

大沽夹河底栖大型无脊椎动物耐受值估算

罗新正, 郭献军, 张晓龙, 吴广芬, 韩玉梅, 李 环

(烟台大学环境与材料工程学院, 烟台 264005)

摘要: 耐受值表现为水生生物在一定水平的干扰作用下生存和繁殖的相对能力, 在生物学评价中起着不可或缺的重要作用。通过查阅文献资料、野外采样和实验室分析与鉴定, 获得大沽夹河 23 个采样点 1998 ~ 2007 年环境要素数据和 2006 ~ 2007 年底栖大型无脊椎动物数据。应用等标指数法和算术平均法计算环境梯度值, 利用加权加和法估算底栖大型无脊椎动物的耐受值, 建立底栖大型无脊椎动物 44 个分类单元的耐受值谱。研究表明: (1) 根据环境要素值和底栖大型无脊椎动物数据、采用数学方法估算底栖大型无脊椎动物耐受值, 比专家经验或以生物多样性划分环境梯度等方法, 更加客观; (2) 耐受值谱表明, 大沽夹河底栖大型无脊椎动物以敏感性和耐受性类型为主, 过渡性类型较少。 (3) 与前人研究成果对比, 耐受值在目、科分类单元比较一致, 在属、种分类单元存在差异; (4) 限于条件, 底栖大型无脊椎动物分类鉴定有些粗略, 环境梯度计算未包含底质、水文要素, 需进一步改进。

关键词: 大沽夹河; 底栖大型无脊椎动物; 环境梯度; 耐受值

文章编号: 1000-0933(2008)11-5706-08 中图分类号: Q178.1 文献标识码: A

Estimation of tolerance values for benthic macroinvertebrates in Dagujia River

LUO Xin-Zheng, GUO Xian-Jun, ZHANG Xiao-Long, WU Guang-Fen, HAN Yu-Mei, LI Huan

Environmental and Material Engineering College, Yantai University, Yantai 264005, Shandong Province, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5706 ~ 5713.

Abstract: Tolerance values, which represent the relative capacities of survival and reproduction for aquatic organisms under certain stresses, play an important role in bioassessment. Through reference review, field sampling and laboratory analyses and identification, basic environmental data during 1998 – 2007 and benthic macroinvertebrate data during 2006 – 2007 were obtained from 23 sampling plots in Dagujia River. Based on environmental gradient calculated by the methods of equivalent standard index and arithmetic mean, as well as the tolerance value for benthic macroinvertebrates estimated by the weighted method, the tolerance value table was established with 44 taxa for benthic macroinvertebrates in Dagujia River. Results showed that (1) it was more objective to estimate tolerance values for benthic macroinvertebrates in Dagujia River by mathematic methods based on the environmental factors and benthic macroinvertebrates than those based on “expert opinions” or environmental gradient based on biodiversity; (2) Dominant benthic macroinvertebrates are sensible and tolerant to environment, and few transitional ones could be observed in Dagujia River; (3) Compared with the results reported in previous references, the tolerance values for some benthic macroinvertebrates in this study were similar in order and family, while they were somewhat dissimilar in genus and species. However, the identification for benthic macroinvertebrates is actually primary, and the substrate and hydrological properties have not been considered as calculating

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目 (HJ05K3); 天津市科技支撑重点资助项目 (08ZCGYSF00200)

收稿日期: 2008-01-04; **修订日期:** 2008-06-23

作者简介: 罗新正 (1965 ~), 男, 河南临颖人, 博士, 教授, 主要从事流域生态学研究. E-mail: xzhluo@163.com

Foundation item: The project was financially supported by scientific research encouragement fund for excellent young and middle -age scientist in Shandong Province (No. HJ05K3) and emphasis item supported by science and technology in Tianjin City (No. 08ZCGYSF00200)

Received date: 2008-01-04; **Accepted date:** 2008-06-23

Biography: LUO Xin-Zheng, Ph. D., Professor, mainly engaging in valley ecology. E-mail: xzhluo@163.com

the environmental gradient in this study, thus further researches will be needed to improve the results.

