

水磨河底栖动物群落结构的生态位分析

刘建军 徐艳华

(新疆环境监测中心站, 乌鲁木齐 830011)

提 要

本文利用生态位理论, 对水磨河6个站点, 讨论了14个优势种的群落结构与水体污染之间的关系, 在r—k连续统中进行种的生态位排序, 通过聚类分析绘出底栖动物群落树状图, 将水磨河底栖动物群落分成四个集群类型和一个边缘种, 并叙述了其污染生态学特性和生态对策。

关键词 生态位重迭, r—k连续统, 聚类分析, 种群演替

国内有关底栖动物的环境生物学监测和评价工作多限于用种类组成指示水体污染现状的一般性描述^[1—5], 用生态位理论探讨底栖动物群落结构与水体污染之间的关系, 进而预测种群平衡后水环境污染现状的研究, 还未见有报道。鉴于此, 我们利用文献[6]的数据, 文献[7]所筛选的一般指示生物, 对水磨河底栖动物群落结构作了生态位分析, 为揭示底栖动物群落内的种间关系、群落结构与水体污染之间的关系奠定了理论基础, 也希望为正在普遍开展的水质生物学监测工作提供部分资料。文中以空间序列代替时间序列研究水磨河的演替过程。

底栖动物种群密度量调查, 采用人工基质取样, 沿河设置6个站点, 每一站点两个重复, 数据平均后作为观察值参与计算。

1 数据处理

1.1 底栖动物群落中每一物种繁殖对(Species pairs)之间的生态位重迭程度按王刚^[8]的改进公式计算:

$$N.O. = \frac{\sum_i \min[f_k(x), f_h(x)]W_i}{\max \left[\sum_i f_k(x)W_i, \sum_i f_h(x)W_i \right]} \quad (1)$$

此处 $f_k(x)$ 、 $f_h(x)$ 分别表示种 k 和种 h 的生态位函数, 本文中为各站点底栖动物的种群

密度, W_i 为资源位加权因子。加权因子的计算, 用模糊方程确定。

根据五种生物指数对新疆水磨河 6 个站点污染类型(清洁 Cl., 轻污 Lp., 中污 Mp., 重污 Hp.)的评价结果^[6], 组成模糊关系矩阵 \tilde{R} 为:

$$\tilde{R} = [\mu \tilde{R}_{ij}(u)]_{6 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.8 \end{bmatrix}$$

经标准化排列, 按水磨河综合评价结果^[6] $\tilde{B}_j = \frac{0.07}{Cl.} + \frac{0.43}{Lp.} + \frac{0.30}{Mp.} + \frac{0.20}{Hp.}$ 中 $b_2 \geq b_3 \geq b_4 \geq b_1$ 的次序调整模糊向量 \tilde{B}_j 的各个分量^[9], 模糊矩阵 $R = (r_{ij})$ 的各列也作相应的变更, 用 b_j 上铣矩阵 R 的第 j 列, 即将 r_{ij} 换为 r'_{ij} , r'_{ij} 满足:

$$r'_{ij} = \begin{cases} b_j & (r_{ij} > b_j) \\ \Phi & (r_{ij} \leq b_j) \end{cases} \quad i=1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad j=1, 2, 3, 4$$

求出解的上界。

对矩阵 R 进行平铣, 即将 r_{ij} 换为 r'_{ij} , 且满足:

$$r'_{ij} = \begin{cases} b_j & (r_{ij} \geq b_j) \\ \Phi & (r_{ij} < b_j) \end{cases}$$

得到满足: $(x_i \cdot \tilde{R}) = \tilde{B}$ 的解集为

$$\begin{aligned} x &= (0.07, 0, 0.3, 0.43, 0, 0.2), \\ &(0.07, 0, 0.3, 0.43, 0.2, [0, 0.2]), \\ &(0.07, 0.3, 0, 0.43, 0, 0.2), \\ &(0.07, 0.3, 0, 0.43, 0.2, [0, 0.2]), \\ &(0.07, 0.3, 0.3, 0.43, [0, 0.2], 0.2), \\ &(0.07, 0.3, 0.3, 0.43, 0.2, 0). \end{aligned}$$

