

梅子垭水库生态因子场的分形特征

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:水生态系统由于多了一层水的介质以及水生生物较短的生命周期,使得其生态格局描述相对困难,对其进行定量描述的工作也相对较少。作为一个初步探索,分别应用非线性科学中的分形理论,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,确定各浓度的稳定程度。

关键词:分形理论;分维;梅子垭水库;生态因子场

中图分类号: Q178.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)05-0481-06

生态格局的研究与数学模型的关系非常密切,几乎从诞生之日就和数学结下了不解之缘。无论是关于种群分布类型的统计学检验,还是群落的梯度分析,无一不是建立在数学的推理之上的,它们的发展实际上也主要体现在数学方法的改进上,分形理论在生态学中的应用就是在这种背景下产生的^[1-14]。作者曾经利用地统计学的分析方法对水体藻类叶绿素a的浓度场的水平空间分布格局作了探讨^[15]。在此基础上,选择位于长江中游宜昌县一个小型水库——梅子垭水库水体生态因子中的理化参数的空间格局的分形测度进行进一步的考察,并提取它们的尺度相关性(或与之相反的尺度独立性)。由于在淡水生态系统中,作为非生物环境的理化参数具有相对稳定性,上述获取的结果可为淡水生态系统格局、过程及其尺度相关性的研究奠定良好的基础^[16],从而为定量的宏观生态学研究提供实践和理论依据。

1 采样方法和分析步骤

1997年5—7月,在梅子垭水库以网格的形式均匀划分设定采样点,在某些特定水域根据实际情况增设或减少,最后共设定了43个采样点。数据获得分两个方面:野外测定和室内分析。水深、透明度、水温、pH、电导率和溶解氧在采样时现场测定,总氮(TN)、总磷(TP)、化学耗氧量(COD)带回实验室测定。采样点用GPS与目测相结合的方法进行定位,三次分析的指标和位点均保持一致。分形方法与步骤参照文献[17]进行。

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 网络信息系统的开发工作

2 结果分析

首先考虑几个典型的水体理化指标:透明度(Sd)、水温(T)、pH、电导率(Cond)和溶解氧(DO)(图 1—5),然后考虑水体营养状况的指标:总氮(TN)、总磷(TP)和化学耗氧量(COD)(图 6—8)。

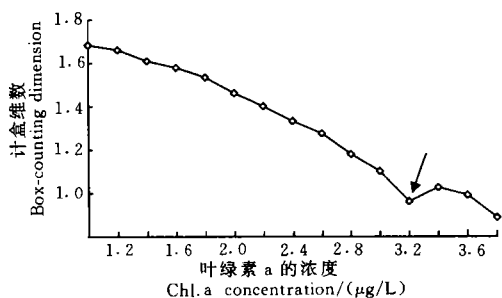


图 1 1997 年 7 月份叶绿素 a 在更小的浓度间隔下不同浓度轮廓线的计盒维数

Fig. 1 Box-counting dimension of smaller concentration interval contour of Chl a of Meiziya Reservoir in July, 1997

