

安徽省 1949—2003 年洪旱灾害时序分形特征研究

蔡爱民¹, 查良松²

(1. 滁州学院 国土信息工程系, 安徽 滁州 239012; 2. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 基于安徽省 1949—2003 年的洪旱灾害统计资料, 运用分形理论重构了其嵌入相空间序列, 探讨了其时序的分形特征, 计算出了分维数。研究表明, 洪旱灾害受灾面积的时序分布具有分形特征。相应的饱和分维数分别为 $d = 2.56$ 和 $d = 3.55$ 。饱和关联维数对应的嵌入空间的最小维数为 8.0。Hurst 分析结果显示, 20 世纪 80 年代以来安徽省洪旱灾害受灾面积呈扩大态势。该研究结果可为建立洪旱灾害受灾面积的时序预测预报模型提供依据。

关键词: 洪旱灾害; 分形; 时间序列; 安徽省

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)06—0073—05

中图分类号: P333.2

Time Series Features of Flood and Drought Damaged Areas in Anhui Province From 1949 to 2003

CAI Aimin¹, ZHA Liang-song²

(1. Department of Land Information Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239012, Anhui Province, China;

2. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, Anhui Province, China)

Abstract: Fractal theory was used to rebuild the embed special dimension serials based on the statistical data of flood and drought damage occurred in Anhui Province from 1949—2003. The time serials was discussed and the fractal dimension was computed. The results indicate that time serials of the flood and drought area has fractal feature. The stable fractal dimension is 2.56 and 3.55. The corresponding minimize dimension of the stable relationship is 8.0. Hurst analysis results indicate that the areas of flood and drought are due to rapidly increase after 1980. The result can provide a base research to build the forecast model of the flood and drought damaged area.

Keywords: flood and drought damage; fractal dimension; time serial; Anhui Province

安徽省地处华东腹地, 位于暖温带与亚热带的过渡带, 气候多变, 淮河、长江横贯省境, 天然地把全省分为淮北、江淮、江南 3 大自然区域。年平均降水量由北向南为 770~1770 mm, 主要集中在 6—9 月, 且年际降水量悬殊较大, 洪、涝、旱、渍等自然灾害频繁。由于安徽地处我国南北过渡带, 特殊的地理位置和复杂的气候条件, 既给安徽开发利用水资源提供了便利, 也给安徽的防汛抗旱带来了巨大压力。建国以来, 典型的水灾出现过 4 次, 旱灾出现过 7 次, 给人民生命财产造成了巨大损失, 影响了地方经济的持续健康发展。

洪旱灾害是灾害学的主要研究内容之一, 因其产生机制受到多种因素的影响, 是个复杂的系统, 对其准确预测存在很多困难。自然界在表面无序的状态下常隐藏着某种规律, 非线性数学在研究这些规律时发挥着重要作用, 其中的分形理论是主要方法之一。洪旱灾害系统是由承载体、致灾因子、孕灾环境以及

灾情等多种子系统组成的, 受自然、社会、经济等因素影响的复杂大系统^[1]。分形理论是描述这些现象的有力武器。本文应用分形理论对安徽省 1949—2003 年洪旱灾害面积的时间序列特征展开讨论。

1 形成安徽省水旱灾害的几个主要因素

1.1 气候因素

安徽省位于中纬度地带, 是高空西北环流和太平洋副热带高压的遭遇和控制地带, 具有南北过渡的气候特点。冷暖气团的南进北退, 以及西风带阻塞系统的存在, 直接影响到该省汛期雨带的位置, 往往形成省内南涝北旱、北涝南旱、先旱后涝、先涝后旱。常出现同一年份内, 旱涝同时发生在不同地区, 或先后发生在同一地区, 洪涝旱灾交替发生的现象。在 5—8 月, 冷暖气流常在该省区域上空交锋, 造成集中暴雨而形成洪涝灾害; 当副热带高压西伸控制时, 又会造成长时间的干旱。

1.2 地理因素

安徽省处于长江下游和淮河中游,是长江、淮河的洪水走廊。上游洪水与省境内洪水迭加是造成洪涝灾害的重要因素。安徽省的淮河以北是淮北平原,是黄淮海平原的一部分;江淮之间是起伏不平的丘陵和大别山区;江南则以山地为主;临长江、淮河两岸是沿江圩区和沿淮洼地,地形地貌复杂多样,因此水旱灾害类型较多。