Key Words: Dagujia River; benthic macroinvertebrates; environmental gradient; tolerance value

耐受值(tolerance value)表现为生物在一定水平的干扰因子面前生存和繁殖的相对能力^[1]。耐受值在生物学评价中起着不可或缺的重要作用。底栖大型无脊椎动物耐受值的研究,国外起步较早,多估算底栖动物对应单个干扰因子梯度的耐受值^[2~4];国内相关研究起步较晚,大多利用底栖大型无脊椎动物对水质进行评价^[5~8],而对底栖动物耐受值的估算,多根据生物多样性划分环境梯度、“专家”经验和动物亲缘关系,或直接引用国外的底栖大型无脊椎动物的耐受值^[9,10]。区域间物种库不同,造成某些物种缺失耐受值;区域间环境干扰梯度不同,同种动物可能拥有不同的耐受值。耐受值的引用,可能因某些物种耐受值的缺失而受阻,也可能因耐受值的差异而导致干扰因子诊断和环境状况评价的误差。

半个世纪以来,大沽夹河流域水利工程建设,工农业生产活动,引起河流环境严重退化。评价大沽夹河生态健康,诊断干扰因子,恢复河流生态健康,大沽夹河底栖大型无脊椎动物耐受值估算是基础。本文以综合环境要素为依据,利用等标指数法确定环境梯度,利用加权加和法估算大沽夹河底栖大型无脊椎动物的耐受值。理论上将规范底栖大型无脊椎动物耐受值估算的技术路线与模式;在实践上将揭示大沽夹河底栖大型无脊椎动物耐受值谱,为大沽夹河生态健康评价、干扰因子识别和生态健康恢复提供基础数据支持。

1 研究区概况

大沽夹河位于山东半岛中北部,介于 120°44'28"~121°26'28"E,与 37°02'22"~37°36'12"N 之间,流域面积 2282km²。

流域地势西南高、东北低,属低山、丘陵地形区。山地面积占 39.2%,丘陵面积占 40.8%,河谷平原占 20%。艾山、牙山为流域内较大的山峰,海拔分别为 817m 和 798m,属昆嵛山系,呈东西走向。

干流(外夹河)发源于海阳牧牛山,向北流注入套子湾,总长 79km;支流内夹河发源于栖霞小灵山,向东流,于小沙埠村北 2km 处注入干流,全长 74 km。

在大沽夹河干、支流上共设置 23 个采样点。外夹河自上而下依次是:1-南野乔水库、2-桃园水库、3-荆子埠、4-回里、5-东沟林场、6-莱山水库、7-东陌堂桥、8-机场大桥、9-珠岩大桥、10-套口、11-高速公路桥和 12-河口大桥;内夹河自上而下依次是:13-南石岔、14-主格庄、15 栖霞市区、16-栖霞滚水坝、17-庵里水库、18-郭家店水库、19 南桥、20~22-门楼水库、23-福山水闸(图 1)。

2 研究方法

2.1 数据采集

2.1.1 环境要素数据

荆子埠、回里、东陌堂桥、套口、高速公路桥、庵里水库、南桥、门楼水库、福山水闸采样点,1998 年至 2005 年间的 pH 值、DO、COD、高锰酸盐指数、BOD、NH₃-N、挥发酚、氰化物、砷、石油类、TN 和 TP 数据来自“大沽夹河流域水污染综合治理实施规划”、“烟台市水环境容量核定报告”和“烟台市环境质量报告书”。

