

基于分维数和稳定性指数的苏州市土地利用类型变化分析^①

沈 非^{1,2}, 查良松^{1,2}, 李军利¹, 朱 丽¹

(1 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽芜湖 241000; 2 安徽师范大学 GIS 重点实验室, 安徽芜湖 241000)

摘 要: 在苏州市 1985 年、2000 年土地利用空间数据库基础上, 利用分形模型, 计算出耕地、林地、草地、水域、居住与工矿用地、未利用土地 6 种不同地类的分维数、稳定性指数以及平均分维数和平均稳定性指数, 并对 15 年间土地利用类型的分维变化进行了分析。结果表明: 苏州市各土地利用类型的分布具有分形结构。从 1985 年至 2000 年, 林地、草地以及居住与工矿用地趋于规则、稳定; 耕地、水域用地趋于复杂、不稳定; 未利用土地没有变化; 苏州市土地利用结构不够稳定, 土地利用形态趋于复杂化。

关键词: 土地利用类型; 分维; 变化; 稳定性指数; 苏州市

中图分类号: F301.2

20 世纪六七十年代, 随着 Mandelbrot^[1-3] 分形理论的提出, 人们开始利用分形的方法来研究自然界中具有自相似结构, 但却不规则、不稳定、高度复杂的几何体。在此后的 20 多年里, 分形理论已被广泛应用于包括地理学、土壤学等在内的众多领域^[4-16]。

由于土地利用类型是土地资源在自然和人类活动共同作用下的产物, 其空间分布具有明显的分形特征。因此, 可以使用分形的方法对其进行研究。目前, 分形理论在土地利用研究领域应用较少。现有土地利用分形研究以北方区域居多, 南方区域偏少; 以静态特征描述居多, 动态演变对比偏少。本文以江苏省苏州市为例, 在依托 RS、GIS 技术提取数据的基础上, 计算 1985 年、2000 年各种土地利用类型的分维数和稳定性指数, 进而分析土地利用类型多年间的分维动态变异特征及原因。

1 研究方法

1.1 研究区概况

苏州市位于我国经济发达的长江三角洲地区的中心位置。全市土地总面积 8664 km², 总人口 616 万 (截至 2006 年底)。改革开放以来, 苏州市经济发展迅猛, 乡镇企业异军突起, 各类经济技术开发区陆续建立, 工业化及城镇化水平不断提高, 人地矛盾突出, 土地利用类型变化明显^[17-18]。

1.2 数据的制备

选用苏州市 1985 年和 2000 年 2 个时段 Landsat-

TM 影像为信息源, 利用 Erdas、ArcView、ArcInfo 等软件, 对不同时相的影像进行几何校正和人工图像判读解译等工作, 生成两期土地利用现状图和相应的土地利用现状属性数据库。利用 ArcView 的空间查询、统计分析功能, 提取耕地、林地、草地等不同土地利用类型图斑的斑块数目、面积及周长数据, 并以 .txt 形式导出, 作为分形分析的基础数据。土地利用类型的划分参考了国家土地资源分类系统。

1.3 分形模型的建立

Mandelbrot^[3] 在研究动物脑褶皱分形结构时提出了表面积 $S(r)$ 与体积 $V(r)$ 的关系式:

$$S(r)^{\frac{1}{D-1}} \sim V(r)^{\frac{1}{D}} \quad (1)$$

董连科^[19] 用物理量纲分析方法对 (1) 式进行了推导, 得出了适应于 n 维欧氏空间关系的分维数公式:

$$S(r)^{\frac{1}{D-1}} = k \times r^{\frac{n-D}{D-1}} \times V(r)^{\frac{1}{D}} \quad (2)$$

式中, 令 $n=2$, 则为二维欧氏空间的面积与周长的分维数公式, 若令 $A(r)$ 代表以 r 为量测尺度的图形面积, $P(r)$ 代表同一图斑的周长, 可得出:

$$P(r)^{\frac{1}{D-1}} = k \times r^{\frac{1-D}{D-1}} \times A(r)^{\frac{1}{D}} \quad (3)$$

通过取自然对数, 可将 (3) 式变换为:

$$\ln A(r) = \left(\frac{2}{D} \right) \ln P(r) + C \quad (4)$$

(4) 式即为地类斑块的分维公式, D 即为分维数, 可由直线斜率除 2 获得。 D 值介于 1~2 之间, 其大小反映

①基金项目: 安徽省高等学校青年教师科研资助计划项目 (2006jqw042) 资助。

作者简介: 沈非 (1975—), 男, 安徽明光人, 硕士, 讲师, 主要从事资源环境与地理信息系统应用研究。E-mail: sfhww@yahoo.com.cn