1.3 人类活动的影响因素

发生水旱灾害的因素还深受社会经济发展与生态环境的影响。在社会发展中也产生一些导致环境失调的不利因素。如山区不合理的生产方式,使林草植被遭到破坏,引起水土流失,加剧了水旱灾害。还有与水争地,进行不合理的围湖造田,减少了湖泊、水面滞蓄洪水的功能。

2 分形与混沌

混沌动力学和分形理论是非线性科学中的 2 个重要组成部分。混沌主要在于研究过程的分形特征,分形更侧重于吸引子本身结构的研究^[1]。混沌是一种确定的系统中出现的无规则运动。混沌理论所研究的是非线性动力学混沌,目的是要揭示貌似随机的现象背后可能隐藏的简单规律,以求发现一大类复杂问题普遍遵循的共同规律。

从时间序列研究混沌,始于 Packard 等(1980)提出的重构相空间理论^[2]。对于决定系统长期演化的任一变量的时间演化,均包含了系统所有变量长期演化的信息^[3]。因此,可通过决定系统长期演化的任一变量时间序列来研究系统的混沌行为。已有研究表明洪旱灾害受灾面积的时间序列是一混沌系统^[4-5]。与混沌理论结合紧密地是分形理论,常用来描述混沌形成的时间序列体系。

分形理论是非线性科学的重要理论之一,它是 20 世纪 70 年代中期由 B. B. Mandelbrot 创立的。分形理论的定量工具是“分维”,分维一般用分维数来表示。基于对象的不同,分维数有许多种,但往往只存在细微的差别。大致上可以将分维数分为 2 类^[6]:一类是从纯粹几何学的要求导出的,如勒贝格等人所定义的具有整数性的拓扑维数、豪斯道夫等人定义的不一定非为整数的容量维,此外还包括能反映一个集合中点元素的空间关联特征的关联维;其二为与信息论有关的就概率分布而论的维数,如 Renyi 等人定义的信息维。本文仅就安徽洪旱灾害时间序列的关联维展开讨论。

Ruelle^[7]提出用离散的时间序列 $X(t)$ 和它的连

续漂移构成一个新的 d 维空间(即嵌入相空间),用嵌入相空间代替反映该系统的状态空间,在相空间中, $X(t)$ 为当前的状态, $X(t-\tau)$ 为事隔 τ 后的状态,表示为 $X(t+\tau) = F_\tau[X(t)]$,对于 d 维空间有: $X(t) = \{x(t), x(t-\tau), \dots, x[t-(d-1)\tau]\}$, 嵌入相空间维数一般至少是其状态空间的拓扑维数的 2 倍。计算出重构相空间的关联维数就可以判断出原时间序列是否存在分形特征。

关联维数可以按如下方式计算:对于一个点集,若将距离小于 r 的点对数 $N_i(r)$ 在所有点对数中所占的比例记为 $C(r)$,即 $C(r) = N_i(r)/N(r)$,则

$$D_c = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\lg C(r)}{\lg r} \quad (1)$$

式中: D_c —— 关联维; $C(r)$ 的计算方法为:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_i \sum_j H(r - r_{ij}) \quad (2)$$

式中: r_{ij} —— 点对的欧氏距离; $H(r - r_{ij})$ —— Heaviseide 跃迁函数,它满足:

$$H(r - r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r - r_{ij} \geq 0 \\ 0 & r - r_{ij} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

该维数反映出一个集合中点元素的空间关联特征。

在实际数值计算中,通常给定一些具体的 r 值(r 充分小), r 的取值要高于环境噪声和测量误差造成的矢量差别,在无标度区间 r 内拟合出的 D 值就是关联维的维数。也可以用最小二乘法从时间序列同时计算出关联维和 Kolmogorov 熵^[8]。

对具有分形特征的时间序列采用 R/S 分析法,可以判断该时间序列的趋势性成分,该方法在气候变化中得到很好的应用^[9]。 R/S 分析法最早是由 Hurst 在总结尼罗河的多年水文观测资料时提出的一种分析方法,后来 Mandelbrot and Wallis 又在理论上对该方法进行补充和完善^[10-11],近些年该方法在分形研究中得到许多应用,其主要原理为:

考虑一个时间序列 $\{\xi(t)\}$, $t = 1, 2, \dots$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 定义均值序列:

$$\langle \xi \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (4)$$

累积离差为:

$$X(t, \tau) = \sum_u^t (\xi(u) - \langle \xi \rangle_\tau) \quad (1 \leq t \leq \tau) \quad (5)$$

极差为:

$$R(\tau) = \max_t X(t, \tau) - \min_t X(t, \tau) \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (6)$$