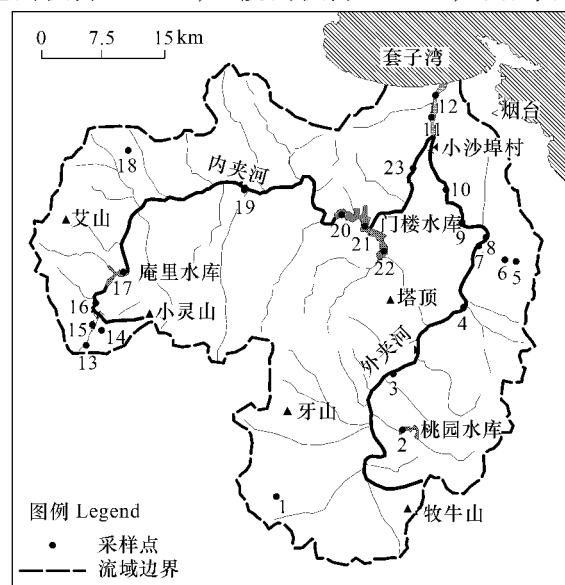


图 1 大沽夹河流域采样点分布

Fig. 1 Sampling site distribution in the Valley of Dagujia River

图例 Legend; 采样点 Sampling site; 流域边界 Valley boundaryline; 套子湾 Taozi bay; 烟台 Yantai city; 小沙埠村 Xiaoshabu village; 内夹河 Neijiahe River; 外夹河 Waijiahe River; 艾山 Aishan mountain; 牙山 Yashan Mountain; 牧牛山 Muniushan Mountain; 塔顶 Tading Mountain; 门楼水库 Menlou Reservoir; 庵里水库 Anli Reservoir; 桃园水库 Taoyuan Reservoir

南野乔水库、桃园水库、荆子埠、回里、东沟林场、东陌堂桥、套口、高速公路桥、南石岔、主格庄、栖霞滚水坝、庵里水库、南桥、门楼水库和福山水闸采样点,2006 年至 2007 年相应的环境要素数据,通过野外采样、实验室检测分析获得。

2.1.2 底栖大型无脊椎动物数据

2006 年、2007 年夏季指数期,采集 23 个样点底栖大型无脊椎动物样品。利用 1/16m²彼德生采泥器采集底泥;视样点底栖大型无脊椎动物类型变化情况,每个样点随机采集 3~8 个样品;40 目钢筛分拣,现场用 75% 的酒精固定昆虫幼虫和软体动物,用 4%~5% 的甲醛固定环节动物。实验室内利用 XSP-2CA 双目生物显微镜、XSP-10CA 三目生物显微镜对底栖大型无脊椎动物鉴定分类。

2.2 环境梯度估算

2.2.1 等标指数模式

污染要素指数:

$$I_{ij} = \frac{C_{ij}}{S_i} \quad (1)$$

式中, I_{ij} ,第 j 个采样点的第 i 种污染物的等标指数,无量纲, $i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,m$; C_{ij} ,第 j 个采样点的第 i 种污染物浓度的实测值(mg/L); S_i ,第 i 种污染物的环境质量标准限值(mg/L)。

溶解氧指数:

$$I_{DOj} = \frac{|DO_{saj} - DO_j|}{|DO_{saj} - DO_{st}|} \quad (2)$$

式中, I_{DOj} ,第 j 个样点的 DO 等标指数; DO_{saj} ,第 j 个样点的饱和溶解氧浓度(mg/L), $DO_{saj} = \frac{468}{31.6 + t}$, t 为水温(°C); DO_j ,第 j 个样点的溶解氧浓度的实测值(mg/L); DO_{st} ,溶解氧浓度的环境质量标准限值。

pH 值指数:

$$I_{pHj} = \frac{|\text{pH}_j - \text{pH}_m|}{\text{pH}_{ha}} \quad (3)$$

式中, I_{pHj} ,第 j 个样点的酸碱度等标指数; pH_j ,第 j 个样点的酸碱度实测值; pH_m ,酸碱度标准范围的中值; pH_{ha} ,酸碱度标准范围的半长值。

2.2.2 等标化的标准限值

大沽夹河作为集中式、生活饮用水地表水源地二级保护区,鱼虾类越冬场、洄游通道,水产养殖区,渔业水域,属于地表水水域环境Ⅲ类功能区,执行中华人民共和国国家标准《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中相应项目的Ⅲ类标准限值(表 1)。

表 1 大沽夹河流域地表水环境质量Ⅲ类标准限值

Table 1 The third standard threshold of surface water environment in Dagujia River Valley (mg/L)