了地类斑块的复杂性和稳定性， D 值越大，表示图形形状越复杂。

Mandelbrot^[3]认为，布朗运动的线-线函数的分维数是 1.5。当 $D=1.5$ 时，表示该图形处于一种类似于布朗运动的随机状态，即最不稳定状态。 D 值越接近 1.5，表示该要素越不稳定。由此定义要素的稳定性指数^[20-21]：

$$S = |1.5 - D| \tag{5}$$

式中， S 为稳定性指数， D 为分维数。 S 值越大，表示

空间结构越稳定。

1.4 分维数与稳定性指数计算

基于 (4) 式，利用制备的不同地类图斑周长和面积数据，在 SPSS 软件中进行一元线性回归分析，计算出各土地利用类型的分维数和稳定性指数 (表 1)。为了综合分析土地利用总体结构的复杂、稳定性程度及变化情况，还根据不同年份所有土地利用类型图斑的周长和面积数据，计算出土地利用类型总体的平均分维数和稳定性指数 (表 2)。

表 1 苏州市 1985 年、2000 年各地类图斑的分维数和稳定指数

Table 1 Fractal dimensions and stability indexes of map patches of lands different in land use in Suzhou in 1985 and 2000

地类	年份	图斑数	图斑平均面积	图斑面积标准差	相关系数	维数	F 检验值	显著性检验	稳定性指数
	(年)	(块)	(hm^2)	(hm^2)	(r)	(D)		($\alpha=0.01$)	(S)
耕地	1985	494	987.00	7297.68	0.976	1.331	9810.593	6.69	0.169
	2000	395	1103.11	7314.02	0.974	1.380	7235.318	6.70	0.120
林地	1985	312	63.01	173.62	0.970	1.514	4972.047	6.72	0.014
	2000	325	57.42	165.70	0.966	1.459	4479.892	6.72	0.041
草地	1985	49	45.28	81.35	0.971	1.501	772.459	7.21	0.001
	2000	53	43.26	80.46	0.960	1.464	595.482	7.17	0.036
水域	1985	1080	278.77	5156.78	0.961	1.247	13000.965	6.66	0.253
	2000	1352	227.18	4608.23	0.961	1.254	16242.871	6.65	0.246
居住与工	1985	3504	15.81	85.33	0.959	1.403	40346.228	6.63	0.097
矿用地	2000	4386	23.28	155.00	0.967	1.364	63519.097	6.63	0.136
未利用土地	1985	12	39.60	80.64	0.983	1.520	288.331	10.00	0.020
	2000	12	39.60	80.64	0.983	1.520	288.331	10.00	0.020

表 2 苏州市 1985 年、2000 年地类总图斑的分维数和稳定指数

Table 2 Fractal dimensions and stability indexes of map patches of all types of land in Suzhou in 1985 and 2000

年份	总图斑数	图斑平均面积	图斑面积标准差	相关系数	维数	F 检验值	显著性检验	稳定性指数
(年)	(块)	(hm^2)	(hm^2)	(r)	(D)		($\alpha=0.01$)	(S)
1985	5451	158.95	3188.67	0.964	1.331	71775.746	6.63	0.169
2000	6523	132.82	2777.67	0.966	1.338	89994.456	6.63	0.162

2 分形分析

从表 1、表 2 可以看出：苏州市土地利用类型的面积和周长对数之间具有相当高的相关性，相关系数均大于 0.9，表明维数 D 值的计算是有一定理论依据的。F 检验值远大于显著性检验，也说明土地利用类型面积与周长之间的关系不是偶然发生的， D 值大小全部介于 1 ~ 2 之间 (图 1)， D 值是客观存在，有意义的。以 2 个年份的耕地、居住与工矿用地数据为例，

绘制耕地、居住与工矿用地图斑的周长-面积双对数散点图 (图 2)，拟合曲线也均表明所研究的土地利用类型完全符合分形结构。

根据分形理论，比较表 1、表 2 中地类的分维数、稳定性指数等相关数据，对研究期内土地利用的变化分析如下：

2.1 耕地

耕地是整个区域土地利用中重大的决定性因素，

耕地的变化将影响整个区域土地利用的发展趋势。苏州市耕地的分维数从 1985 年的 1.331 增至 2000 年间的 1.380, 耕地稳定性指数呈下降趋势。说明耕地利用类型在人为因素的影响下趋于复杂化、不稳定化。因为这一时期, 正是苏州市乡镇企业异军突起, 农村城镇化进程加速发展的阶段。鱼塘等水域用地的开挖、

