

梅子垭水库生态因子场的地统计学分析

赵 斌 蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所;淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

摘要:应用地统计学方法,对梅子垭水库的典型理化因子的生态因子场的水平的2维空间格局进行了分析。通过空间相关性的分析,确定了生态因子场的整个空间和不同方位上的空间格局的变化情况。

关键词:生态因子场;地统计学;半方差;梅子垭水库

中图分类号: Q178 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)05-0487-06

地统计学(Geostatistics)近年来被应用于昆虫学、植物保护学研究中,为研究病虫的空间迁移扩散和分布关系等提供了强有力的工具^[1]。虽然地统计学仅在近几年里才被应用到生态学研究,然而它已显示出很大的潜力^[2-6]。利用地统计学方法,以水体叶绿素a的浓度场的空间为例,说明了这种方法在水生态系统空间格局的分析中的应用前景^[7]。本文在此基础上对梅子垭水库的一些典型理化因子作了较详细地探讨。

1 采样方法和分析步骤

采样方法同前文^[7]和分析步骤同前文^[8],并获得相应的结果。

2 结果分析

2.1 数据的正态分布检验

用Kolmogorov-Smirnov(K-S)正态分布检验概率(P_{KS})对生态因子的原始数据进行检验(表1)。表1所列的数据是在分组数限定为10—21范围内,对不同的分组分别计算,取P为最大时的结果^[9]。

检验时取显著性水平 $\alpha=0.05$ 。若 $P_{KS}\geq 0.05$,则认为数据服从正态分布。从表1可见,除了1997年5月份水温的数据组和1997年6月份电导率的数据组外,其他各项指标均服从正态分布。这两组数据将不参与后面的分析。

2.2 地统计学分析

表2—4显示了具体的分析步骤。其中表2说明各因子空间分布的总体状况,表3的组合模型(Composed model)用于对其分布状况进行辅助说明,表4主要用于解释空间结

收稿日期:1999-10-15;修订日期:2000-05-30

基金项目:国家自然科学基金项目(39670150);国家“九五”科技攻关专题(96-920-04-12)

作者简介:赵斌(1969—),男,湖北钟祥人,主要从事淡水生态学研究 and 网络信息系统开发工作

构的方向性特征及空间异质性特征。

表 1 原始数据的正态分布检验

Tab.1 Normal distribution test of original data

指标	1997.5			1997.6			1997.7		
	分组	P	P _{K-S}	分组	P	P _{K-S}	分组	P	P _{K-S}
Sd	10	0.098	>0.05	16	0.070	>0.05	13	0.287	>0.05
T	12	0.025	<0.05	16	0.386	>0.05	—	—	—
pH	15	0.275	>0.05	14	0.257	>0.05	16	0.060	>0.05
Cond	12	0.479	>0.05	15	0.039	<0.05	19	0.083	>0.05
DO	16	0.206	>0.05	10	0.234	>0.05	—	—	—
TP	14	0.740	>0.05	20	0.196	>0.05	14	0.129	>0.05
TN	13	0.969	>0.05	14	0.349	>0.05	12	0.373	>0.05
COD	12	0.071	>0.05	15	0.101	>0.05	19	0.529	>0.05

表 2 其他因子的各向同性实验半方差函数

Tab.2 Isotropic experimental semivariogram of other factors

因子	采样时间 (月)	模型	块金 C ₀	基台 C ₀ + C	变程 a	空间结构比率 C/(C ₀ + C)	决定系数 R ²
Sd	5	球形	47.50	133.60	7.61	0.644	0.679
	6	线形	37.70	65.72	9.43	0.426	0.591
	7	线形	2.40	158.62	9.43	0.985	0.959
T	5	线形	0.01	0.20	9.26	0.950	0.781
	6	线形	0.15	0.71	9.43	0.789	0.890
pH	5	球形	0.00	0.01	1.86	1.000	0.181
	6	球形	0.00	0.01	3.31	1.000	0.768
	7	球形	0.00	0.01	3.70	1.000	0.486
Cond	5	线形	0.99	3.10	9.26	0.681	0.784
	6	线形	0.10	105.71	9.43	0.999	0.972
	7	线形	54.30	70.83	9.43	0.233	0.088
DO	5	球形	0.01	1.39	3.05	0.993	0.236
	6	球形	0.00	0.18	0.89	1.000	0.000
TN	5	指数	0.00	0.01	0.06	1.000	0.000
	6	球形	0.00	0.02	2.95	1.000	0.467
	7	球形	0.00	0.01	0.89	1.000	0.000
TP	5	线形	56.60	92.25	9.43	0.388	0.383
	6	高斯	35.60	111.06	13.55	0.679	0.898
	7	高斯	43.40	214.00	12.45	0.799	0.863
COD	5	线形	0.05	0.08	9.43	0.375	0.347
	6	球形	0.01	0.07	0.89	0.857	0.000
	7	球形	0.01	0.09	1.62	0.889	0.254
TSI	5	指数	0.12	8.39	10.20	0.986	0.535
	6	线形	1.50	2.58	9.43	0.419	0.556
	7	球形	0.08	0.91	3.49	0.912	0.931