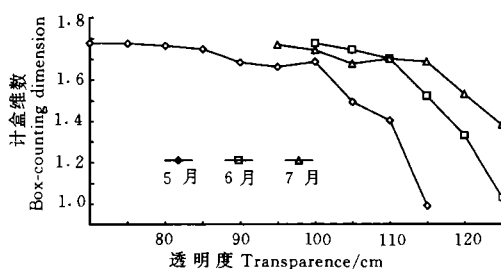


图 2 不同透明度轮廓线计盒维数

Fig. 2 Box-counting dimension of transparency contour of Meiziya Reservoir

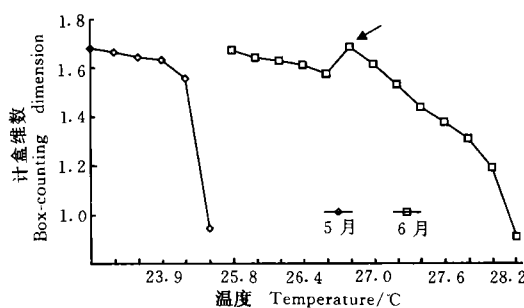


图 3 不同温度轮廓线的计盒维数

Fig. 3 Box-counting dimension of temperature contour of Meiziya Reservoir

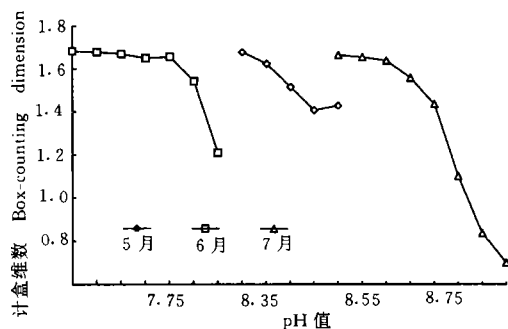


图 4 不同 pH 值轮廓线的计盒维数

Fig. 4 Box-counting dimension of pH value contour of Meiziya Reservoir

2.1 透明度 从图 2 可以明显看出,同其他月份比较来看,梅子垭水库在 5 月份有一个变化幅度相对较宽的透明度场,其中 70—100cm 的透明度占绝对优势,而且各透明度场之间没有较大的变化,是非常均匀的透明度变化状态。6 月份、7 月份没有如此宽幅的变化范围,也看不出均匀变化的透明度范围。所以,降雨影响了透明度场空间格局的均匀变化过程,降雨前,水体的透明度保持非常均匀的变化过程;在较少降雨的条件下(6 月份),进入水库的水主要是直接降落于湖面的雨水,这些水相对干净、清澈,因而水的透明度增加,透明度场在雨水的作用下,透明度之间的差异逐渐消失,空间格局的分布趋于更加稳

定的状态,在大量降雨的条件下(7月份),进入水库的雨水除了直接降落在水库的途径外,还有通过径流等途径进入的,这些水有一定的混浊度,它们进入水库后增加了库岸附近透明度场的褶皱,使得透明度场的分维增加。

2.2 水温 本指标只测定了两个月份:5月份和6月份。从图3可以看出,5月份同6月份水温变化较大,且空间稳定状态也有较大的不同。5月份23.3—24.1℃的水温在空间稳定分布的,至24.3℃温度场的计盒维数急剧下降,其空间占有能力小,是一不稳定温度场,这个温度带将会因水体的热交换而迅速消失。而在6月份,出现一个26.8℃温度场的计盒维数的跃迁,而且跃迁幅度很大,其维数超过了分析中最低温度的分维,是一颇具空间占据优势的温度场,所以,26.8℃是此时水库中最稳定的温度存在值。

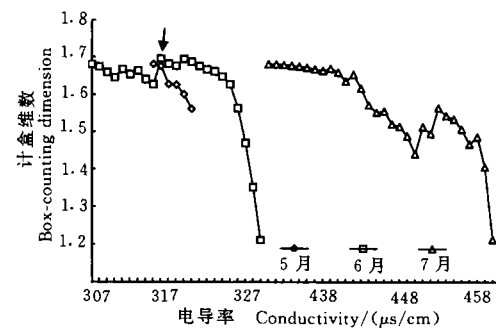


图5 不同电导率轮廓线的计盒维数
Fig.5 Box-counting dimension of electrical conductivity contour of Meiziya Reservoir

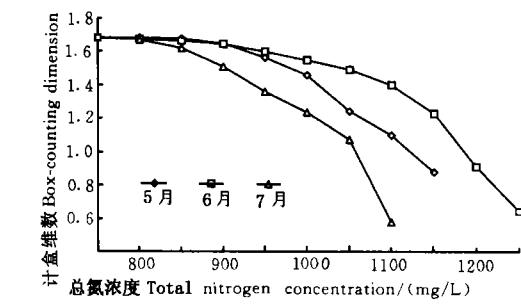


图7 总氮不同浓度轮廓线的计盒维数
Fig.7 Box-counting dimension of total nitrogen concentration contour of Meiziya Reservoir