新的农村居民地的建立、城镇的不断扩张、工(矿)交(通)建设用地的占用等, 都建立在耕地面积不断减少的基础上, 耕地的形态不断遭到破坏, 破碎度增大。比较 1985 年、2000 年苏州市土地利用图斑(图 3), 也可以明显发现这一变化。

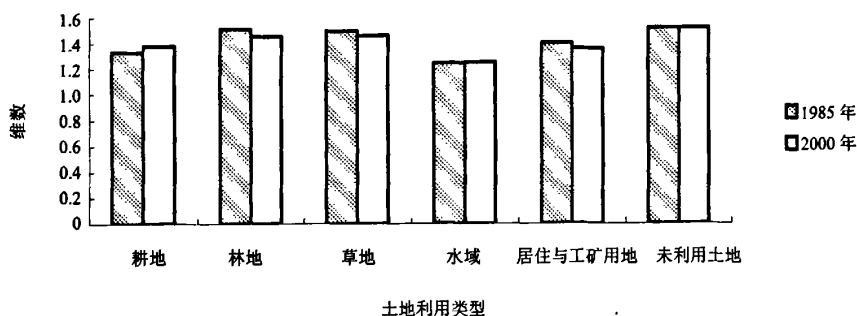


图 1 苏州市 1985 年、2000 年各地类分维数

Fig. 1 Fractal dimensions of lands different in land use in Suzhou in 1985 and 2000

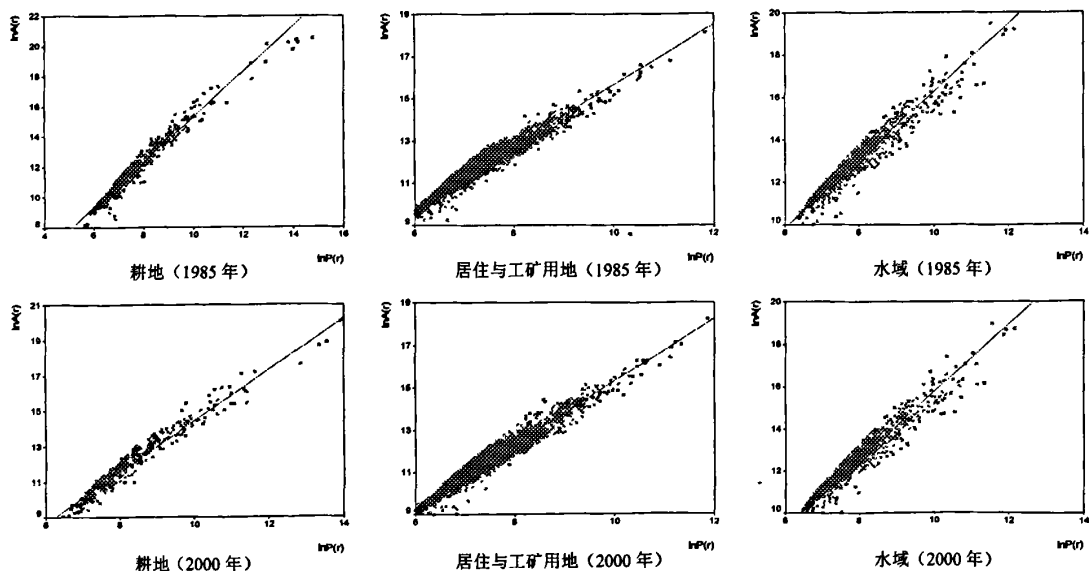


图 2 苏州市 1985 年、2000 年耕地、居住与工矿用地、水域图斑周长-面积双对数散点图

Fig. 2 Perimeter-area double logarithmic scatter diagram of map patches of cropland, industrial land and residential land, and water area in Suzhou in 1985 and 2000

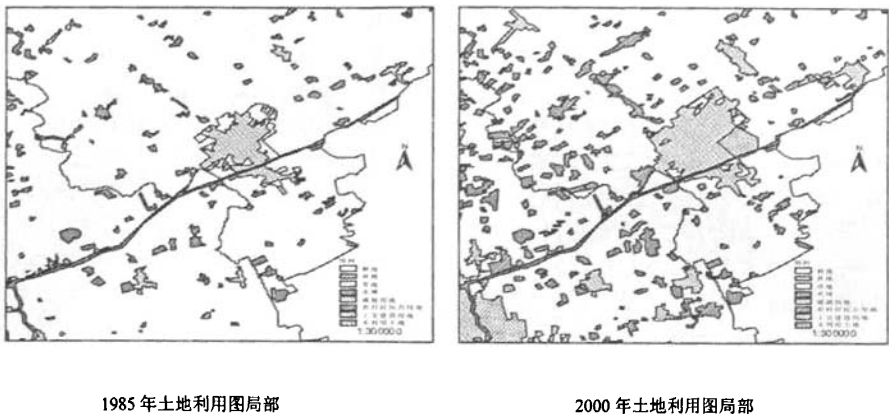


图 3 苏州市 1985 年、2000 年土地利用图局部
Fig. 3 A part of the land use map of Suzhou in 1985 and 2000