用方程 $x_i \cdot \tilde{R} = \tilde{B}$ 的第 6 个解 $x_6 = (0.07, 0.3, 0, 0.43, 0.2, 0.2)$ 归一化后的结果 $x_6 = (0.07, 0.25, 0, 0.36, 0.16, 0.16)$ 作为式(1)的资源位加权因子 W_i 。

利用上述公式计测每一物种繁殖对 i 间的生态位重迭值, 得一生态位重迭矩阵。

1.2 每一物种繁殖对相对生态位重迭值的计算及排序。将生态位重迭矩阵的每行相加, 得每个种的生态位总重迭值。选择两个总重迭值小而且相互重迭值最小的两个种^[8] r 对策种 a , k 对策种 b 为端点, 作一数轴, 左右两端点分别标以 0, 1 两个数值。数轴自左至右既表示 $r-k$ 连续统(Continuum.), 又表示污染水体中各演替种的耐污习性逐渐减弱, 由重污向轻污演替。

将重迭矩阵中任意一个要排序的种 c 和种 a 的生态位重迭值记为 $O_{(a, c)}$, 种 c 和种 b 的重迭值记为 $Q_{(b, c)}$, 则种 c 对种 a 的相对生态位重迭值用以下公式计算:

$$Q_{(a, c)} = \frac{O_{(a, c)}}{O_{(a, c)} + O_{(b, c)}}$$

种 c 对种 b 的相对生态位重迭值:

$$Q_{(b, c)} = \frac{O_{(b, c)}}{O_{(b, c)} + O_{(a, c)}}$$

显然, $Q_{(a, c)} + Q_{(b, c)} = 1$

1.3 各演替种的生态位宽度按以下公式计算:

$$H = -\sum_i p_i \ln p_i / \ln N$$

此处, p_i 是某种动物在第 i 项资源(i 站点)中出现的数目占该动物所有站点个体总数的比例。N 为每个资源序列的总单位数。

2 结果

水磨河指示生物优势种为钩虾、流放环足摇蚊、带丝蚓、霍甫水丝蚓。根据指示生物的耐污习性和在各监测点的密度及分布状况, 对轻污性种类钩虾、中污性种类流放环足摇蚊等 7 个种, 重污性种类霍甫水丝蚓等 6 个种, 共计 14 个水磨河演替系列中较重要的种类, 进行生态位分析。以上步骤用 BASIC 语言编制程序, 在计算机上实现, 得出结果如下:

2.1 底栖动物在污染水体中的水平分布

从底栖动物在水磨河中水平分布的总频率看(图 1), 大多分布在中污性的 2、3 站点之间(约占总数的 58.4%), 这是由于优势种流放环足摇蚊在 2、3 两站点出现的机率较大。分析各种底栖动物在水磨河的水平分布状况(图 1a—n), 可将它们分成 4 种主要的生境类型: ① 钩虾型的轻污种类, 主要分布在站点 1, 群落主要种类为钩虾 + 层厉刀突摇蚊; ② 流放环足摇蚊型的中污种类, 主要分布在 2、3、4 三站点, 主要种类为流放环足摇蚊 + 平盘螺 + 层厉刀突摇蚊; ③ 带丝蚓型的重污种类, 主要分布在站点 5, 主要种类为带丝蚓; ④ 霍甫水丝蚓型的重污种类, 主要分布于站点 6, 种类结构为霍甫水丝蚓 + 正颤蚓 + 短吻虫 + 苏氏尾鳃蚓。

