

· 调查与评价 ·

连云港主要河流大型底栖无脊椎动物水质生物评价

吴东浩¹, 汪军涛², 张咏³, 王备新¹, 历以强³, 沈燕飞³

(1. 南京农业大学昆虫学系水生昆虫与淡水生态实验室, 江苏 南京 210095; 2. 连云港市环境监测站, 江苏 连云港 222001; 3. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

摘要:于 2008 年 5 月采用 D 形网半定量采样法调查了连云港市 5 条河流 7 个点位的大型底栖无脊椎动物群落多样性, 共获得 67 个大型底栖无脊椎动物分类单元; 其中, 昆虫纲双翅目 18 属、蜻蜓目 11 属; 软体动物 24 种; 环节动物 4 科 4 属 5 种。应用典范对应分析 (CCA) 排序结果将 7 个样点分成高 TN 低 DO、高电导率和低 TN 以及高 DO 和低电导率 3 组。Shannon-Wiener 多样性指数、生物指数和 COD 水质评价结果表明, 多样性指数与生物指数和 COD 评价结果有较大差异, 生物指数和 COD 评价结果较相似。综合评价结果为青口河的水质属于清洁; 蔷薇河、淮沐新河、鲁兰河和新沐河属于轻污至中污。生物指数与 TN 极显著正相关 ($r=0.913, p=0.004$), 多样性指数与 TN 无相关性 ($r=0.257, p=0.578$)。

关键词:大型底栖无脊椎动物; 生物评价; 生物指数; 河流; 连云港

中图分类号: X520 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2010)01-0029-04

River Water Bioassessment With Benthic Macroinvertebrate in Lianyungang, Jiangsu Province

WU Dong-hao¹, WANG Jun-tao², ZHANG Yong³, WANG Bei-xin¹, LI Yi-qiang³, SHEN Yei-fei³

(1. *Lab of Aquatic Insects and Stream Ecology, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;* 2. *Lianyungang Environmental Monitoring Station, Lianyungang, Jiangsu 222001, China;* 3. *Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China*)

Abstract: Benthic macroinvertebrates assemblages were collected from 7 sites of 5 Lianyungang rivers in May, 2008. A total of 67 macroinvertebrate taxa were found including 18 genera in Diptera, 11 genera in Odonata, 24 species in Mollusca, 5 species and 4 genera in 4 families of Annelida. All sampling sites were plotted out 3 groups by CCA ordination analysis. The water quality was assessed by the Shannon-Wiener diversity index, Biotic Index and COD, the result of diversity index was quite different from those of BI and COD, while the results between BI and COD were similar. Based on above three indicators, the quality of Qianwei river was clean and other rivers were from slight to middle pollution. The Pearson's correlation analysis showed that BI corresponded strongly with TN ($r=0.913, p=0.004$) and Shannon-Wiener diversity index had no correlation with TN ($r=0.257, p=0.578$).

Key words: Benthic macroinvertebrate; Bioassessment; Biotic Indexes; River; Lianyungang

水质生物评价自提出至今已有 100 多年^[1], 评价方法由单一的指示物种法逐步发展到如今的生物指数法。1992 年, 杨莲芳等^[2]首次借鉴美国建立的底栖动物耐污值和科级生物指数 (FB I) 评价了安徽九华河水质。随后, 国内开始了底栖动物耐污值和利用生物指数评价水质的研究与应用^[3-6]。

现对连云港市入海河流的底栖动物群落结构

进行基本调查, 分析底栖动物群落组成与水质理化指标之间的关系, 分别利用生物指数 (Biotic Index,

收稿日期: 2009-05-18; 修订日期: 2009-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30870345); 江苏省环境监测基金资助项目 (40301047)

作者简介: 吴东浩 (1985—), 男, 江苏宿迁人, 硕士, 主要从事水生昆虫与淡水生态研究。

BD和群落多样性指数评价连云港市入海河流水质。

1 研究方法

1.1 采样时间与地点

于 2008 年 5 月调查了连云港市蔷薇河、淮沭新河、鲁兰河、新沭河和青口河的底栖动物,共设置了 7 个点位,其中蔷薇河、淮沭新河和鲁兰河的 4 个采样点采集的为软底质;新沭河和青口河 3 个采样点位采集的为硬底质。蔷薇河作为连云港市的母亲河承担着重要的水源补给任务;新沭河和青口河的上游分别为石梁河水库和小塔山水库。