项目 Item	pH	DO	COD	高锰酸盐指数 Permanganate index	BOD	NH ₃ -N
标准限值 Threshold	6~9	5	20	6	4	1.0
项目 Item	挥发酚 Volatilized hydroxybenzene	氰化物 Cyanide	砷 Arsenic	石油类 Oil	TN	TP
标准限值 Threshold	0.005	0.2	0.05	0.05	1.0	0.2(湖 Lake、 库 Reservoir 0.05)

2.2.3 环境梯度估算模式

环境梯度估算采用样点各项等标指数的算术平均值^[1]:

$$G_j = \frac{1}{n+2} \left(\sum_{i=1}^n I_{ij} + I_{D0j} + I_{pHj} \right) \quad (4)$$

式中, G_j , 第 j 个采样点的环境梯度; I_{ij} , I_{D0j} , I_{pHj} 含义同上。

2.3 耐受值估算

2.3.1 初值估算模式

采用各样点环境梯度的加权加和法, 估算大沽夹河水域底栖大型无脊椎动物耐受值的初值, 模式如下:

$$TV_{io} = \sum_{j=1}^m G_j p_{ji} \quad (5)$$

式中, TV_{io} , 第 i 种底栖动物耐受值的初值; G_j , 含义同上; p_{ji} , 第 j 个采样点的第 i 种底栖动物出现的频率。

2.3.2 终值估算模式

利用(6)式重新调整耐受值初值的分布范围, 使其落在 0 ~ 10 之间。10 表示耐受性最强, 0 表示耐受性最弱:

$$TV_{ie} = \frac{TV_{io} - MINTV_{io}}{MAXTV_{io} - MINTV_{io}} \quad (6)$$

式中, TV_{ie} , 底栖大型无脊椎动物耐受值的终值; TV_{io} , 含义同上; $MINTV_{io}$, 耐受初值中的最小值; $MAXTV_{io}$, 耐受初值中的最大值。

3 结果

3.1 底栖大型无脊椎动物类型

共获得蜉蝣目 1 属; 蜻蜓目 1 属 2 种; 半翅目 1 种; 双翅目 4 科 20 属 1 种; 帘蛤目蚬科 1 种; 中腹足目田螺科 2 种; 基眼目椎实螺科 1 种、扁卷螺科 1 种; 颤蚓科 6 种; 石蛭科 2 种; 扁蛭科 1 种(表 2)。

表 2 大沽夹河底栖大型无脊椎动物类型与数量

Table 2 Categories and density of benthic macroinvertebrate in Dagujia River (ind/m²)

底栖大型无脊椎动物 Benthic macroinvertebrate	1	2	3	4	5	7	10	11	12	13	15	16	17	19	20 ~ 22	23
小斑蜻 <i>Libellula quadrimaculata</i>														5		
黑河螳 <i>Agria atralum</i>														5		
红娘华 <i>Lacetre phes grossus</i>														5		
白旋螺 <i>Gyraulus albus</i>														112		
宽身扁蛭 <i>Glossiphonia lata</i>			4											176		
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i>		4		9			44			52				5723		
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>			36											523		
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>			36	698			136			108				1749		
小蜉属 <i>Ephemera</i> sp.			8													
鹬虬科 <i>Rhagionidae</i> sp.			4													
<i>Sergentia</i> sp.							4									
苇氏白勃石蛭 <i>Barbronia weberi</i>							8									
羽摇蚊 <i>Tendipes plumosus</i>						2										
八目石蛭 <i>Herpobdella octoculata</i>				51			4			4						
多足摇蚊属 <i>Polypedilum</i> sp.			876		12			5				160				64
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>					4		176		8	2044						
晴属(稚虫) <i>Libellula</i> sp.										20						
<i>Epoicocladus</i> sp.	16	8			16		4									
异腹腮摇蚊属 <i>Einfeldia</i> sp.					4											
维塞夫盘丝蚓 <i>Bothrioneurum vejdoskyanum</i>					24											
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>					108					148				5		16
苏氏尾腮蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>			24		68		144					8	128	8	160	
寡角摇蚊属 <i>Diamesa. prolonguta</i>	4															