2.3 pH值 各个月份都存在一个相对稳定的pH值范围。其中7月份各pH值分布维数变化较大,存在一些空间占据范围极小的pH场($\text{pH}>8.75$)。

2.4 电导率 5月份的电导率分布非常稳定,轮廓线无大起大落的分维变化,6月份在316—325 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 的分维比较特殊,其分维值高于了其前面9个分析点,说明这段范围的电

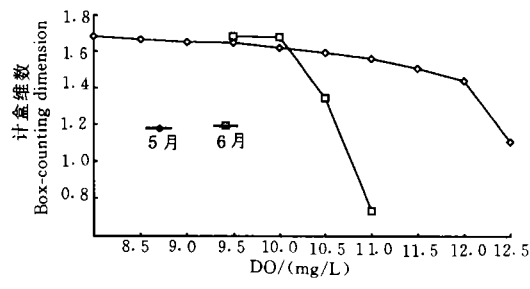


图6 溶解氧不同浓度轮廓线的计盒维数
Fig.6 Box-counting dimension of dissolved oxygen concentration contour of Meiziya Reservoir

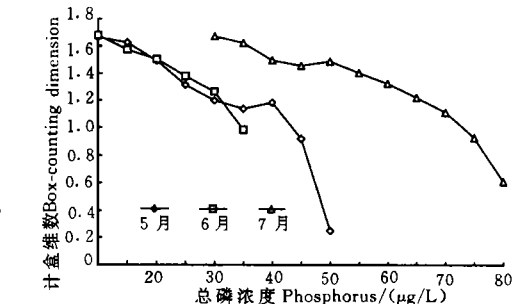


图8 总磷不同浓度轮廓线的计盒维数
Fig.8 Box-counting dimension of total phosphorus concentration contour of Meiziya Reservoir

导率更具空间占据优势。7 月份在 $432\text{--}444\mu\text{S}/\text{cm}$ 的电导率范围内分布非常均匀,在 $450\mu\text{S}/\text{cm}$ 之后有许多起伏变化,反映了这些浓度组的不稳定性,存在着两种对立的变化趋势:有可能扩散而占据更大大空间范围,也有可能被低浓度组稀释而最终消失。

2.5 溶解氧 溶解氧的野外考察也只进行了 5 和 6 月份。5 月份的溶解氧各浓度在全库的分布都非常均匀而稳定,无特别占据空间优势的浓度场存在,稳定分布的溶解氧的浓度范围非常宽: $8.00\text{--}12.00\text{mg}/\text{L}$;6 月份降雨发生后,稳定分布的溶解氧浓度范围变得非常狭窄: $9.50\text{--}10.00\text{mg}/\text{L}$ 。

2.6 总氮 5—7 月份的总氮浓度场变化规律非常一致,只是 7 月份的浓度场空间格局更加稳定,6 月份的浓度场格局非常均匀,各浓度场几乎具有相同的空间格局,5 月份的空间格局处于二者之间。从本研究结果来看,降雨对梅子垭水库的总氮空间格局的分布没有明显的影响。

2.7 总磷 6 和 7 月份总磷的浓度场空间分布格局均比较稳定,5 月份在 $40\mu\text{g}/\text{L}$ 处出现一个小的起伏,但总的情况仍然是比较稳定均匀的空间分布格局。同总氮类似,降雨对于总磷在空间分布格局上没有较大影响。

2.8 化学耗氧量 7 月份出现了两个均匀变化的 COD 浓度范围: $3.3\text{--}3.7\text{mg}/\text{L}$ 和 $4.1\text{--}4.4\text{mg}/\text{L}$,即降雨使得 COD 的分布出现两个稳定的浓度段;6 月份浓度场分布格局比较稳定;5 月份在 $2.2\text{--}2.3\text{mg}/\text{L}$ 浓度组出现起伏,这是相对具有空间竞争优势的浓度场范围。