1.2 样品采集

底栖生物样品采集参照王备新^[7]的方法,用 D 形网或称抄网(0.3 m 宽,40 目尼龙纱)在 <1.5 m 深的河岸区用扫网法采集,每个样点在 100 m 长的采集区域内采 10 个面积为 0.3 m² (D 形网宽 0.3 m × 采集长度 1 m) 的小样方,总采样面积约 3 m² 左右。采样时,按样点内各种小生境(水草、静水区、流水区、底质组成)出现的比例,分配小样方数。所采标本直接在野外用 40 目铜筛筛选,并用 8% 的福尔马林液固定后带回实验室。室内鉴定时,水蛭、水生昆虫和软体动物分别鉴定至科、属、种;寡毛类根据相关资料鉴定至属或种。

1.3 水体理化指标测定

DO、电导率和 pH 用多参数水质检测仪(HANNA, HI 991301) 直接在现场测定, COD 采用重铬酸钾法, TN 采用紫外分光光度法^[8]。

1.4 数据处理

应用 Shannon-Wiener 多样性指数 $H = - \sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$, Margalef 物种丰富度指数 $D = (S - 1) / \ln N$, Pielou 物种均匀度指数 $J = H / \ln S$ 进行群落多样性分析^[9-11]。BI 的计算为 $BI = \sum n_i t_i / N$ ^[12], 其中, N 为样品总个体数, S 为样品分类单元总数, n_i 为第 i 个分类单元个体数, t_i 为第 i 个分类单元的耐污值(Tolerance Value)。耐污值参照王备新^[5]。生物与环境关系分析应用典范对应分析(CCA)完成。文中所涉及到的其他统计计算皆在 SPSS 16.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 底栖动物群落特征

调查共获得 67 个大型底栖无脊椎动物分类单

元。其中,昆虫纲 5 目 35 属,包括双翅目 18 属、蜻蜓目 11 属;软体动物 24 种;环节动物 4 科 4 属 5 种,但并未发现多毛纲生物。昆虫纲分类单元数占总分类单元数的 50.7%。7 个样点的香农多样性指数、丰富度指数以及均匀度指数的分布范围分别为 1.28~3.24、1.98~4.80 和 0.46~1.01,见表 1。

表 1 采样点底栖动物总分类单元数(TNT)、多样性指数(H)、丰富度指数(D)、均匀度指数(J)和生物指数(BI)

Table 1 Total number of taxa, Shannon-Wiener diversity, species richness, evenness and biotic indices of sampling sites

采样点	TNT	H	D	J	BI
蔷薇河(张湾)	35.0	2.93	4.80	0.820	6.22
蔷薇河(洪门大桥)	22.0	2.23	2.76	0.720	6.68
鲁兰河	16.0	1.28	1.98	0.460	5.54
新沭河(墩尚大桥)	16.0	1.49	2.33	0.540	5.00
青口河(塔山大桥)	25.0	3.24	3.60	1.01	5.70
青口河	19.0	2.31	2.64	0.790	5.35
淮沭新河(白塔埠)	24.0	3.22	3.21	1.01	7.64

大型底栖无脊椎动物与寡毛类、软体动物无明显的相关性。所有样点中摇蚊与大型底栖无脊椎动物之间有很高的相关性,见图 1。图中:S1—蔷薇河(张湾),S2—蔷薇河(洪门大桥),S3—鲁兰河,S4—新沭河(墩尚大桥),S5—青口河(塔山大桥),S6—青口河, S7—淮沭新河(白塔埠)。

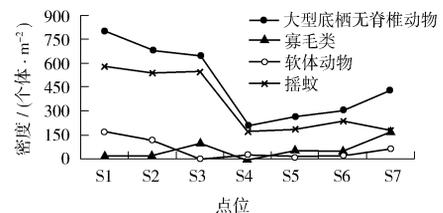


图 1 各样点大型底栖无脊椎动物、寡毛类、软体动物和摇蚊数量

Fig 1 The variation of macroinvertebrate/m², oligochaetes/m² and mollusca/m² of sampling sites

2.2 群落组成与环境因子分析

用于分析的环境因子有 5 个,见表 2。5 个环境因子在进行 CCA 分析前进行了手动筛选,以去除一些无效的变量(p > 0.05, |r| < 0.5)。经过筛选得到 3 个环境因子,即 TN、电导率和 DO。CCA 排序结果见图 2。

表 2 各采样点的环境因子

Table 2 Environmental factor data of 7 sampling sites

样点名称	pH	电导率	DO	COD	TN
蔷薇河(张湾)	6.85	62.4	10.1	20.0	0.760
蔷薇河(洪门大桥)	6.95	53.7	10.1	20.0	1.12
鲁兰河	7.63	57.6	8.62	20.0	0.880
新沐河(墩尚大桥)	8.10	56.7	9.30	15.0	0.670
青口河(塔山大桥)	9.63	47.8	8.70	18.0	0.690
青口河	8.21	44.8	10.7	12.0	0.630
淮沭新河(白塔埠)	7.51	60.5	8.74	20.0	1.34

单位为: ms/m.

