

基于 GIS 的土壤地理分形特征

沙晋明¹, 李小梅^{1, 2}

(1. 福建师范大学地理学院, 福建 福州, 350007; 2. 福建师范大学环境科学研究所, 福建 福州 350007)

摘 要: 土壤的分布及其所处的地理环境极其复杂, 其实质是一种非线性规律存在于自然界中。本研究在 ARC/INFO 的支持下, 采用改进后的分形算法分析了与土壤形成有关的地理环境要素的分形特点, 得出了各地理环境要素的分维随海拔、森林类型变化的规律, 为土壤遥感调查中界线的划分提供了有益的线索。

关键词: GIS; 土壤地理环境; 分形; 分维

中图分类号: S159. 2

文献标识码: A

土壤遥感制图是土壤分类的一种技术性应用方式, 是土壤资源再现的最好形式, 通过空间制图把各种分类单元(土壤个体)按照一定的综合原则组合起来, 将土壤个体与所处的环境之间的关系以最直观明了的方式展示出来。土壤分布及其与所处的地理环境关系极其复杂, 其实质是以一种非线性规律存在于自然界中的, 地形地貌的变化和存在是地质内营力和外营力共同作用的结果。地形地貌除了个别地区可能是规则的几何形状外, 绝大多数是非规则的几何形状, 这种非规则的几何形状难以用传统的欧几里得几何学和线性关系进行全面说明, 采用分形学理论可以从另一角度去认识土壤及其环境之间的非线性规律。本文以浙江省龙游县土壤为研究对象, 尝试利用分形理论研究土壤地理环境, 以期寻求一种新的成土因素分析指标的研究方法。

1 分形理论简介

分形是指局部与总体具有某种相似性的形状, 或者说在不同尺度上看起来基本相似的形状, 即具有自相似性。所谓自相似是指局部与整体在形态、

功能、信息方面具有统计意义上的相似性, 是一种既非完全规则, 也非完全随机, 而是规则性与随机性的组合。

分形是不能用通常的长度、面积、体积来表示几何形体, 其内部存在着无穷层次, 具有由点及面的自相似结构, 是局部以某种方式与整体相似的形态。任一变量 $Q(L)$ 是一个与测定标度 L 有关的函数, 有以下关系

$$Q(L) = LD_Q$$

式中 D_Q 就是 $Q(L)$ 的维数, 如 $Q(L)$ 是分形, 则 D_Q 是分数。

基于地理信息系统的空间数据管理功能中提供了关于面积、周长等数据, 这些面积、周长所表示的是一种同质体或同质体的集合, 对各种图形的几何形状有一个很好的表示, 可以以某种算法来表示其分形特征。因此, 对上述分形公式的改进, 得到本文中的分维计算公式

$$\log A = D \log P + C$$

式中 A 为面积、 D 为分维、 P 为周长; 该分维大表示越接近所在空间维数, 图斑越简单; 分维值越小, 图斑形状越复杂。

收稿日期(Received): 2002- 11- 26; 改回日期(Accepted): 2002- 11- 26。

基金项目(Foundation item): 科技部国际合作项目“生态环境的遥感监测及规划建设,”福建省教育厅“区域生态环境脆弱性遥感定量分析的研究。”[Funded by International Cooperation Project “Remote Sensing Monitoring and planning & constructing of ecological environment” from Ministry of Science and Technology, and “Research on remote sensing in monitoring fragility of eco- environment” from Education Bureau of Fujian.]

作者简介(Biography): 沙晋明(1964-), 男, 博士, 从事资源环境遥感研究、地理信息系统研究十几年。发表论文二十多篇。[SHA Jin-ming, Male, Doctor, has been doing research on Remote Sensing and Geography Information System of Resources for many years, has published more than twenty articles.]

2 土壤地理环境的分形特征

遥感影象信息具有典型的分形特征, 像元与地物的分布完全遵循着一种自相似的规律。无论地物分布多么复杂, 都可以通过无数次的化减得到基本像元或单个像元。基于遥感影象中的地物信息, 可

以研究土壤母质、地形地貌、森林植被等与土壤发育有关的地理环境条件的非线性特征。

2.1 岩石母质的分形特点

龙游县岩石类型共有 10 大类型, 这些岩石构成了多种地形地貌, 是土壤形成的物质基础, 并对土壤发生发育起着决定性的作用, 具体分布状况及可能形成的土壤如表 1。

