽摇蚊($IRI = 126.475$)、苏氏尾鳃蚓($IRI = 114.464$)和虻($IRI = 107.028$)。颤蚓科和摇蚊科通常出现于重污染区^[16],温榆河 50% 河段处于较差和极差状态^[12],这与此次研究中定量采样以颤蚓科中的苏氏尾鳃蚓和定性采样中以摇蚊科中的猛摇蚊为优势种的结果相符。

表 1 温榆河 2 种不同采样方法采集的大型底栖动物的种类与相对重要值

采样方法	门名	种类	IRI 值
彼得逊采泥器	环节动物	八目石蛭 <i>Herpobdella octoculata</i>	3.469
		巴蛭 <i>Barbronia</i> sp.	23.448
		霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	931.586
		克拉伯水丝蚓 <i>L. clapedianus</i>	10.762
		苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	1 358.537
		中华颤蚓 <i>Tubifex sinicus</i>	3.841
	节肢动物	苍白摇蚊 <i>Chironomus pallidivittatus</i>	48.149
		东方蜉 <i>Ephemera orientalis</i>	1.318
		红裸须摇蚊 <i>Prosilocerus akamusi</i>	6.448
		黄色羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>	162.129
		灰蜻 <i>Orthetrum</i> sp.	42.682
		基费摇蚊 <i>Kiefferulus</i> sp.	19.508
		金光伪蜻 <i>Somatochlora</i> sp.	1.233
		猛摇蚊 <i>Chironomus acerbiphilus</i>	327.796
		墨黑摇蚊 <i>Chironomus anthracinus</i>	3.232
		浅白雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipus pallens</i>	111.305
		柔嫩雕翅摇蚊 <i>G. caulinellus</i>	6.527
		食蚜蝇 <i>Syrphidae</i> sp.	4.612
		台湾蜉 <i>Ephemera formosans</i>	14.269
		塘水螟 <i>Elophila</i> sp.	0.501
		溪流摇蚊 <i>Chironomus riparius</i>	254.383
		小云多足摇蚊 <i>P. nubeculosum</i>	5.429
		圆臀大蜉 <i>Anotogaster</i> sp.	5.682
		长足摇蚊 <i>Tanytus</i> sp.	0.501

接下表

续表 1

采样方法	门名	种类	IRI 值			
D 型手网	软体动物	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	159.702			
		拉氏蚬 <i>Corbicula largillierti</i>	138.396			
		卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	38.211			
		旋螺 <i>Gyraulus</i> sp.	5.226			
	环节动物	环节动物	巴蛭 <i>Barbronia</i> sp.	58.556		
			霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	153.679		
			克拉泊水丝蚓 <i>L. claparedianus</i>	41.897		
			苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	114.464		
			节肢动物	节肢动物	苍白摇蚊 <i>Chironomus pallidivittatus</i>	531.229
					刺铗长足摇蚊 <i>Tanytus punctipennis</i>	3.778
					戴春蜓 <i>Davidius</i> sp.	16.027
					黄色羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>	126.475
					基费摇蚊 <i>Kiefferulus</i> sp.	1.320
					金光伪蜻 <i>Somatochlora</i> sp.	8.489
					库蚊 <i>Culex</i> sp.	8.060
					宽腹蜻 <i>Lyriothemis</i> sp.	222.637
					虻 <i>Chrysops</i> sp.	107.028
					猛摇蚊 <i>Chironomus acerbiphilus</i>	1 328.108
					浅白雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes pallens</i>	237.381
					日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	3.415
					柔嫩雕翅摇蚊 <i>G. cauliginellus</i>	18.393
					台湾蜉 <i>Ephemera formosana</i>	6.887
					塘水螟 <i>Elophila</i> sp.	72.644
			细足米虾 <i>Caridina nilotica</i>	17.437		
			小划蜻 <i>Sigara subsriata</i>	3.052		
			小叶春蜓 <i>Gomphus</i> sp.	0.931		
			小云多足摇蚊 <i>P. nubeculosum</i>	5.488		
			圆臀大蜓 <i>Anotogaster</i> sp.	26.853		
			中华小长臂虾 <i>Palaemonetes sinensis</i>	0.940		
软体动物	软体动物	棕须长角石蛾 <i>Mystacides</i> sp.	2.582			
		卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	23.605			
		膀胱螺 <i>Physa</i> sp.	10.681			

2.2 密度和生物量 由表 2 可知,定量采样中大型底栖动物的密度和生物量分别为 6 309 和 101.301 g/m²,定性采样中大型底栖动物的密度和生物量分别为 7 377 和 91.977 g/m²。定量采样中节肢动物的密度最高,达到 3 339 ind/m²;