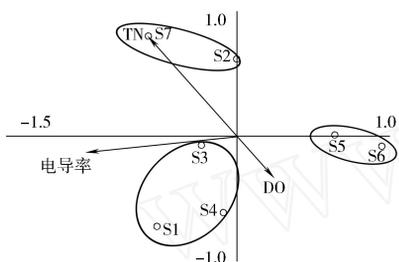


图 2 样点的 CCA 排序

Fig 2 CCA ordinations of sample sites

由图 2 可见,按各点在图中彼此间的距离,可以将 7 个点大致分为 3 组: S2 和 S7 为一组,这 2 个点分别位于城镇的中游和下游,所以与 TN 的相关性较高; S5 和 S6 点都位于青口河,作为城市水源地,青口河仅受到少许的农业面源污染;电导率较高的 S1、S3 和 S4 点分为一组。TN 与第 1 轴相关性最大,相关系数达 0.73,与第 2 轴相关系数为 -0.59; DO 与第 1 轴负相关,相关系数为 -0.88; 电导率与第 1 轴负相关,相关系数为 -0.99。前三轴的特征值占总特征值的 53.4%,见表 3。说明这 3 个环境因子能解释 53.4% 的底栖动物群落结构变化。前 3 个排序轴中,物种与环境的相关性分别达到了 99.7%、90.5% 和 94.5%,对于物种来讲,第 1、2 排序轴的相关系数仅为 0.02,表示这两个排序轴几乎相互垂直;对于环境因子,前两个排序轴的相关性为 0,说明排序结果可靠。

2.3 水质生物评价

根据黄玉瑶等^[13]提出的群落多样性水质评价标准: H = 0 (无大型底栖无脊椎动物,以区别于只有 1 种动物) 为严重污染; H = 0 ~ 1 为重污染; H

表 3 排序轴特征值、种类与环境因子排序轴的相关系数

Table 3 Correlation values for CCA axis and species-environmental factors

排序轴	AX1	AX2	AX3	AX4	总惯量
特征值	0.341	0.214	0.160	0.332	1.339
种类与环境因子	0.997	0.905	0.945	0	
相关系数					

= 1 ~ 2 为中度污染; H = 2 ~ 3 为轻度污染; H > 3 为清洁。S5 和 S7 为清洁水体; S1、S2 和 S6 为轻度污染水体; S3 和 S4 为中度污染水体,见表 4。

表 4 香农多样性指数和 B I 水质生物评价结果与 COD 评价结果比较

Table 4 Comparison of results between Shannon-Wiener diversity index and B I index with COD

等级	多样性指数评价结果	B I 评价结果	GB 3838 - 2002 分级标准	COD
清洁	S5、S7	S4、S6	类	S4、S6
轻污染	S1、S2、S6	S1、S3、S5	类	
中污染	S3、S4	S2、S7	类	S1、S2、S3、S5、S7

B I 最早由 Chutter^[12] 提出并应用于水质生物评价,其值分布范围为 0 ~ 10。参照王备新等^[5] 建议的评价标准: < 5.5, 清洁; 5.5 ~ 6.6, 轻污染; 6.61 ~ 7.7, 中污染; 7.71 ~ 8.8, 重污染; > 8.8, 严重污染。S4、S6 为清洁水体; S1、S3 和 S5 为轻污染水体; S2、S7 为中污染水体。

由表 4 可见,多样性指数和 B I 间的差异主要在 S4 和 S7,其余点位的评价结果相同或者相差一个等级。S4 点位上游为水库,河面较宽,水量流动大,样点上游农业面源污染小 (TN 为 0.67 mg/L), DO 较高 (9.3 mg/L); 而且在该点位采集到了清洁-轻污染水体指示种——蜉蝣目和毛翅目昆虫。S7 点位流经白塔埠镇,河面窄、流速缓且水草丰富,样点附近及上游农业面源污染重 (水体 TN 为 1.34 mg/L),水土大量流失而导致该点的底泥较多 (厚度达 50 cm ~ 60 cm)。水草丰富,夜晚水体的 DO 降低,适合能耐低 DO 的摇蚊和寡毛类生存,所以 S7 点位的 B I 值较高。