标准差为:

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\xi(t) - \langle \xi \rangle)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (7)$$

考虑比值 $R(\tau)/S(\tau) \triangleq R/S$, 若存在如下关系:
 $R/S \propto \tau^H$ (5)

则说明所分析的时间序列 $\{\xi(t), t = 1, 2, \dots\}$ 存在 Hurst 现象, H 称为 Hurst 指数。 H 值可根据计算出的 $(\tau, R/S)$ 的值, 在双对数坐标系 $(\ln \tau, \ln R/S)$ 中用回归分析法拟合式(3) 得到。根据 H 的大小, 可以判断该时间序列是完全随机的抑或是存在趋势性成分, 趋势性成分是表现为持续性 (Persistence) 还是反持续性 (Anti-persistence) [12]。

Hurst 等人曾证明, 如果 $\{\xi(\tau)\}$ 是相互独立、方差有限的随机序列, 则有 $H = 0.5$ 。对应于不同的 Hurst 指数 $H (0 < H < 1)$, 存在以下几种情况:

- (1) $H = 0.5$, 各项指标完全独立, 相互没有依赖, 序列变化是随机性的。
- (2) $0.5 < H < 1$, 表明时间序列具有长期相关的特征, 即过程具有持续性。反映在受灾面积上, 则表

明未来的受灾整体变化将与过去的变化趋势一致, 如过去整体增大的趋势预示将来的整体趋势还是增大, 反之亦然。且 H 值越接近 1, 持续性就越强。

(3) $0 < H < 0.5$, 表明时间序列也具有长期相关性, 但将来的总体趋势与过去相反, 过程具有反持续性。在这种情况下, 受灾面积的变化趋势将与过去相反。过去的增大趋势预示着未来的减小趋势, 而过去的减小趋势使未来可能出现增大趋势。

3 安徽省旱洪灾害分形特征

统计资料选自《安徽水旱灾害》和《安徽统计年鉴》中关于安徽省 1949—2003 年间的旱洪灾害受灾面积数据 [13], 其时序分布特征如图 1 所示。

时间序列的分维统计资料中所列出的旱、洪水灾害成灾面积时间序列是单一变量的灾情指标。尽管如此, 由于灾情是由灾害系统中致灾因子、孕灾环境共同作用于承灾体而形成的。因此, 它应包含灾害系统的动力学信息, 其分维数是反映该系统的一个状态量, 通常用关联维数来表达。

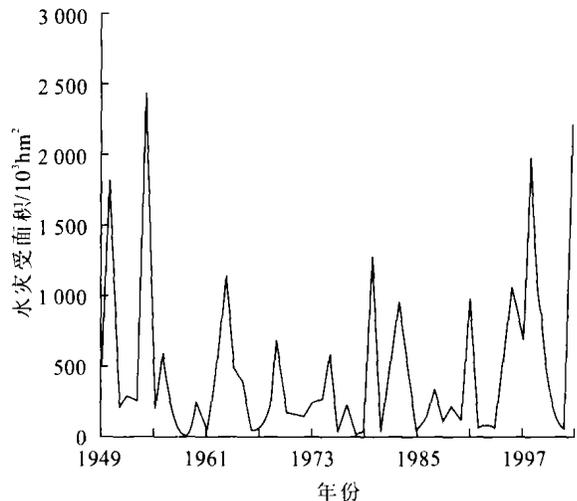
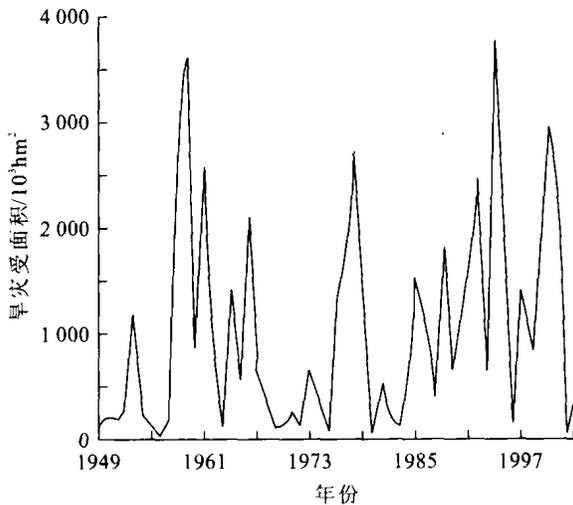