表 1 主要母岩与所发育的土壤

母质类型 Primitive rocks	主要岩石 Domain rocks	面积 Area (hm ²)	比例 Ratio (%)	土壤 Soil
火山岩喷出物 lava ejecta	凝灰岩、硫酸岩	336.22	28.592	黄泥土、黄泥沙土
酸性结晶类 acid crystalline	花岗岩、石英二长岩、斑岩	122.89	10.45	黄泥砂田
硫酸岩类 sulphate rocks	方岩、白方岩	9.35	0.795	油黄泥
泥质岩类 argillaceous rocks (pelite)	泥岩、页岩、板岩	13.41	1.14	黄红泥土、片石砂土
第四纪红色黏土 the Quaternary red clay	Q2、Q	26.70	2.27	黄筋泥、亚黄筋泥
近代河流冲积物 modern river alluviation	洪积物、冲积物、洪冲积物	222.14	18.89	泥砂田、清水砂、培泥砂土、泥砂土
白垩纪衢江群 the cretaceous Qujiang group	红砂岩	145.11	12.34	红砂土
白垩纪方岩组 the cretaceous calcite group	紫砂岩、紫砂页岩	141	11.99	紫砂土、紫泥土
基性岩类 basic rock	玄武岩	4.89	0.41	棕黏土
变质岩类 metamorphic rock	片麻岩	154.29	13.12	砂粘质黄泥

由于风化速率、风化强度的不同, 自然界存在着各种各样的岩石母质类型, 这些岩石母质同周围环境不断发生着物质、能量交换, 交换边界就是其分布边界。这种分布边界同时还是其他地物的边界, 如土壤、植被景观界线等。

岩石母质面积- 周长分维可以就岩石母质形状、破碎度等进行描述, 在岩石母质图上采取各种岩

石母质的周长、面积数据, 求其分维结果如表 2。从表 2 中可以看出, 紫色页岩和石灰岩的分维较小, 表明该岩石形状复杂、风化强烈、分散分布; 而红砂岩的分维数最大, 表明该类岩石相对稳定、分布较集中、风化强度较小。因此, 由紫色页岩和石灰岩发育而成的钙质紫色土、钙质紫泥田呈分散分布, 而红砂岩发育的红砂土分布相对集中。

表 2 龙游岩石类型分形特点

岩石类型 rock types	分维 fractal geometry	自由度 degree of freedom	相关系数 correlation	F 检验 F test
凝灰岩 流纹岩 砂岩 tuff, rhyolite, sandstone	2.167	5	0.993	275.549
石英二长岩 斑岩 quartz monzonite, porphyry	1.806	1	1	
片麻岩 gneiss	2.123	6	0.967	71.509
花岗岩 granite	1.982	12	0.964	143.712
石灰岩、白云岩 limestone, dolomite	1.422	5	0.98	95.847
泥岩、页岩 mudstone, shale	1.574	3	0.989	92.907
第二、三纪红土 the secondary or tertiary red soil	1.848	6	0.989	218.268
第四纪洪冲积物 the quaternary diluvium or alluviation	1.831	8	0.99	340.735
红砂岩 red sandstone	2.439	12	0.977	230.459
紫色页岩 purple shale	1.414	9	0.982	213.616