2.2 林地

林地的分维数从 1.514 减小到 1.459，稳定性指数由 0.014 增大至 0.041。表明林地在 1985 年形态结构较为复杂，但稳定程度较差。在各种土地利用类型的同期数据中，林地的分维数一般都相对较大。15 年间，随着城市生态环境建设的良性发展，全市林地规划保护得到了加强，林地的形态朝着规则化的方向发展，林地利用类型在逐渐趋向稳定。

2.3 草地

草地的分维变化与林地相似，分维数在减小，稳定性指数在增大。比较两期的草地解译图斑发现，变化后期的图斑，形态更加规则。如太仓 1 号港口西北侧江岸增添的一块草地图斑，形状近似矩形，其面积约占 1985 年草地总面积的 8%。

2.4 水域

水域的分维数最小，1985 年、2000 年分别为 1.247、1.254。因为苏州自古为江南鱼米之乡，水网密布，发展渔业具有得天独厚的优势。为水产养殖而开挖的鱼塘等水域用地往往比较规整地分布于河、湖附近，或由人工按一定的形状在原有耕地上开挖而成。

在研究时段内，水域的分维数、斑块数量都在增加，表明水域分布越来越细碎，土地斑块形状逐渐趋于不规则。这主要是由于农业内部产业结构调整对土

地的利用产生了较大影响，在市场经济利益的驱动下，农民将大量耕地围垦开挖成鱼塘，发展渔业，导致水域利用类型形态的破碎度增大。这一变化在图 3 中也有明显体现。

水域的稳定性指数介于 0.246 ~ 0.253 之间，离随机运动的值（1.50）最远，是所有土地利用类型中最稳定的因素。然而，从 1985 年至 2000 年，水域的稳定性指数在减小，稳定度呈下降趋势，表明人为因子对水域的影响强度在不断加大。

2.5 居住与工矿用地

居住与工矿用地的分维变化与耕地完全相反，分维数呈下降趋势。因为随着经济的发展，城乡规划得到了重视，建设用地能够比较合理地进行布局，其扩展后的形态比较规则，因而其分维数变小。居住与工矿建设用地稳定性指数和图斑数的上升，说明城市在扩张，但扩张速度有所趋缓，土地利用类型趋向稳定。

如果对居住与工矿用地进行细化，将其分为农村居民点用地、城镇用地、工（矿）交（通）建设用地，分别计算其分维数及稳定性指数（表 3，仅以 2000 年数据为例），还可以进一步发现：农村居民点用地的复杂性大于城镇居民点和工交用地，其稳定性比城镇居民点和工交用地低。这说明，农村居民点建设的规划还相对不足。

表 3 苏州市 2000 年农村居民点用地、城镇用地、工交建设用地分维数和稳定性指数

地类	农村居民点用地	城镇用地	工交建设用地
维数 (D)	1.380	1.290	1.301
稳定性指数 (S)	0.120	0.210	0.199

2.6 未利用土地

由于苏州土地开发利用程度高, 现存的未利用土地仅分布在境内的西南部, 均为难以开发利用的山体裸岩和裸地, 其中, 太湖西山岛东北角分布面积较大。在研究期始末, 未利用土地不规则的图斑形态没有发生改变, 因此, 分维数和稳定性指数也都没有变化, 其分维数也一直是所有土地利用类型中最大的一个, 未利用土地的形态一直处在最复杂的位置。

2.7 土地利用总体结构

苏州市地类总体的平均分维数从 1985 年的 1.331 增加至 2000 年的 1.338, 呈上升趋势; 地类总体的平均稳定性指数从 1985 年的 0.169 减少至 2000 年的 0.162, 呈下降趋势。这种变化趋势与耕地、草地、水域的分维变化相同。由于经济发展、人口增长、城市扩张等对土地的需求, 15 年间, 全市的土地利用总体形态趋于复杂化, 土地利用类型趋向不稳定, 并且这种趋势在短时期内不会改变。

3 结语

分形分析结果表明: 基于自然条件并在人类活动影响下逐渐产生的土地利用类型的分布具有明显的分形结构; 地类分维的变化能在一定程度上体现土地利用所受人类活动影响的程度; 以地类分维数和稳定性指数为对象, 研究区域土地利用类型的变化, 可以有效分析土地利用过程中人为因素的实施程度, 进而为采取合理措施, 科学利用土地提供有益的参考。