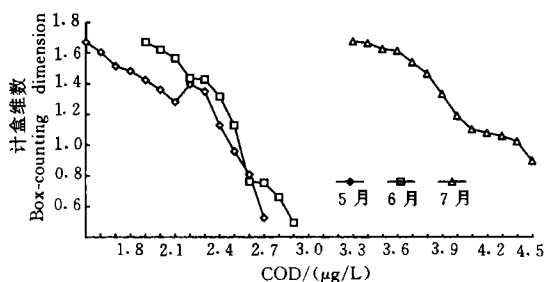


图 9 COD 不同浓度轮廓线的计盒维数

Fig. 9 Box-counting dimension of chemical oxygen demand contour of Meiziya Reservoir

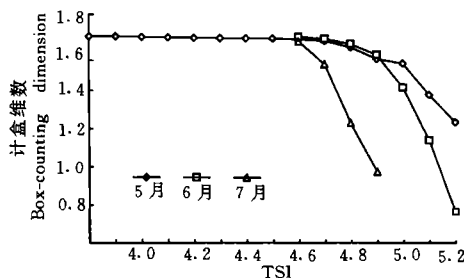


图 10 不同 TSI 轮廓线的计盒维数

Fig. 10 Box-counting dimension of TSI contour of Meiziya Reservoir

2.9 营养状态指数(TSI)的空间占据能力分析 水生态系统是一个复杂的多元系统,变量因子很多。营养概念也是一个多维概念,因此营养状态不能孤立地由一、二个参数来确定,水体的营养状态受多种因素影响和控制,各参数之间相互影响,相互制约。虽然用单一的指标评价营养状态有比较简单、明确和反应灵敏等特点,但这种评价不能反应水体营养状态的真实情况,故有必要采用多种参数组合的综合评价方法。

目前关于湖泊营养状况评价的方法很多。经过比较,认为营养状态指数(TSI, trophic state index)的水质评判方法对研究比较合适。

TSI 最早由美国名尼苏达大学陆地水研究所 Carlson 于 1977 年提出,目前在湖泊水质评价中得到了广泛的应用。1981 年日本学者 Aizaki 修正了 TSI 指数(TSI_m),采用以

叶绿素 a 为基准代替了以透明度为基准,具有更大的实用性和广泛性。

选用这种评价方法主要是因为:(1)该方法将湖泊营养状态的贫营养—富营养连续统划分为 0—100 的连续数值,综合定量地描述湖泊营养状态的连续变化过程,操作简单,可比性较强;(2)TSI 法主要以湖水透明度(Sd)、叶绿素 a(Chl a)浓度和湖水总磷(TP)浓度为指标,分别代表物理的、生物的和化学的指标,具有一定的综合性;(3)梅子垭水库库水的色度、水中溶解物和悬浮物等影响光吸收的因素均较小,对透明度测定影响较小,因此选择以透明度(或叶绿素 a)为基准的 TSI 指数比较可靠。

在 Carlson 指标中的三个因子,相对重要性为:

叶绿素 a > 透明度 > 总磷

综合评价采用蔡庆华所给定的权重分配,即叶绿素 a、透明度、总磷所占的权分别为 0.540, 0.297, 0.1630^[17]。计算结果按以上方法绘图并计算,结果见图 10。

由于 TSI 是一个综合指标,因而不同 TSI 的分布格局一般不会出现大起大落的变化。特别是 5 月份,在很大浓度场范围内(38—50)处于相同的空间竞争状态,浓度场变化异常均匀;而 6 月份和 7 月份在降雨的作用下,不存在均匀的 TSI 场变化。可见降雨对 TSI 空间分布格局的影响是很明显的;不同值的 TSI 在水体中空间占有能力显示出了较大的差异。

一般调和型水体按如下标准进行分类:贫营养 TSI < 37;中营养 TSI = 38—53;富营养 TSI > 55。所以在 5 月份,梅子垭水库的水质处于中营养状态,而且非常稳定,变化非常均匀;而 6—7 月虽然也还在中营养范围内,但比 5 月份已经增加许多,是水体受到外源降雨输入的必然结果。