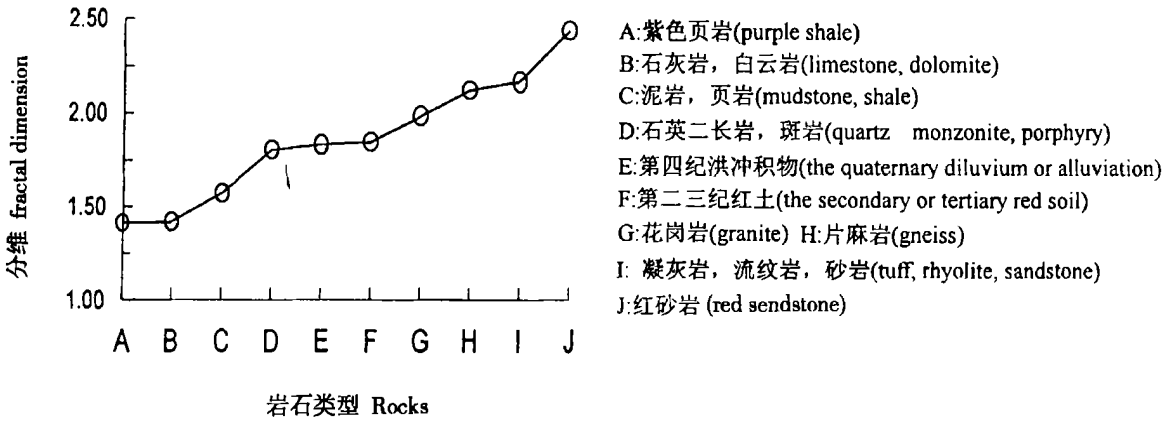


图 1 母岩与分维关系图

Fig. 1 Relation between rocks and fractal dimension

2.2 地形地貌分形特征研究

地形地貌的分维是通过 1:5 万地形图计算出来的。将各高程等高线所围起来的区域在 ARC/INFO 的 TIN 模块中转成面域, 对此面域对象求分维, 得出龙游县各高程的分维特点(表 3)。从表 3 中可以看出, 海拔最高的区域其分维并不是最小, 最小的分维出现在 1 100~ 1 200 m 处, 表明地形切割最严重的地区出现在 1 100~ 1 200 m, 这些与实际情况吻合。如海拔最高的六春湖地区是一个台面, 其切割程度不大。

从图 2 还可看出在各高程点, 其分维值都比附近高程的分维小, 这也表明高程点位都没有周围地

形破碎, 而界于各个高程点之间的地形曲折, 富有坡度变换, 显示出较破碎的形状, 这些地区容易引起水热的分配失匀、植被景观的变化、各种成土母质分异、成土过程的差异, 所以极有可能就是各种土壤界线位置的重要标志。如黄红壤的界线为 150 m 以上的地区, 黄壤在南坡的界线是 550 m 以上、北坡为 650 m 以上区域。区域内分维变化剧烈的地区一定是研究的重点, 在这里区域形状复杂, 从而引起物质能量交换模式、交换速度的差异, 这个地区往往也是由一种地物(或景观)向另外一种地物(或景观)的过渡地带。

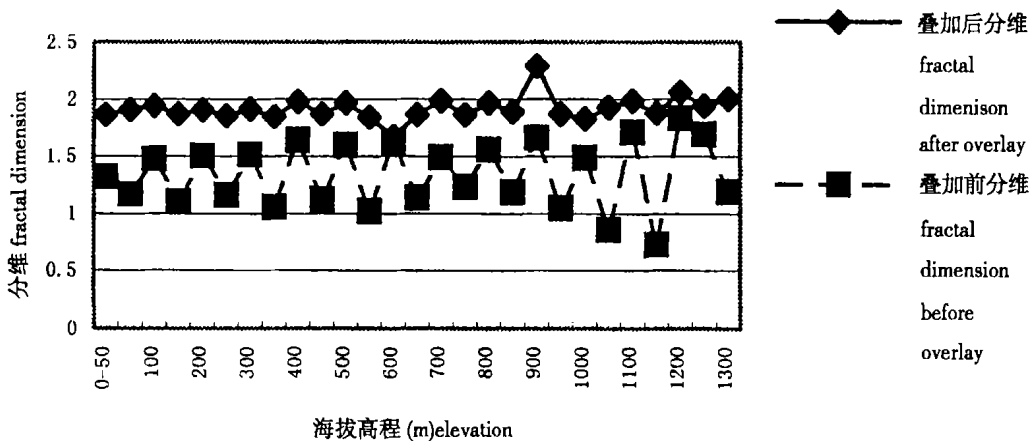


图 2 高程分维变化图

Fig. 2 Fractal dimension change of height

表 3 海拔高程分维
Table 3 Fractal dimension of elevation

地形(m) Elevation	地形类型 Topographic type	分维 Fractal dimension	自由度 Degree of freedom	R Correlation	F F test
0~ 50	1	1. 32	6	0. 996	674. 184
50~ 100	2	1. 171	1	1	*
100	3	1. 48	60	0. 977	1244. 187
100~ 200	4	1. 102	5	0. 985	132. 475
200	5	1. 505	32	0. 992	1976. 566
200~ 300	6	1. 162	8	0. 982	189. 447
300	7	1. 514	23	0. 99	1073. 772
300~ 400	10	1. 059	19	0. 987	668. 432
400	11	1. 642	47	0. 978	992. 148
400~ 500	12	1. 123	10	0. 989	410. 744
500	13	1. 599	14	0. 969	199. 435
500~ 600	14	1. 02	7	0. 933	40. 081
600	15	1. 625	12	0. 987	418. 833
600~ 700	16	1. 139	8	0. 885	25. 227
700	17	1. 49	11	0. 988	405. 85
700~ 800	18	1. 234	11	0. 965	135. 605
800	19	1. 557	16	0. 986	511. 114
800~ 900	20	1. 186	5	0. 931	26. 231
900	21	1. 663	1	1	*
900~ 1000	22	1. 047	6	0. 908	23. 431
1000	23	1. 489	7	0. 966	85. 085
1000~ 1100	24	0. 861	2	1	38578. 08
1100	25	1. 711	1	1	*
1100~ 1200	26	0. 731	2	0. 974	18. 16
1200	27	1. 8338			
1200~ 1300	28	1. 695	1	1	*
1300	29	1. 19	1	1	*