表 3 其他因子的各向异性实验半方差函数
Tab.3 Anisotropic experimental semivariogram of other factors

因子	时间 (月)	模型	块金 C ₀	基台 C ₀ + C	变 程 a	变 程 a	空间结构比率 C/(C ₀ + C)	决定系数 R ²
Sd	5	指数	43.90	344.50	52.02	52.02	0.873	0.412
	6	线形	46.30	288.00	111.10	251.70	0.839	0.247
	7	线形	8.70	231.90	12.16	22.78	0.962	0.558
T	5	球形	0.00	0.44	20.28	20.28	0.995	0.650
	6	指数	0.11	1.33	44.67	44.70	0.918	0.380
pH	5	指数	0.01	0.02	714.90	715.20	0.747	0.141
	6	指数	0.00	0.02	63.81	180.21	0.815	0.102
	7	指数	0.01	0.04	100.20	731.10	0.792	0.159
Cond	5	线形	1.28	7.73	44.12	45.78	0.834	0.533
	6	线形	0.10	157.46	13.73	16.41	0.999	0.830
	7	线形	28.60	245.45	29.56	29.56	0.883	0.474
DO	5	指数	0.99	3.87	42.60	253.10	0.744	0.293
	6	指数	0.19	1.03	22473.00	22473.00	0.821	0.115
TN	5	线形	0.01	0.11	207.90	208.00	0.904	0.179
	6	指数	0.01	0.05	150.30	403.50	0.702	0.201
	7	指数	0.01	0.06	1524.00	9750.00	0.850	0.340
TP	5	线形	46.60	514.30	56.50	103.87	0.909	0.383
	6	线形	28.50	159.99	20.56	20.56	0.822	0.427
	7	线形	2.99	447.81	21.23	28.39	0.942	0.373
COD	5	指数	0.04	0.18	38.49	170.07	0.791	0.374
	6	线形	0.05	0.35	62.68	77.17	0.873	0.389
	7	指数	0.08	0.53	39.30	924.40	0.848	0.193
TSI	5	线形	2.99	17.45	19.26	46.84	0.829	0.310
	6	线形	1.75	6.16	51.00	261.50	0.716	0.375
	7	指数	0.29	2.57	48.12	48.15	0.887	0.369

由表 2 和 3 中可见:绝大多数指标的空间结构比率值较大,有的甚至等于 1,这说明在小尺度空间中被研究对象的变化较小,当前的采样密度对于本研究是足够的^[10-11]。比较表 4 中全方向和 S-N 方向上的 D 值可以发现:虽然 S-N 方向在空间走向上占有绝对优势,但是全方向上的变化并不总是同 S-N 方向的变化保持一致,有些因子还有很大差别(如总磷),这说明降雨作用后,除了水流对生态因子场的分布格局有较大影响外,还存在其他的影响因素。

透明度(Sd) 在所研究的三个月中均表现了较为明显的空间结构,且降雨因子的作用使其空间依赖范围增大(变程由 7.61 增加至 9.43),空间结构表现得更加明显(R² 由 0.679 增加到 0.959),聚集分布的程度更大,空间异质性程度增加(全方向上 D 值由 1.850 减少到 1.537)。除了 E-W 方向上空间结构的强度有所减弱外,其他各个方向上的空间结构均有不同程度的增强,特别 S-N 方向上增加非常明显。说明降雨过程使透

明度空间异质性增强,在很大空间范围内($a = 9.43$)出现有规律的梯度变化。全方向上的变化同 S-N 方向上的变化基本一致。

表 4 其他指标在全方向 and 不同方向上的分形维数(D:分形维数; R^2 :确定系数)