图 1 1949—2003 年安徽省旱、洪灾害受灾面积时序分布

3.1 计算关联维

显然, 旱洪灾害受灾面积的时间序列数据是一维数据, 对其进行相空间重构, 相应的嵌入相空间维数 m 分别取 3, 4, ..., 10。在获得 m 维嵌入相空间的矢量序列后, 利用欧氏距离公式进行计算, 得到一组以零为对称轴的矩阵 r_{ij} 。然后, 选取不同的标尺 r , 利用上述公式(4), (5) 处理相应的矩阵数据, 得到 $\ln r$ 与 $\ln C(r)$ 的关系曲线(见图 2)。

$\ln r$ 与 $\ln C(r)$ 的关系曲线上直线段的出现, 表示存在无标度区, 从而说明原时间序列存在分形特征, 且直线段的斜率就是该时间序列的关联维数。对

明显的线性区段进行线性回归, 获得相应的线性方程, 则该线性方程的斜率即为相应嵌入空间维下的关联维数。

不同嵌入维 m 下, $\ln r$ 与 $\ln C(r)$ 均存在线性相关区域的存在说明, 1949—2003 年间安徽旱洪灾害受灾面积的时间序列存在分形特征, 图 3 给出了不同嵌入维下其关联维 d 的变化特征。从图 3 可以发现, 当嵌入维数 $m \geq 8$ 时, 关联维数趋于稳定, 达到一个饱和值(称之为饱和关联维数), 分别为旱灾 2.56, 水灾 3.55。取最小嵌入维数 $m = 8$, 它表征动力系统的有效自由度数目。