续表

底栖大型无脊椎动物 <i>Benthic macroinvertebrate</i>	1	2	3	4	5	7	10	11	12	13	15	16	17	19	20 ~ 22	23
淡水单孔蚓 <i>Monopylephorus limosus</i>								16		164						16
雕翅摇蚊属 <i>Glyptotendipes</i> sp.							4	48		3552		160				2784
弯松施密摇蚊属 <i>Krenosmittia camptophleps</i>													5			
幽蚊属 <i>Chaoborus</i> sp.										364						
内摇蚊属 <i>Endochironomus</i> sp.						20		5							132	
粗腹摇蚊属 <i>Tanytus</i> sp.										80	120	624				
约翰大型粗腹摇蚊属 <i>Macropelopia</i> sp.												248	117			
前囊管水蚓 <i>Aulodrilus prothecatus</i>	4					2			24							88
长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> sp.								5		4						4
虻属 <i>Tabanidae tabanus</i> sp.													8			
蝗舞虻属 <i>Empididae hemerodromia</i>													48			
同寡角摇蚊属 <i>Protanypus</i> sp.													16			
开叉摇蚊属 <i>Dicrotendipes</i> sp.													16			
伪摇蚊属 <i>Pseudochironomus</i> sp.													8			
中华颤蚓 <i>Tubifex sinicus</i>													48			
蚊科 <i>Culicidae</i> sp.													56			
水蝇属 <i>Ephydriidae ephydra</i>													32			
食蚜蝇科 <i>Syrphidae</i> sp.													8			
毛蠓科 <i>Psychodidae</i> sp.													32			
环足摇蚊属 <i>Cricotopus</i> sp.	4					4		11				304				
摇蚊属 <i>Chironomus</i> sp.		12	4	9				656		4		1248	677		192	144

3.2 大沽夹河环境梯度值

利用 1998 年至 2007 年的环境要素数据,根据(1)、(2)、(3)、(4)模式,得到大沽夹河流域各采样点的环境梯度值(表 3)。

表 3 大沽夹河流域采样点环境梯度值

Table 3 Environment gradient value of sampling plots in Dagujia River valley

采样点	南桥	荆子埠	套口	东陌堂	回里	桃园水库	南石岔	东沟林场
环境梯度值	0.239	0.282	0.309	0.314	0.322	0.355	0.414	0.441
采样点	主格庄	南野芥水库	庵里水库	门楼水库	栖霞滚水坝	福山水闸	河口大桥	夹河高速桥
环境梯度值	0.496	0.499	0.627	0.728	0.778	0.847	0.905	1.050

采样点 Sampling site; 环境梯度值 Environmental gradient value; 南桥 Nanqiao; 荆子埠 Jingzibu; 套口 Taokou; 东陌堂 Dongmotang; 回里 Huili; 桃园水库 Taoyuan Reservoir; 南石岔 Nanshicha; 东沟林场 Donggou forestry center; 主格庄 Zhugezhuang Village; 南野芥水库 Nanyekuang Reservoir; 庵里水库 Anli Reservoir; 门楼水库 Menlou Reservoir; 栖霞滚水坝 Qixia dam; 福山水闸 Fushan Watergate; 河口大桥 Estuary bridge; 夹河高速桥 Jiahe highway bridge

3.3 大沽夹河底栖大型无脊椎动物耐受值

利用各样点的环境梯度值和底栖动物分类数据,根据模式(5)、(6),得到大沽夹河底栖大型无脊椎动物的耐受值(表 4)。

4 讨论

4.1 耐受值估算的理论基础

耐受值估算具有生态学理论基础。物种呈现的多度或出现的概率随人类干扰强度的增长单调下降。所有物种的最适度在干扰因子强度为零时都是相同。随着干扰强度的增长,不同物种的预期多度或捕获概率的变化速度不同。随人类压力的增加,敏感性种类的多度或出现的概率下降更快。