Tab.4 Isotropic and anisotropic fractal dimension of other factors

因子	时间 (月)	全方向		S-N		NE-SW		E-W		NW-SE	
		D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2
Sd	5	1.850	0.648	1.967	0.055	1.833	0.590	1.680	0.339	1.713	0.701
	6	1.905	0.525	1.626	0.640	1.713	0.565	1.941	0.023	1.764	0.475
	7	1.537	0.956	1.550	0.903	1.513	0.808	1.825	0.128	1.549	0.759
T	5	1.588	0.899	1.587	0.794	1.224	0.846	1.821	0.032	1.100	0.760
	6	1.733	0.923	1.881	0.347	1.986	0.005	1.622	0.231	1.589	0.719
pH	5	1.989	0.005	1.912	0.175	1.718	0.152	1.808	0.015	1.878	0.072
	6	1.764	0.585	1.762	0.500	1.767	0.251	1.888	0.179	1.837	0.349
	7	1.918	0.399	1.931	0.091	1.727	0.487	1.834	0.021	1.808	0.186
Cond	5	1.776	0.801	1.745	0.507	1.556	0.547	1.663	0.785	1.749	0.836
	6	1.409	0.965	1.382	0.989	1.291	0.843	1.590	0.612	1.243	0.976
	7	1.966	0.038	1.886	0.117	1.956	0.182	1.445	0.740	1.713	0.907
DO	5	1.942	0.044	1.914	0.045	1.443	0.255	1.712	0.589	1.878	0.185
	6	1.894	0.414	1.948	0.062	1.888	0.141	1.908	0.062	1.649	0.598
TN	5	1.963	0.122	1.991	0.004	1.819	0.611	1.950	0.028	1.513	0.450
	6	1.902	0.292	1.897	0.298	1.367	0.512	1.977	0.003	1.921	0.096
	7	1.985	0.023	1.746	0.667	1.739	0.370	1.603	0.262	1.733	0.321
TP	5	1.919	0.291	1.839	0.416	1.647	0.332	1.332	0.572	1.819	0.214
	6	1.799	0.702	1.613	0.715	1.975	0.003	1.817	0.201	1.877	0.207
	7	1.724	0.559	1.635	0.717	1.621	0.453	1.578	0.133	1.999	0.000
COD	5	1.924	0.303	1.862	0.557	1.232	0.318	1.676	0.477	1.484	0.468
	6	1.996	0.002	1.908	0.393	1.628	0.677	1.803	0.293	1.911	0.270
	7	1.968	0.114	1.840	0.527	1.681	0.436	1.789	0.105	1.510	0.329
TSI	5	1.674	0.638	1.663	0.594	1.492	0.342	1.983	0.001	1.280	0.626
	6	1.913	0.439	1.800	0.827	1.706	0.771	1.888	0.093	1.965	0.022
	7	1.826	0.695	1.930	0.299	1.426	0.801	1.782	0.599	1.007	0.469

水温(T) 在所测定的两个月中都表现出较明显的空间结构,且空间依赖范围较大($a = 9.26$ 和 9.43)。降雨因子对其总的空间格局没有较大的影响,但对其方向性有一定的影响:由 S-N 方向的空间结构性变成 NW-SE 方向上的空间结构性,全方向上的变化同 S-N 方向上的变化一致,有向均匀分布格局变化的趋势,其空间结构比率和空间依赖相应范围都有不同程度的降低。

pH 值 情况比较特殊,在所研究的三个月中,其空间结构比率都为 1,说明在当前的采样密度下,总变异全部是由空间依赖性产生的。而且在降雨作用后,空间依赖范围还有不同程度的增加,增加强度同降雨强度保持一致(变程由 5 月份的 1.86 增加到 6 月份的

3.31,再增加到7月份的3.70)。全方向上的变化同S-N方向上的变化基本一致。虽然从表4中的D值来看,pH值似乎在5月份表现出非常强的均匀分布格局($D=1.989$),但 R^2 太小,仅为0.005,所以不能说明pH值的分布情况,同时比较表2和表3, R^2 都很小,所以,只能认为pH值在降雨前的分布格局最有可能是随机分布。之后在降雨作用下,变成了小尺度空间的聚集分布,7月份变成了真正的均匀分布格局。

电导率(Cond) 在所进行研究的三个月中,电导率的空间依赖范围都比较大($a=9.26-9.43$),5月份到6月份(较少降雨作用)的空间特征也比较明显,空间结构比率也比较大,同时在不同的方向上也有非常明显的空间特征。7月降雨作用后,空间结构比率和空间变化范围降低,分布状况变得随机,无明显的空间结构,但全方向上的变化同S-N方向上的变化一致。