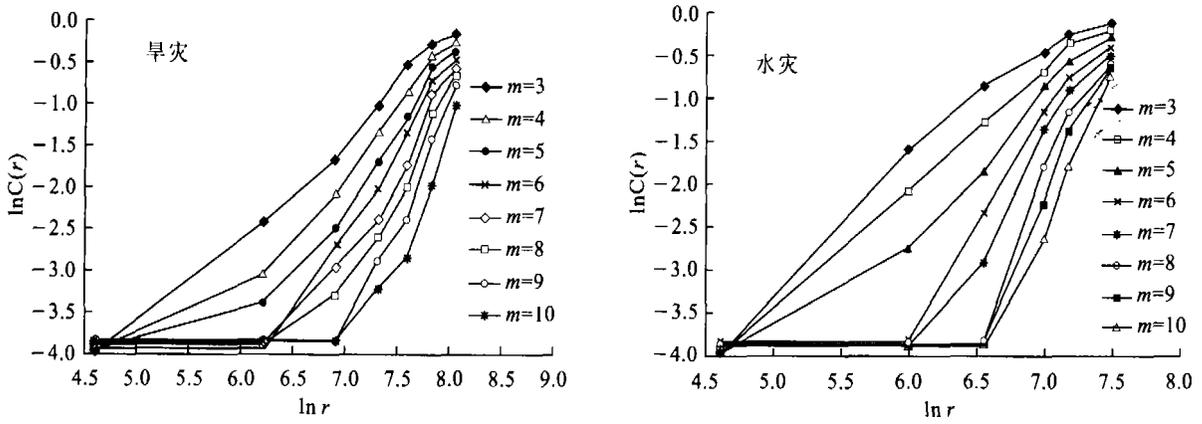


图 2 不同嵌入维 m 下 $\ln(r) - \ln C(r)$ 关系曲线

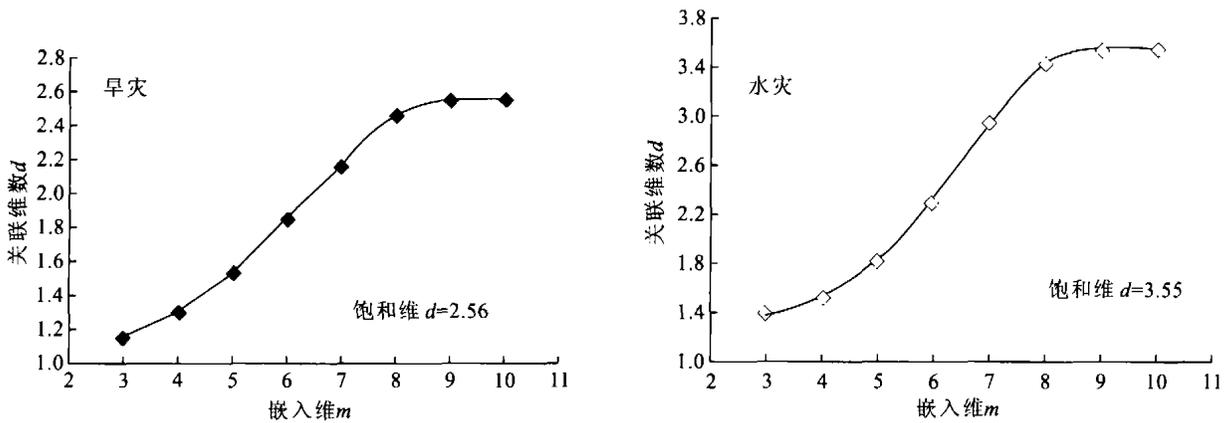


图 3 嵌入维 m 与关联维 d 关系曲线

3.2 计算 Hurst 指数

对安徽省旱灾灾害受灾面积时间序列进行 R/S 分析, 每项指标选取 53 个 τ 值进行计算, 分析结果见图 4, 可见安徽省旱灾受灾面积都存在明显的 Hurst 现象。其中旱灾 $H = 0.675$, 水灾 $H = 0.998$ 。

求取 5 a 滑动平均, 并对其进行回归分析, 选取

了较好的三次函数分析结果(见图 5), 可以反映出旱灾灾害受灾面积的变化趋势。结合 R/S 分析结果可知, 旱灾灾害在今后一段时间内都有增大的趋势, 其中水灾趋势非常明显。这也可以反映出全球生态环境恶化造成了自然灾害愈演愈烈的趋势, 我国近几年水旱灾害加重, 也印证了这点。