种的生态位宽度表示种对生态因子的适应范围^[8], 可反映底栖动物的活动范围和强度。将各底栖动物在水磨河水平分布的生态位宽度一并附于图 1 中。种的生态位宽度值由大到小的顺序为: 层厉刀突摇蚊(0.63)、三棘刚毛突摇蚊(0.62)、三横带环足摇蚊(0.59)、苏氏尾鳃蚓(0.58)、林间真环足摇蚊(0.57)、平盘螺(0.56)、流放环足摇蚊(0.48)、石栖流水直突摇蚊(0.46)、短吻虫(0.38)、霍甫水丝蚓(0.32)、正颤蚓(0.29)、带丝蚓(0.25)、钩虾(0.20)、暗绿线仙女虫(0.07)。

2.2 种的生态位排序及聚类分析

通过计算群落内两物种之间的生态位重迭值, 得到群落矩阵表 1。选种 1(钩虾)作为相对生态位排序轴的右端点, 值记为 1, 种 12(霍甫水丝蚓)作为左端点, 值记为 0, 就获得水磨河中各种底栖动物相对于钩虾或霍甫水丝蚓的生态位排序图(图 2)。同时对表 1 水磨河底栖动物生态位重迭矩阵进行改造, 经 4 次迭代后, 得模糊等价矩阵, 绘

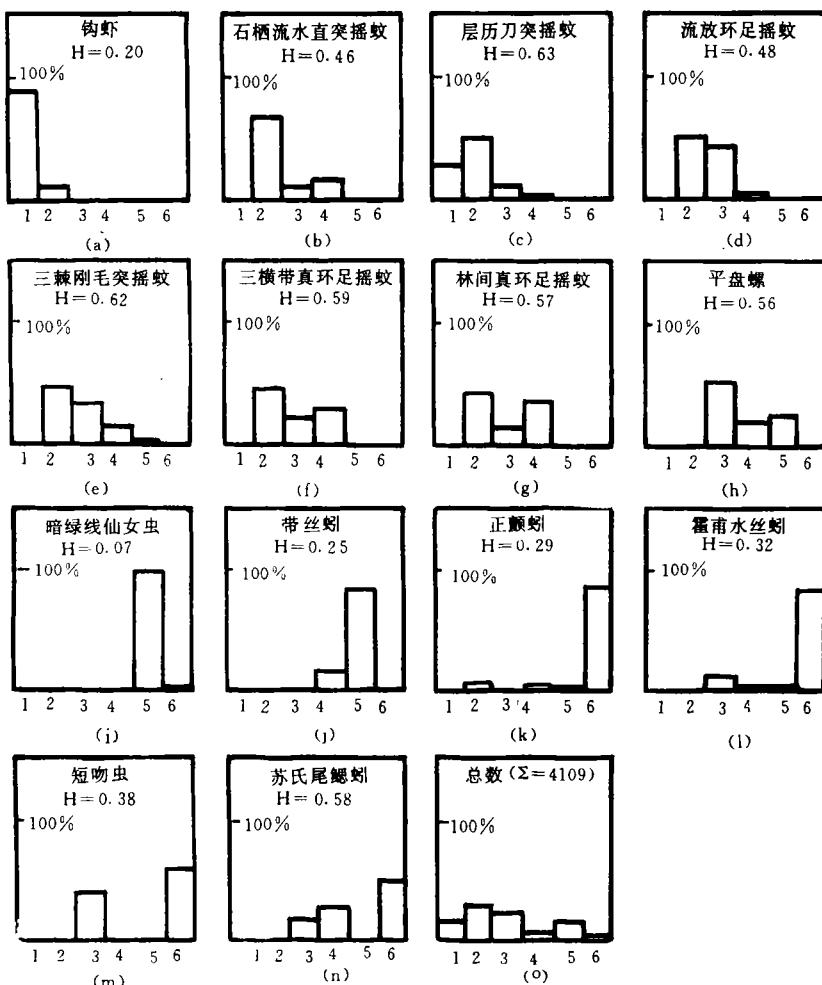


图 1 水磨河 6 个站点 14 种底栖动物的水平分布频率

Fig.1 Distribution of level for 14 benthic animal species at the six stations in Shuimo river