溶解氧(DO) 两次测定结果表明,没有明显的空间结构特征,是随机分布的。

总氮(TN) 同溶解氧一样,在三月份中,总氮均没有明显的空间结构特征。

总磷(TP) 空间结构比较明显。而且经降雨作用后,其空间依赖范围增加比较明显,分布格局也由近似的均匀性分布变成聚集性分布,空间异质性增强,这同其他指标的变化情况相反。说明除了降雨的作用外,总磷的分布在很大程度上可能还受到其他因子的影响。

化学耗氧量(COD) 三个月中没有明显的空间结构特征,可认为是随机分布格局。

TSI TSI是一个综合因子,它受叶绿素a、透明度、TP三个因子的影响。这三个因子均有较强的空间结构,TSI相应表现出较强的空间结构特征。在降雨作用下,TSI的空间依赖范围降低(变程由10.20下降为3.49),空间异质性也有降低的趋势(全方向上的D值从1.674上升至1.826),全方向上的变化同S-N方向上的变化也基本一致。空间结构的方向性在降雨的作用下由S-N和NW-SE转变成E-W和NE-SW。

3 讨论

通过用地统计学方法对梅子垭水库生态因子场的空间分布特征进行的研究表明,所研究的9种因子的实验数据均服从正态分布,它们具有良好的空间结构性,大多可用线形模型和指数模型进行拟合。

在梅子垭水库中,S-N方向由于空间走向的优势,对整个水库生态因子场空间格局的变化起主导作用,特别是在降雨作用后,水体中的生态因子场由于受客水的稀释(也可能是浓度增加)和水流的冲刷,空间分布格局受较大的影响,所以大多数生态因子场空间格局的变化在全方向上和S-N方向上的变化非常一致,当然也有一些因子的变化不符合这种变化情况,这说明除了降雨的作用外,这些生态因子场的分布在很大程度上可能还受到其他因子的影响。

从生态因子场的空间格局变化来看,在降雨作用后,大多数因子由聚集性分布转变成均匀性的分布,还有一些因子在降雨前后都没有表现出明显的空间格局,而且其分布状况受降雨因子的影响不大。总之,本研究明确了几种生态因子场的空间分布格局,确定了空间依赖范围,这有助于实验调查的抽样设计,确保实验重复间的独立性。并保证获取同源样本的距离尺度。

地统计学中的半方差函数是分析生态系统中生态因子空间格局的强有力的方法,根据半方差函数的形状和参数,可以推知空间格局的类型以及评估变量随机性和结构性所占成分,测定空间依赖范围及决定变量的最大变异方向。如果结合时间序列的分析,则可以给出动态的空间格局和扩散特征并进行预测。

参考文献:

- [1] 石根生,等. 马尾松毛虫越冬代蛹空间格局的统计学描述[A]. 陈晓峰. 生态环境研究与可持续发展[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997. 415—422
- [2] Robertson G P. Geostatistics on ecology: interpolating with known variance [J]. *Ecology*, 1987, **68**(3):744—748
- [3] Legendre P, *et al.* Spatial pattern and ecological analysis [J]. *Vegetatio*, 1989, **80**:107—138
- [4] Li H, *et al.* A geostatistical analysis of spatial patterns of alternative forest cutting patterns: a simulation approach [J]. *Ecological applications*, 1991, **1**:344—382
- [5] 李哈滨,等. 景观生态学的数量研究方法[A]. 刘建国. 当代生态学博论[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1992, 209—233
- [6] 蔡庆华,等. 芦苇生长格局分形特征的初步研究[J]. 水生生物学报,1998,**22**(2):123—127
- [7] 赵斌,蔡庆华. 分形理论对水生态系统空间格局研究初探[J]. 水生生物学报,2000,**24**(5):474—480
- [8] 赵斌,蔡庆华. 地统计学分析方法在水生态系统研究中的应用[J]. 水生生物学报,2000,**24**(5):514—520
- [9] 姜炳麟,等. 数理统计疑问解析[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1993,182—197

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF ECOLOGICAL FACTOR FIELD IN MEIZIYA RESERVOIR

ZHAO Bin and CAI Qing-hua

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences;*

State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072)

Abstract: As a preliminary study, this paper deal with geostatistical method to analyze horizontal two-dimension spatial pattern of concentration field of typical physicochemical factors in Meiziya Reservoir. Geostatistics, a new method discussed in to freshwater ecosystem, was chosen for determining variation over all study range (isotropic) and in different direction (anisotropic).

Key words: Ecological factor field; Geostatistics; Semivariance; Meiziya Reservoir