苏州市在 1985—2000 年期间, 由于加强了对林草地的保护以及居住与工矿用地的规划, 这类用地趋于规则、稳定; 由于人类在处理人地矛盾上的取舍, 耕地、水域用地趋于复杂、不稳定。未利用土地由于自然条件影响, 一直没有变化。研究时段内, 苏州市土地利用类型总体不够稳定, 形态趋于复杂化。

参考文献:

- [1] Mandelbrot BB. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 1967, 156 (3775): 636-638
- [2] Mandelbrot BB. *Fractal: Form, chance and dimension*. San Francisco: Freeman, 1977
- [3] Mandelbrot BB. *The fractal geometry of nature*. San Francisco: Freeman, 1982
- [4] 曾志远, 曹锦铎. 分数维几何学在地学和土壤制图学上的应用. *土壤*, 1991, 23(3): 117-122
- [5] 王国梁, 周生路, 赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用. *土壤学报*, 2005, 42(4): 545-550
- [6] 秦耀辰, 刘凯. 分形理论在地理学中的应用研究进展. *地理科学进展*, 2003, 22(4): 426-433
- [7] 程先富, 史学正. 分形几何在土壤学中的应用及其展望. *土壤*, 2003, 35(6): 461-464
- [8] 崔灵周, 李占斌, 郭彦彪, 朱永清. 基于分形信息维数的流域地貌形态与侵蚀产沙关系. *土壤学报*, 2007, 44 (2): 200-203
- [9] Huang GH, Zhang RD, Huang QZ. Modeling soil water retention curve with a fractal method. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 137-146
- [10] 张华国, 黄韦良, 周长宝, 厉冬玲, 肖清梅. 利用 IKONOS 卫星数据和分形方法研究南鹿岛土地覆盖状况. *生态学报*, 2003, 23(8): 1539-1547
- [11] 陈彦光, 李宝林. 吉林省水系构成的分形研究. *地球科学进展*, 2003, 18(2): 178-184
- [12] 宋博, 马建华, 秦艳培. 土地利用与土地覆被变化的分形分析——以郑汴间沙岗地为例. *地域研究与开发*, 2004, 23(3): 106-108
- [13] 王其芳. 塌陷区土地利用类型的分数维分析. *有色金属*, 2007, 59(1): 12-14
- [14] 马建华, 赵庆良, 韩晋仙, 丁圣彦, 李爽. 河南洛宁县森林覆被及其变化的分形分析. *资源科学*, 2003, 25(2): 14-19
- [15] 赵亚敏, 田国行, 何瑞珍, 党运宽. 基于 RS 和 GIS 的开封市土地覆盖分形. *生态学杂志*, 2006, 25(10): 1218-1222
- [16] 冯健. 杭州城市形态和土地利用结构的时空演化. *地理学报*, 2003, 58(3): 343-353
- [17] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究. *自然资源学报*, 2001, 16(2): 122-127
- [18] 王辉, 董元华, 李德成, 郭宗祥. 基于遥感与 GIS 技术的苏州市土地利用动态变化研究. *土壤*, 2004, 36(4): 420-423
- [19] 董连科. 分形理论及应用. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991: 122-189
- [20] 徐建华, 艾南山, 金炯, 樊胜岳. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究. *干旱区研究*, 2001, 18(1): 36-39
- [21] 朱晓华, 蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制. *地理科学*, 2005, 25(6): 671-676

Analysis of Dynamic Changes in Land Use of the Land in Suzhou Based on the Fractal Dimensions and Stability Indexes

SHEN Fei^{1,2}, ZHA Liang-song^{1,2}, LI Jun-li¹, ZHU Li¹

(1 College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China;

2 GIS Key Laboratory, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: Based on the spatial database of land use of Suzhou in 1985 and 2000, fractal dimensions (D) and stability indexes (S) as well as average D and S were calculated for cropland, woodland, grassland, water area, industrial and residential land, unused land with the fractal model. Dynamic changes in land use in Suzhou in the past 15 years were analyzed. Results indicated that the distribution of different types of land use in Suzhou City demonstrates fractal properties. From 1985 to 2000, woodland, grassland, industrial and residential land tended to be more inerratic and stable, whereas cropland and water area more complex and unstable. Unused land remained unchanged. During this period, the land use structure of Suzhou was unsteady, and its form became more complex.

Key words: Land use type, Fractal dimension, Change, Stability indexes, Suzhou City