生物学评价中耐受性的概念与生态学中耐受性的概念不同。生态学中耐受性定义为生态位宽度,即生物能够承受的环境条件的范围。耐受性强的生物能够承受更宽广的条件范围,而不关心最适位置。在生物学评

价中,一种耐受性生物,可能在受人类活动影响而高度改变或退化的地方出现。许多种类既出现在退化地点,也出现在所观测的整个梯度范围内,被认为在生态学和生物学评价定义中均具有耐受性;仅在退化地点旺盛生长,生态位宽度窄的种类,只具生物学评价方面的耐受性,不具生态学意义上的耐受性。

表 4 大沽夹河流域底栖大型无脊椎动物耐受值

Table 4 Tolerance values of benthic macroinvertebrate in Dagujia River

底栖大型无脊椎动物 Benthic macroinvertebrate	TV_{io}	TV_{ie}	底栖大型无脊椎动物 Benthic macroinvertebrate	TV_{io}	TV_{ie}
小斑蜻 <i>Libellula quadrimaculata</i>	0.2393	0.0000	寡角摇蚊属 <i>Diamesa. prolongata</i>	0.4989	4.6370
黑河螳 <i>Agriion atralum</i>	0.2393	0.0000	淡水单孔蚓 <i>Monopylephorus limosus</i>	0.5014	4.6822
红娘华 <i>Lacetre phes grossus</i>	0.2393	0.0000	雕翅摇蚊属 <i>Glyptotendipes sp.</i>	0.6117	6.6532
白旋螺 <i>Gyraulus albus</i>	0.2393	0.0000	弯松施密摇蚊属 <i>Krenosmittia campophleps</i>	0.6271	6.9279
宽身扁蛭 <i>Glossiphonia lata</i>	0.2403	0.0170	幽蚊属 <i>Chaoborus sp.</i>	0.6564	7.4513
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i>	0.2416	0.0409	内摇蚊属 <i>Endochironomus sp.</i>	0.6859	7.9782
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.2421	0.0493	粗腹摇蚊属 <i>Tanytus sp.</i>	0.7014	8.2558
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	0.2752	0.6405	约翰大型粗腹摇蚊属 <i>Macropelopia sp.</i>	0.7263	8.7011
小蜉属 <i>Ephemera sp.</i>	0.2822	0.7664	前囊管水蚓 <i>Aulodrilus prothecatus</i>	0.7495	9.1150
鹬虻科 <i>Rhagionidae sp.</i>	0.2822	0.7664	长跗摇蚊 <i>Tanytarsus sp.</i>	0.7554	9.2193
<i>Sergentia sp.</i>	0.3090	1.2441	虻属 <i>Tabanidae tabanus sp.</i>	0.7777	9.6180
苇氏白勃石蛭 <i>Barbronia weberi</i>	0.3090	1.2441	螳舞虻属 <i>Empididae hemerodromia</i>	0.7777	9.6180
羽摇蚊 <i>Tendipes plumosus</i>	0.3138	1.3305	同寡角摇蚊属 <i>Protanypus sp.</i>	0.7777	9.6180
八目石蛭 <i>Herpobdella octoculata</i>	0.3272	1.5706	开叉摇蚊属 <i>Dicortendipes sp.</i>	0.7777	9.6180
多足摇蚊属 <i>Polypedilum sp.</i>	0.3907	2.7045	伪摇蚊属 <i>Pseudochironomus sp.</i>	0.7777	9.6180
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.4077	3.0079	中华颤蚓 <i>Tubifex sinicus</i>	0.7777	9.6180
晴属(稚虫) <i>Libellula sp.</i>	0.4142	3.1238	蚊科 <i>Culicidae sp.</i>	0.7777	9.6180
<i>Epoicocladus sp.</i>	0.4345	3.4873	水蝇属 <i>Ephydriidae ephydra</i>	0.7777	9.6180
异腹腮摇蚊属 <i>Einfeldia sp.</i>	0.4415	3.6115	食蚜蝇科 <i>Syrphidae sp.</i>	0.7777	9.6180
维奈夫盘丝蚓 <i>Bothrioneurum vejdoskyanum</i>	0.4415	3.6115	毛蠓科 <i>Psychodidae sp.</i>	0.7777	9.6180
梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	0.4539	3.8329	环足摇蚊属 <i>Cricotopus sp.</i>	0.7777	9.6193
苏氏尾腮蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	0.4806	4.3100	摇蚊属 <i>Chironomus sp.</i>	0.7990	10.0000