综上所述,B I 的评价结果与实际状况更接近。另外,B I 与 TN 之间呈显著正相关 (r = 0.913, p = 0.004),但 H 与 TN 之间无相关关系 (r = 0.257, p = 0.578)。B I 和多样性指数与其他主要的水质理

化指标,如 COD、DO、pH 以及电导率等之间皆无显著相关性,说明 TN 是影响底栖动物群落结构变化的关键因子。由于 TN 水质标准主要是针对湖和库,所以未进一步分析该环境因子的评价结果与 B 指数评价结果的关系。选取 COD 这一环境因子,按照《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002),S4、S6 为 Ⅳ 类水;S1、S2、S3、S5 和 S7 为 Ⅲ 类水,分类结果与 BI 评价结果相似。综合评价结果为青口河的水质属于清洁,其他河流属于轻污至中污。

3 结语

香农多样性指数的计算要求所有生物必须鉴定或区分到种,实际操作难度很大,例如,摇蚊幼虫的多样性很高,但由于缺乏相应的鉴定资料和经验,将摇蚊幼虫鉴定到种非常困难。依据多样性指数建立的水质评价标准并不具备广泛的适用性,并不是所有的受干扰最小点(如泉水)都具备较高的物种多样性;多样性指数值没有明确的极值或者参照值,得出的结果不易被大众理解;计算物种多样性的过程中并没有考虑物种对污染的忍耐能力,其结果不能反应群落中的敏感、耐污物种的组成情况,另外,群落中物种的种类和数量变化与污染程度之间并不是完全的线性关系,Cook^[14]的研究表明中度的污染引起物种数量上升的同时也可能会导致物种种类的增加,这些可能是并没有一个国家将多样性指数作为国家标准进行水质生物评价的原因。而 BI 指数较好地解决了这个问题,早在 1989 年 B 就已经是美国快速生物评价条例(Rapid Bioassessment Protocols, RBPs)中的主打指标广泛应用于美国河流的水质生物评价^[15]。

与发达国家相比,我国的生物监测及监测技术存在许多需要改进的地方^[16-17]。如应加强底栖动物耐污值的确定和 BI 分级标准等研究。建议在有条件的情况下,尽可能采用群落多样指数和 B 指数共同评价水质,以检验 B 指数评价水质的准确性、精确性和科学性,为 BI 指数推广应用奠定基础。

[参考文献]

- [1] KOLKWITZ R, MARSSON M. Okologie der pflanzlichen saprobien [J]. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 1980(26): 505 - 519.
- [2] 杨莲芳,李佑文,戚道光,等. 九华河水生昆虫群落结构和水质生物评价 [J]. 生态学报, 1992(1): 10 - 17.
- [3] 童晓立,胡慧建,陈思源. 利用水生昆虫评价南昆山溪流的水质 [J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(3): 6 - 10.
- [4] 黄柏柏,王建国,唐振华,等. 两种指数对庐山水体环境质量状况的评价 [J]. 中国环境科学, 2002, 22(5): 416 - 420.
- [5] 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: 33 - 73.
- [6] 王备新,陆爽,杨莲芳. 水质生物评价指数筛选——以南京紫金山地区小水体为例 [J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(4): 46 - 50.
- [7] 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 [J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2082 - 2091.
- [8] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 3 版. 北京:中国环境科学出版社, 1997.
- [9] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963: 1 - 117.
- [10] MARGALEF D R. Perspectives in ecological theory [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1968: 1 - 111.
- [11] PIELOU E C. Ecological diversity [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975: 16 - 51.
- [12] CHUTTER F M. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers [J]. Water Res, 1972(6): 19 - 30.
- [13] 黄玉瑶,滕德兴,赵忠宪. 应用大型无脊椎动物群落结构特征及其多样性指数监测蓟运河污染 [J]. 动物学集刊, 1982(2): 133 - 146.
- [14] COOK S E K. Quest for an index of community structure sensitive to water pollution [J]. Environ Pollut, 1976(11): 269 - 88.
- [15] PLAFKIN J L, BARBOUR M, PORTER K, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish [M]. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, 1989.
- [16] 王国祥. 生物监测若干问题的探讨 [J]. 环境监测管理和技术, 1994, 6(3): 7 - 10.
- [17] 王国祥. 浅谈我国水生生物监测技术规范的修订 [J]. 环境监测管理和技术, 1998, 10(3): 21 - 25.