软体动物的生物量最大,为 50.325 g/m²。定性采样中均以节肢动物的密度和生物量为最高,分别为 6 036 ind/m² 和 49.170 g/m²。结果表明,定性采样相对定量采样能够采集到更多的大型底栖动物个体数。

表 2 温榆河不同采样方法大型底栖动物的群落组成

采样方法	环节动物		节肢动物		软体动物		合计	
	密度//ind/m ²	生物量//g/m ²						
彼得逊采泥器	2 885	24.672	3 339	26.304	85	50.325	6 309	101.301
D 型网	1 182	5.772	6 036	49.170	159	37.035	7 377	91.977

2.3 不同采样方法的比较 大型底栖动物的采样方法通常都不是固定的,不同的生境类型应当使用不同的采样工具,从而能够最有效地进行大型底栖动物群落的研究和评估^[17]。对于河流大型底栖动物的监测与研究已经有了相当长的一段历史^[18]。大型底栖动物的采样方法通常会根据试验设计的不同和方法的更新而进行调整,为采样方法的比较提供了充足的数据基础^[9,19]。此次定量采样所使用的彼得逊采泥器适用于软体底质类型的河流及湖泊,其优点是可以严格控制采样的面积,缺点是操作较为复杂、相对耗时。该

次定性采样所使用的 D 形手网,适用于河流岸边、植物根垫、水草等小型栖息地环境中,其优点是能够采集到较多的类群和个体数,相对容易操作,比较经济和节时,缺点是采样面积较难控制,不适宜量化研究。因此,在进行大型底栖动物丰度/生物量比较曲线(ABC)^[20]、典范对于分析(CCA)^[21]、非度量多维标度排序(MDS)^[22]等需要定量数据做支撑的分析时,适用能够严格控制采样面积的定量采样方法。

(下转第 10030 页)

机制中的“基石”^[17]。NPQ 减少 LHCII 中¹O₂ 的生成^[18],是热耗散途径中保护光合机构的重要机制。强光胁迫下 5 月份和 10 月份的光呼吸速率随着 NPQ 的增加而增加(图 3),2 者呈正相关曲线关系,说明强光胁迫下光呼吸和热耗散 2 种不用的耗散机制同时作用于沙冬青,2 者可能都是沙冬青主要的光破坏防御机制,2 者间存在着协同关系。

(4) 饱和和亏缺反映了植物组织的水分状态及缺水程度,是植物组织抗脱水能力的重要指标^[19]。该试验中不同水分饱和和亏缺条件下,沙冬青的光呼吸速率和 NPQ 均呈不同程度的下降趋势(图 4)。光呼吸速率的初始饱和和亏缺 50.913 大于 NPQ 的饱和和亏缺 43.577,从中可以得出光呼吸在水分胁迫时对沙冬青的抗脱水能力强于 NPQ,临界点处最大值可判断沙冬青抵抗胁迫最大程度的指标,从表 1 可见,通过光呼吸抵抗胁迫的最大程度远远高于 NPQ,由临界点和临界点处最大值推断,饱和和亏缺条件下沙冬青的防御机制主要以光呼吸为主,这是保护沙冬青免遭水分胁迫的主要防御途径。

参考文献

- [1] 郭生祥,刘志银,郝昕.沙冬青的研究进展[J].甘肃林业科技,2005,30(4):5-10.
- [2] KORKMAZ A, DFAULT R J. Differential cold stress duration and frequency treatment effects on musk melon seedling and field growth and yield [J]. European Journal of Horticultural Science, 2004, 69(1): 12-20.
- [3] 戴浩,周青,叶亚新.环境因子对 C₃ 植物光呼吸生态学效应研究进展[J].中国生态农业学报,2008,16(5):1326-1330.
- [4] MURAOKA H, TANG Y H, TERASHIMA I, et al. Contribution of diffusional limitation, photoinhibition and photorespiration to midday depression of photosynthesis in *Arisaema heterophyllum* natural high light [J]. Plant

Cell and Environment, 2000, 23(3): 235-250.