4.2 耐受值的影响因素

4.2.1 环境梯度

耐受值是对环境梯度的加权加和,环境梯度直接影响底栖大型无脊椎动物的耐受值。环境要素数据的长期性与全面性,影响环境梯度。数据的时间序列越长,包含的要素越多,环境梯度越接近“真值”。本文以 10a 的 12 项水质物理、化学指标为依据,估算环境梯度值,最大可能地接近环境梯度的“真值”。增加水文、栖息地要素,改善环境梯度,是本研究需改进的地方。

4.2.2 采样质量

采样点随环境梯度分布的均匀性,样点标本采集的完整性,直接影响耐受值的质量。观察 23 个采样点的环境梯度值,分布比较均匀。采样日期选在 2006 年、2007 年底栖大型无脊椎动物最丰富的夏季指数期,并根据每次采集的动物类型变化情况,每个样点采集 3~8 个样品,以体现底栖无脊椎动物的真实分布。

4.2.3 分类水平

同类底栖大型无脊椎动物在各样点的分布,决定着耐受值计算模式中的权重,进而对耐受值产生影响。分类鉴定错误将造成耐受值偏差;分类级别越低,耐受值准确性越好,种的耐受值准确性最好。针对本次采集的样本,软体动物鉴定到种,水生昆虫、水栖寡毛类,大部分到属,个别到科,并通过二次校核,最大限度地保证分类的准确性,以提高耐受值的质量。

4.2.4 计算方法

底栖大型无脊椎动物的特征是环境多要素长期影响的结果。根据 10a、12 项指标的水化学数据,利用等标指数法和算术平均法估算环境梯度,采用加权加和法首次估算大沽夹河无脊椎动物耐受值,既考虑耐受值

影响因素的综合性,又保证数值的精确度。国外多以单一环境要素为依据估算环境梯度,如温度、底质梯度^[1],耐受值有失偏颇。国内采用对底栖大型无脊椎动物多样性分级赋值确定环境梯度,再来计算耐受值,陷入循环推理^[9];或直接采用“专家”经验值^[10],难免“粗糙”。

4.3 耐受值的相对性

区域不同,环境梯度序列不同,相同分类单元在各样点出现的概率不同。耐受值初值是对各样点环境梯度的加权加和,权重是分类单元在各样点出现的概率。扩大或缩小研究区范围,分类单元的权重随之改变,耐受值初值因而也会随之改变。分类的最低级别(如科或属),在不同区域包含的种可能不同。种不同,耐受值不同,则会出现同科或同属,而耐受值不同。耐受值初值的确定,是以所研究的区域为前提,具有相对性或地域性。

耐受值终值取决于分类单元的初值、研究区内分类单元中最大初值与最小初值。实际上,耐受值终值是对研究区内各分类单元耐受性的相对定位与排序。终值大小,对研究区内各类分类单元的相对耐受性具有指示作用。不同的研究区,因耐受值初值值域不同,同种分类单元的耐受值终值也会存在差异。

耐受值的相对性使得区域间耐受值的直接对比失去意义。盲目借用区外的耐受值将会给研究成果带来误差。区域间底栖大型无脊椎动物分类单元的差异性,耐受值的相对性,使得区域的底栖大型无脊椎动物耐受值估算具有重要的实践意义。

根据在耐受值谱中的百分位,对比区域间同类底栖大型无脊椎动物耐受性,具有一定的意义。这种对比是粗线条的,主要体现为敏感类型、耐受类型或一般类型之间的高等级比较。

4.4 大沽夹河底栖大型无脊椎动物耐受值特征

大沽夹河底栖大型无脊椎动物的耐受值,主要集中于值谱的高、低两端。所获得的 44 个分类单元,耐受值在 0~2 范围内有 14 个,2~8 范围内有 14 个,8~10 范围内有 16 个。形成的直接原因是底栖大型无脊椎动物的类型与数量在环境梯度值高、低两端的集中分布。