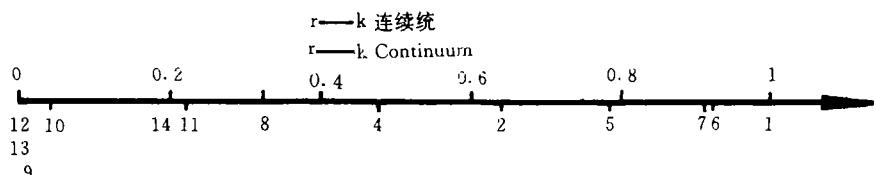


图 2 各演替种的生态位重选排序

Fig.2 Niche overlap ordination of successional species

出聚类图(图3)，依此来分析水磨河底栖动物群落的种间关系及生态意义。

表1 水磨河底栖动物生态位重叠矩阵

Tab.1 Matrix of niche overlap of benthic animal in Shuimo River

种号	No.	of species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 钩虾	<i>Gammarus</i>	1	.994	.9217	.0666	.2249	.5727	.5192	.0342	0	.0031	.1410	.0254	0	.1914	
2 石柄流水直突摇蚊	<i>Rheorthoc latus saxicola</i>	1	.7424	.0244	.8420	.8398	.8197	.2053	0	.0186	.1868	.0508	0	.5747		
3 层厉刀突摇蚊	<i>Psectrocladius striatus</i>	1	.0249	.6906	.6795	.6394	.1027	0	.0093	.1868	.0508	0	.5747			
4 流放环足摇蚊	<i>Cricotopus exilis</i>	1	.0210	.9882	.8887	.6808	.0183	.3157	.0444	.0734	0	.5745				
5 三棘刚毛突摇蚊	<i>Trichocladius gr. trifascia</i>	1	.8299	.8197	.2205	.0092	.0199	.2071	.0621	0	.5745					
6 三横带真环足摇蚊	<i>Eucicotopus trifascianus</i>	1	.8887	.3080	0	.0279	.1868	.0508	0	.5747						
7 林间真环足摇蚊	<i>E. sylvestris</i>	1	.3030	0	.0279	.1868	.0508	0	.5745							
8 平盘螺	<i>Valvata cristata</i>	1	.2110	.0905	.0836	.0734	0	.5745								
9 暗绿线仙女虫	<i>Ophidionais serpentina</i>	1	.1459	.0377	.0565	.6000	.2553									
10 带丝蚓	<i>Lumbricillus incostans</i>	1	.0076	.0734	0	.5745										
11 正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	1	.5028	.0674	.8085											
12 鲤甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	1	.0339	.8085												
13 短吻虫	<i>Naidium sp.</i>	1	.2553													
14 苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbii</i>	1	.1													