- [5] KATONA E, NEIMAIS S, SCHONKNECHT G, et al. Photosystem I-dependent cyclic electron transport is important in controlling photosystem II activity in leaves under conditions of water stress [J]. Photosynthesis Research, 1992, 34: 449-469.
- [6] 郭连旺, 许大全, 沈允钢. 棉花叶片光合作用的光抑制和光呼吸的关系 [J]. 科学通报, 1995, 40(20): 1885-1888.
- [7] 贾虎森, 李德全. 水分胁迫下苹果叶片的 H₂O₂ 代谢 [J]. 植物生理学报, 2001, 27(4): 321-324.
- [8] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2226-2233.
- [9] VALENTINI R, EPON D, ANGELIS P D E, et al. In situ estimation of net CO₂ assimilation, photosynthetic electron flow and photorespiration in Turkey oak (*Q. cerris* L.) leaves: diurnal cycles under different levels of water supply [J]. Plant Cell Environ, 1995, 18: 631-640.
- [10] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论 [J]. 植物学通讯, 1999, 16(4): 444-448.
- [11] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物组织含水量测定 [M] // 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1980: 2-5.
- [12] 徐坤, 邹琦, 郑国生. 强光下姜叶片的光呼吸及叶黄素循环 [J]. 园艺学报, 2002, 29(1): 47-51.
- [13] 李朝霞, 赵世伟, 孟庆伟. 光呼吸途径及其功能 [J]. 植物学通报, 2003, 20(2): 190-197.
- [14] 刘美芹, 卢存福, 尹伟伦. 珍惜濒危植物沙冬青生物学特性及抗逆性研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(3): 384-388.
- [15] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics [J]. Annu Rev Plant Physiol Mol Biol, 1991, 42: 313-349.
- [16] FLEXAS J, MEDRANO H. Energy dissipation in C₃ plants under drought [J]. Funct Plant Biol, 2002, 29: 1209-1215.
- [17] ORT D R. When there is too much light [J]. Plant Physiol, 2001, 125: 29-32.
- [18] MULLER P, LI X, NIYOGI K K. Non-photochemical quenching: A response to excess light energy [J]. Plant Physiol, 2001, 125: 1558-1566.
- [19] 王百田, 张府娥. 黄土高原主要造林树种苗木蒸腾耗水特性 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6): 93-97.

(上接第 10004 页)

3 小结

彼得逊采泥器是一种定量的采集方法,从大型底栖动物各类群落所占比重来看,定量采样较定性采样能够更均衡地反映研究区大型底栖动物的群落结构。从 D 形手网能够采集到更多的物种个体数来看,在定量采样方法中,加入定性的采样方法具有十分重要意义,将能够更大限度地进行所研究区域的大型底栖动物类群的研究和保护。

参考文献

- [1] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [2] HERING D, KAIL J, ECKERT S, et al. Coarse woody debris quantity and distribution in Central European Streams [J]. International Review of Hydrobiology, 2000, 85(1): 5-23.
- [3] HALL R O, LIKENS G E, MALCOLM H M. Trophic basis of invertebrate production in 2 streams at the Hubbard Brook Experimental Forest [J]. Journal of The North American Benthological Society, 2001, 20: 432-447.
- [4] ENGLUND G, SARNELLE O, COOPER S D. The importance of data - selection criteria: meta - analysis of stream predation experiments [J]. Ecology, 1999, 80: 1132-1141.
- [5] SHANNON WIENER C E, WEAVER W J. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois, 1949, 117.
- [6] KARR J R, ROSSANO E R. Applying Public health lessons to protect river health [J]. Ecological Engineering, 2001, 4(1): 3-18.
- [7] 王鹏. 底栖动物评价大伙房水库源区水质的研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2679-2680.
- [8] 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): 2254-2255, 2279.
- [9] TIMM H, IVASK M, MÖLS T. Response of macroinvertebrates and water

quality to long - term decrease in organic pollution in some Estonian streams during 1990 - 1998 [J]. Hydrobiologia, 2001, 464(1/3): 153-164.

- [10] 金桂琴, 王培京, 廖日红, 等. 北京市温榆河生态需水量研究 [J]. 北京水务, 2009(6): 14-17.
- [11] 章丽萍. 温榆河微污染水质改善技术研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2009.
- [12] 杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等. 基于 B - IBI 指数的温榆河生态健康评价 [J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3313-3322.
- [13] 姚海峰, 薛巍, 邹广明, 等. 中街山列岛岩礁潮间带春季大型底栖动物的群落结构 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(17): 9282-9284.
- [14] 程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化 [J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.
- [15] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构 [J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531-537.
- [16] 段学花, 王兆印, 徐梦珍. 底栖动物与河流生态评价 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 35.
- [17] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish [M]. 2nd ed. Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [18] NAIMAN R J, BILBY R E. River ecology and management [M]. New York: Springer New York Incorporated, 2001.
- [19] KERANS B L, KARR R J. A benthic index of biotic integrity (B - IBI) for rivers of the Tennessee valley [J]. Ecological Application, 1994, 4: 768-785.
- [20] 魏永杰, 张海波, 蔡燕红, 等. 象山港潮间带大型底栖动物群落受扰动状况研究 [J]. 海洋环境科学, 2009, 28(1): 46-49.
- [21] CAJO J F, BRAAK K, VERDONSCHOT P F M. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology [J]. Aquatic Sciences, 1995, 57(3): 255-289.
- [22] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析 [J]. 中国环境科学, 1997, 17(4): 297-300.