与区外相比^[9,10],蜻蜓目、蜉蝣目、半翅目、蜾蠃科和双翅目鹬虻科同为敏感性底栖动物,耐受值排序位置在低端;摇蚊属、环足摇蚊属、伪摇蚊属、开叉摇蚊属、同寡角摇蚊属、螳螂属、虻属、长跗摇蚊属、约翰大型粗腹摇蚊属、粗腹摇蚊属、内摇蚊属、中华颤蚓、前囊管水蚓、蚊科、水蝇属、食蚜蝇科和毛蠓科同为耐受性底栖动物,耐受值排序位置在高端;部分底栖动物,田螺科、扁卷螺科、椎实螺科、石蛭科、扁蛭科、摇蚊科的 *Sergentia*、羽摇蚊,耐受值的排序位置偏低端。

5 结论

(1)根据环境要素值和底栖大型无脊椎动物数据、采用数学方法估算底栖大型无脊椎动物耐受值,比以生物多样性划分环境梯度、专家经验等方法,更加客观真实。

(2)耐受值谱表明,大沽夹河底栖大型无脊椎动物以敏感性和耐受性类型为主,过渡性类型较少。

(3)与前人研究成果对比,耐受值在目、科分类单元比较一致,在属、种分类单元存在差异。

(4)限于条件,底栖大型无脊椎动物分类鉴定粗略,环境梯度计算未包含底质、水文要素,需进一步改进。水生昆虫幼虫与环节动物分类大多到科、属,环境梯度计算仅考虑水质的理、化指标。环境梯度估算中增加底质、水文要素,降低生物鉴定中的分类等级,是进一步提高耐受值质量、增大区域间耐受值可比性的有效途径。

References:

- [1] David W Bressler, James B Stribling, *et al.* Stressor tolerance values for benthic macroinvertebrate in Mississippi. *Hydrobiologia*, 2006, (573): 155–172.
- [2] Gerhardt A, Janssens de Bisthoven L, Soares A M V M. Macroinvertebrate response to acid mine drainage: Community metrics and on-line behavioural toxicity bioassay. *Environmental Pollution*, 2004, (130): 263–274.
- [3] Thomas S, Alexander D Huryn. The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater Biology*, 2007, (52): 177–196.

- [4] Lenat D R. A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society*, 1993, (12): 279—290.
- [5] Wang B X, Yang L F. Bioassessment of Qinhuai River using a river biological index. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2082—2091.
- [6] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, *et al.* Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in LiaoRiverBasin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919—927.
- [7] Wang Y D, Xiong B X, Yang X F. Water quality assessment based on macrozoo benthos in Nanhu Lake, Wuhan. *Environmental pollution, Prevention and Cure*, 2006, 28(4): 312—314.
- [8] Ji B C, Wang X H, Qin B P, *et al.* Study on zoobenthos and bio-assessment of water quality in Yinluan Project. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2002, 35(2): 106—112.
- [9] Wang B X, Yang L F. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2768—2775.
- [10] Wang J G, Huang H B, Yang M X, *et al.* Tolerance values of benthic macroinvertebrates and biosassessment of water quality in the Lushan Nature Reserve. *Chin J Appl Environ Biol*, 2003, 9(3): 279—284.

参考文献:

- [5] 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.
- [6] 张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 919~927.
- [7] 王银东, 熊邦喜, 杨学芬. 用大型底栖动物对武汉南湖水质的生物学评价. *环境污染与防治*, 2006, 28(4): 312~314.
- [8] 纪炳纯, 王新华, 秦保平, 等. 引入天津流域底栖动物研究及水质评价. *南开大学学报(自然科学)*, 2002, 35(2): 106~112.
- [9] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值. *生态学报*, 2004, 24(12): 2768~2775.
- [10] 王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(3): 279~284.