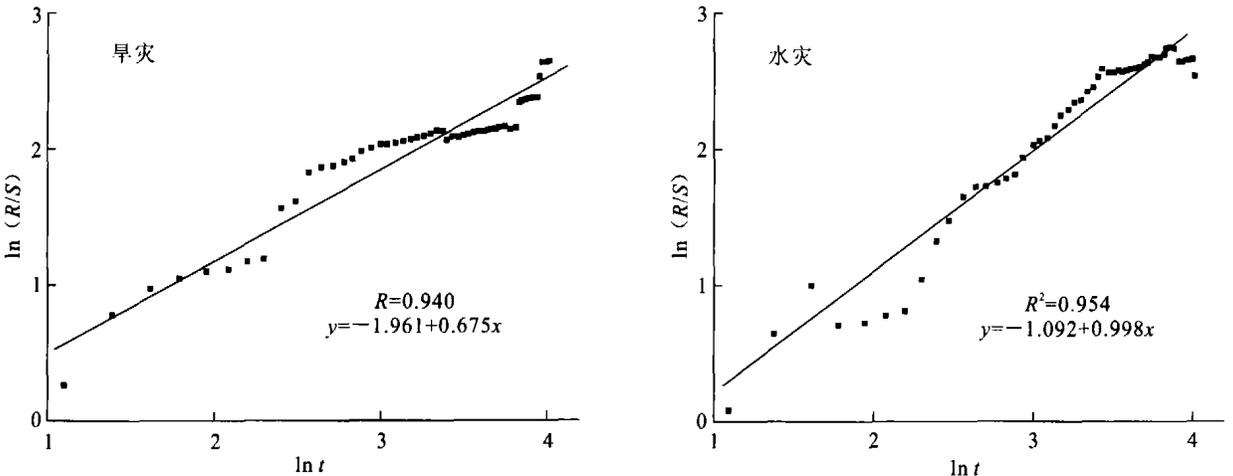


图 4 安徽省旱灾灾害 R/S 分析结果

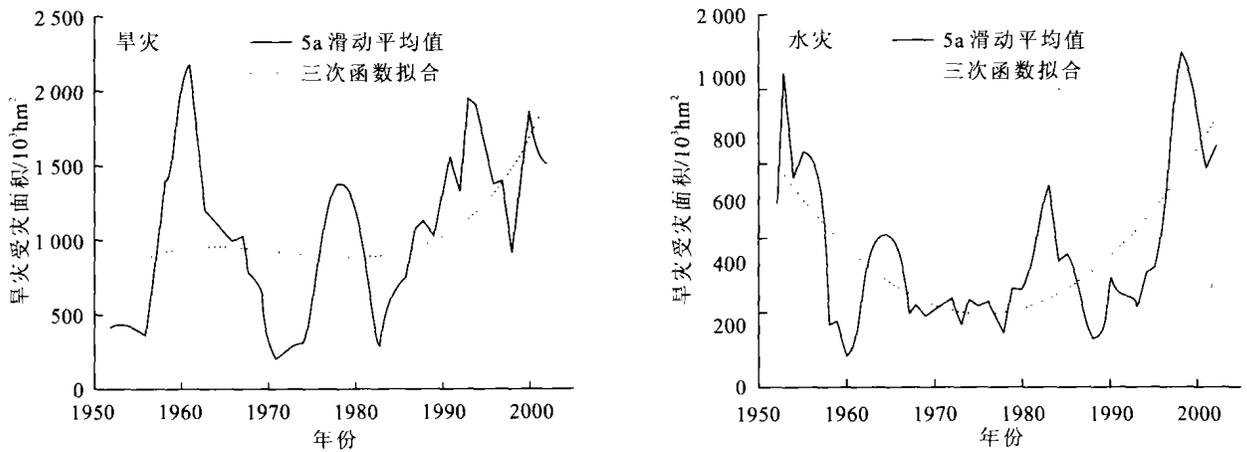


图5 1951—2001年安徽省旱洪灾害5a滑动平均

4 结论

(1) 1949—2003年的54 a间,安徽省旱洪灾害受灾面积的时序分布具有分形特征,且该时序是一混沌序列,其中旱灾饱和关联维数为2.56,水灾3.55。

(2) 饱和关联维所对应的嵌入相空间的最小维数 $m = 8$,反映了该混沌动力系统的有效自由度数目应为8个。

(3) R/S 分析表明,安徽省水旱灾害受灾面积在今后有增大趋势。其中,旱灾 $H = 0.675$,水灾 $H = 0.998$,水灾受灾面积增大趋势非常明显。

本文的研究结果为建立洪旱灾害受灾面积的时序预测预报模型奠定了基础,尤其是为基于神经网络的受灾面积时序预测模型中输入节点数与输出节点数的合理和有效的选择提供了科学依据。

[参考文献]

- [1] 王冬生,曹磊.混沌、分形及其应用[M].中国科学技术大学出版社,1995.
- [2] Packard N H, Crutchfield J P, Parmar J D, et al. Geometry from a times series[J]. Phys Rev Lett, 1980, 45(9): 712—716.
- [3] 吕金虎,陆军安,陈士华.混沌时间序列分析及其应用

[M].武汉:武汉大学出版社,2002.

- [4] 魏一鸣,周成虎,万庆.1949—1994年中国洪水灾害成灾面积的时序分形特征[J].自然灾害学报,1998(1): 83—86.
- [5] 姜逢清,朱诚,胡汝骥.新疆1950—1997年洪旱灾害的统计与分形特征分析[J].自然灾害学报,2002(4): 96—100.
- [6] 张济忠.分形[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [7] Eckmann J P, Ruelle D. Physica. D[J]. 1992, 56: 185—187.
- [8] 赵贵兵,石炎福,等.从混沌时间序列同时计算关联维和Kolmogorov熵[J].计算物理,1999, 16(3): 309—315.
- [9] 赵晶,杨淑华,王乃昂.利用 R/S 方法分析兰州城市化气候效应[J].气象,2001, 2: 7—15.
- [10] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long-run properties of geophysical records [J]. Water Resource Research, 1969, 5(2): 321—340.
- [11] Mandelbrot B B, Wallis J R. Robustness of the rescaled R/S in the measurement of noncyclic long-run statistical dependence [J]. Water Resource Research, 1969, 5(5): 967—988.
- [12] 梅丽明,沈正,陈伯海,等.海浪波高序列的长期相关性及其自仿射结构[J].海洋学报,1995, 17(4): 11—22.
- [13] 安徽省水利厅.安徽水旱灾害[M].北京:中国水利水电出版社,1998.

(上接第72页)

但是目前还不能对评价因子相互作用与土壤退化等级之间的关系进行很好的处理,还没有实现地力评价的完全定量化,参数模型需要进一步改进。农业的现代化建设最重要的技术保证是对农业区域进行因时、因地的科学化管理,所以不仅应用 SOTER 数据库进行土壤退化评价成为一种必然, SOTER 数据库在农业上的应用范围也将更加广泛。

[参考文献]

- [1] 龚子同,张学雷,等. SOTER 的建立及其在世界上的传播[J].地理科学,2001, 21(3): 217—222.
- [2] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准:全国耕地类型区耕地地力等级划分[S], 1996. 1—25.
- [3] 杨艳生.土壤退化指标体系研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998, 4(4): 44—46.
- [4] 史德明,韦启潘,梁音,等.中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究[J].水土保持学报,2000, 14(3): 1—9.