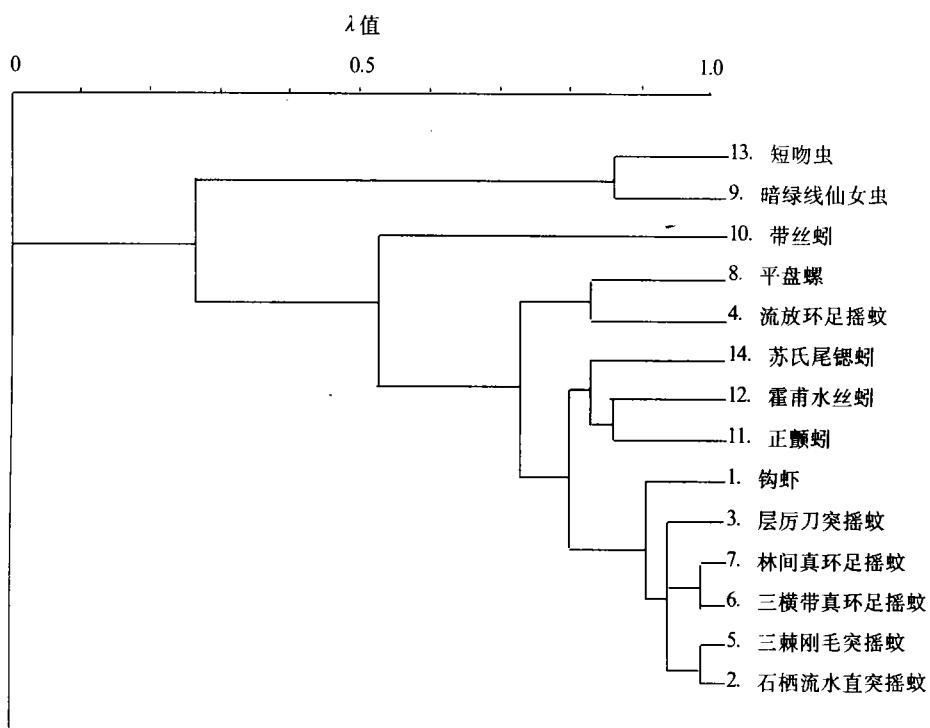


图 3 水磨河底栖动物群落聚类图

Fig.3 Dendrogram of ecological relations among 14 lentic animal species in Shuimo rever

3 讨论与结论

3.1 种的生态位排序

通过种间生态位重迭的计算，用一个 r 对策种(霍甫水丝蚓)和一个 k 对策种(钩虾)作为数轴的两个端点，将其他种与这两个种的相对生态位重迭值亦标示在此轴上，便显示出水磨河底栖动物 $r-k$ 连续统上各物种的相对生态学特性。从图 2 的分析可以看出，水磨河相对的 r 对策种为排序轴左端重污性的霍甫水丝蚓等 3 个种，其耐污能力极强，可产生大量的个体以适应重污环境，从左至右经中间类型种 4 流放环足摇蚊，种群对策逐渐由 r 向 k 转化，直至排序轴右端点相对为 k 对策种的钩虾，钩虾多生活在轻污水体中，但其在清洁至中污水体中也可少量出现，其生态幅较广。

从左至右，种的排序实质上是 $r-k$ 连续统或准确地说是 $r-k$ 连续统的一段区间中种对水体污染水平适应特征的序列。14 个种在排序轴上的位置定量地显示了其生存对策，一般清洁或轻污性种类常是 k 对策种，重污性种类多为 r 对策种，中污性种类介于二者之间，常为中间类型。

3.2 群落集群类型

所谓集群是指那些利用相同资源且表现出类似的生态习性的种的集合，集群内的种必定显示出对某种污染的相似性。一个集群内的种的耐污习性基本相似，但由于底栖动

物所栖息的水环境的变化是连续的，因而不能把它们截然划分为互不相容的集群，必须将生境与种群的变化联系起来，按种群耐污习性的差异来描述集群。

从图3可看出：当 $\lambda=0.78$ ，水磨河底栖动物群落是由4个集群和1个边缘种组成。

(1) 偏k对策种集群：生态习性介于轻污和中污之间，由轻污性的钩虾，中污性的石栖流水直突摇蚊、层厉刀突摇蚊、三棘刚毛突摇蚊、三横带真环足摇蚊、林间真环足摇蚊组成，多分布在1、2站点。

(2) r—k中间种集群：仅由群落中两个生态习性属中污类型的优势种平盘螺和流放环足摇蚊组成，主要分布在3、2站点。

(3) 偏r对策种集群：生态习性为重污性，由正颤蚓、霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓组成，主要分布在第6站点，少数亦可出现在第4站点。

(4) r对策种集群：仅由两个重污性种类暗绿线仙女虫和短吻虫组成，主要分布在第5和第6站点。

上述四个集群的耐污习性依次增强。

群落边缘种带丝蚓为重污性种类，只出现在第5站点，由于在生态位分布上与其它种相差较大，在聚类分析中与其他种相分离而未能形成集群，只能作为狭生态幅种而联接在集群的外侧，系相对的r对策种。