3 小结

通过以上应用分形理论对梅子垭水库不同生态因子的浓度场分布格局的研究,可以归纳得到如下的结论:

生态因子场是一种分形结构,它存在自相似性,其空间维数为分数,具有空间竞争优势的分维介于 1.3—1.7 之间。

生态因子场自相似性的存在,使得我们寻找到其结构复杂性背后的共同特性,脱离了尺度的束缚,可以采用分形维数对其结构实现准确的定量化描述。生态因子场的分形维数反映出其结构的复杂性程度和占据空间、利用空间的能力。

通过相邻浓度场分形维数的比较,可以使我们从结构的角度了解哪些浓度是稳定存在的,哪些浓度具有较强的扩散潜力,进而为更大尺度空间格局的研究奠定基础。

降雨对上述讨论的生态因子不仅在数量上,而且在空间分布格局上均有一定的影响。藻类叶绿素 a,降雨后浓度下降,空间占据能力降低,藻类的生长速度变得缓慢。

参考文献:

- [1] 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
- [2] 马克明,等. 东北羊草草原群落格局的分数维(Fractal)理论研究[A]. 辛厚文. 分形理论及其应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1993. 258—264

- [3] 张喜军,等. 东北羊草草原主要环境因子的分形分析[A]. 辛厚文. 分形理论及其应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1993. 252—257
- [4] 祖元刚,等. 分形理论与生态学[A]. 李博. 现代生态学讲座[C]. 北京. 科学出版社, 1995. 65—72
- [5] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data [J]. *Natural*, 1981, **194**:240—242
- [6] Harris G P. Pattern, process and prediction in aquatic ecology—a limnological view of some general ecological problems [J]. *Freshwater Biology*, 1994, **32**:143—160
- [7] Krummel J R, *et al.* Landscape patterns in disturbed environment [J]. *Oikos*, 1987, **48**:321—324
- [8] Li D, & Ganczarczyk, J. Fractal geometry of particle aggregates generated in water and wastewater treatment processes [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1989, **23**(11):1385—1389
- [9] Logan, B E. *et al.* Fractal geometry of marine snow and other biological aggregates [J]. *Limnol. Oceanogr.*, 1990, **35**(1):130—136
- [10] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature [M]. W. H. Freeman. 1982
- [11] Milne B T. Measuring the fractal geometry of landscapes [J]. *Appl. Math. and Comp.*, 1988, **27**:67—79.
- [12] Morse, D J. *et al.* Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths [J]. *Nature*, 1985, **314**:731—733
- [13] Palmer M V. Fractal geometry: a tool for describing spatial pattern [J]. *Vegatation*, 1988, **75**:91—102
- [14] Rice J A. Fractal nature of humic materials [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1993, **27**(2):413—414
- [15] 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):515—521
- [16] Fisher S G. Pattern, process and scale in freshwater systems: some unifying thoughts [C]. Giller, P. S, *et al.*, Aquatic Ecology: scale, pattern and process [M], Blackwell Science Ltd. 1994, 575—592
- [17] 赵斌,蔡庆华. 分形理论对水生态系统空间格局研究[J]. 水生生物学报,2000,**24**(5):475—481
- [18] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法[J]. 湖泊科学,1997, **9**(1):89—94

FRactal CHARACTER 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: Water body is incorporated with a medium of water and the aquatic organisms have relatively short life span, and the studies on quantitative aspect of freshwater ecological patterns are relatively few. As a preliminary study, this paper deals with use of fractal theory of nonlinear science to analyze horizontal two-dimension spatial pattern of concentration field of typical physicochemical factors in Meiziya Reservoir. Fractal theory is introduced in this paper for comparing and analyzing spatial occupancy potential of concentration and determining which concentration is of steady presence.

Key words: Fractal theory; Fractal dimension; Meiziya Reservoir; Ecological factor field