3.3 生态位重迭值在预测种群生境变化趋势中的意义

种的生态位分析是要在n维资源空间中，测定每个点上种的适合性数据(密度、重要值、生物量等)，但在实际工作中，测定每一个资源维度上种的各种适合性数据是极其困难的。Hurlber^[10]提出在生境梯度上测定种的适合性，于是生境梯度上的每个样地便被近似地认为是一个资源位，种的生态位分析就转入每个样地中种的适合性的计测。

在种生态位分析中，生态位重迭是一个重要的内容，它常被用来间接估算竞争方程中的竞争系数^[11—14]，Levins将Lotka—volterra竞争方程推广到有n个种共存的情况^[15]：

$$\frac{dx_i}{dt} = r_i x_i \frac{\left(K_i - x_i - \sum_{j \neq i}^n a_{ij} x_j \right)}{K_i} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

当平衡时 $dx_i/dt = 0$ ，则

$$K_i = X_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j$$

将水磨河6个站点14个种的 x_i 代入上式，即可求得平衡状态下各站点14个种的环境负载量值，应用Shannon—Wiener多样性指数计算、评价并预测14个种群达到平衡后6个站点的生境污染类型，它可以提供平衡状态下种群生境的环境质量，预测种群的可能变化。

参 考 文 献

- [1] 许设科等。水磨河水体污染的生物学调查。新疆大学学报，1982，(2): 94—103。
- [2] 杞桑等。用大型底栖动物再次对珠江广州河段污染的评价。环境科学学报，1985，5(3): 354—359。

- [3] 陆强国。利用底栖动物的群落结构进行洞庭湖水质的生物学评价。环境科学, 1985, 6(2): 59—63。
- [4] 石大康。底栖动物在评价漓江水质污染中的作用。环境科学, 1985, 6(3): 54—57。
- [5] 杨昌述。沱江干流底栖动物调查及水质生物学评价。环境科学, 1987, 8(5): 50—55。
- [6] 刘建军。生物指数在评价水磨河水体污染中的应用。干旱环境监测, 1988, 2(1): 32—37。
- [7] 刘建军。用底栖动物评价水磨河的污染程度——兼论 Morisita 指数的污染指示意义。生态学杂志, 1989, 8(5): 52—54, 67。
- [8] 王刚等。鼢鼠土丘植被演替过程中的种的生态位分析。生态学杂志, 1990, 9(1): 1—6, 14。
- [9] 贺仲雄。模糊数学及其应用。天津: 天津科学技术出版社, 1983。
- [10] Hurlbert S H. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology*, 1978, 59: 66—77.
- [11] Brown J H, and Lieberman G A. Resource utilization and coexistence of seed-eating desert rodents in sand dune habitats. *Ecology*, 1973, 54: 788—797.
- [12] May R M. Some notes on estimating the competition matrix. *Ecology*, 1975, 56: 737—741.
- [13] Pianka E R. Niche overlap and diffuse competition. *Proc. Natl. Acad. Sci., U. S.*, 1974, 71: 1241—1245.
- [14] Schoener T.W.. The anolis lizards of Bimini: resource partition in a complex fauna. *Ecology*, 1968, 49: 704—726.
- [15] Levins, R., Evolution in changing environment: some theoretical explorations. Princeton University Press. pp. 14—20, 41—45, 50—55. 1968.

THE NICHE ANALYSIS OF BENTHIC ANIMAL COMMUNITY IN SHUIMO RIVER

Liu Jianjun and Xu Yanhua

(The Environmental monitoring Central Station of Xinjiang, Urumqi 830011)

Abstract

By using niche analysis for 14 dominant species at the six station in Shuimo River, Urumqi, the relationships between community structure and water pollution were discussed. The niche ordination from the overlap matrix resulted in a r-k continuum of successional gradients, and based on it the community dendrogram was also made by cluster analysis. The community was separated into four guilds and one fringe species. The author described the polluted characteristics of each guilds of benthic animals and ecological strategy of successional species.

Key words Niche overlap, r-k Continuum, Cluster analysis, Species succession