2 3 森林植被的分形特点

植物个体和群体的出现、发展以至衰亡都是植被对于自然环境适应协调的过程, 因此, 植物对所生存的环境条件如土壤具有指示作用, 如衢江河滩地上的桑树、桔园是灰潮土的一种标示。因此森林植被的分形不仅具有形态学的意义, 而且还具有生态学意义, 标志着景观格局变化状况。

由表 4 可以看出阔叶林分布得最杂, 形成了很低的维数、松树虽然斑块多但是总的来说形状规则。这种分形分维特点决定了阔叶树遥感监测困难, 而且, 可能是一种分散或插花分布; 松林的分布受地形地貌等环境影响可能并不太大, 有可能是成片的散布, 这一点通过遥感影象的分析和矢量图的显示已

经得到了证实。在几个对土壤分布有着重要意义的地理环境因素中, 森林分维是一个变化频繁的参数, 并对区域农业地貌起着重要的决定影响, 森林分维的消长就可以指示农业地貌的变化动态, 从而影响着区域景观的光谱特性和遥感分析方法。

将森林与地形叠加、森林与岩石叠加、森林与岩石和地形叠加, 按 5km² 取样, 均匀分布于全县, 得出全县叠加因素分维趋势图(图 3)。三因素叠加以后分维变化幅度进一步减小, 而森林与岩石、森林与地形的分维变化幅度依然剧烈, 表明这些地区异质现象明显、物质能量变化剧烈, 是分析各种地物界线的重要信息。

表 4 1985 年龙游森林植被分维特点
Table 4 Longyou fractal dimension of forest

森林类型 Forest type	分维 Fractal dimension	自由度 Freedom degree	R Correlation	F F test
松 pine	1. 529	91	0. 946	773. 895
杉 china fir	1. 383	18	0. 977	356. 142
竹 bamboo	1. 308	17	0. 986	550. 807
阔叶林 broadleaf forest	0. 288	2	0. 164	0. 028
经济林 cash forest	1. 408	32	0. 959	355. 536
灌木林 shrub	1. 137	11	0. 872	31. 61
荒地 wasteland	1. 436	26	0. 962	309. 678
农田 field	1. 208	5	0. 979	91. 772

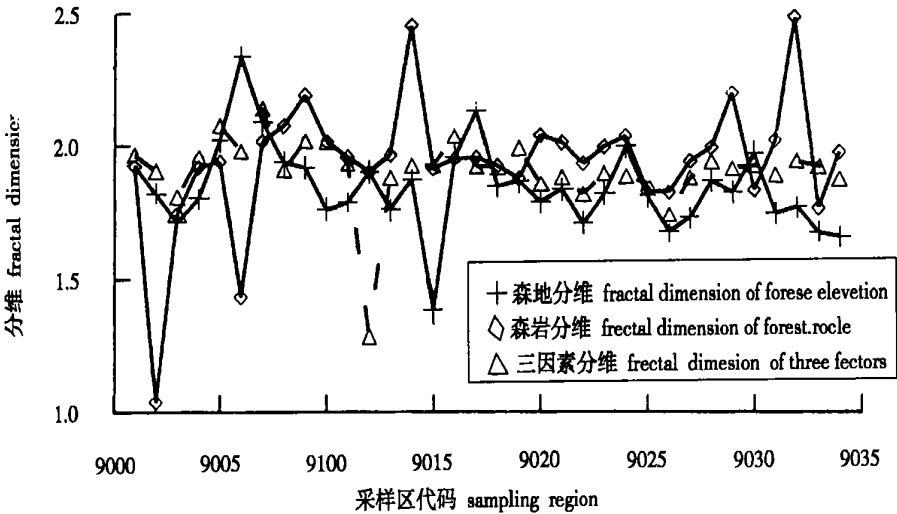


图 3 分维空间变异情况
Fig. 3 Change of fractal dimension in space

3 结论

1. 研究区内土壤母质的分形特征为: 紫色页岩和石灰岩的分维较小, 表明该岩石形状复杂、风化强烈、分散分布; 而红砂岩的分维数最大, 表明该类岩石相对稳定、分布较集中。
2. 对海拔高程的分维研究表明, 分维值小的区域一定是水热分配失匀、植被景观发生变化、各种成土母质发生分异、成土过程具有差异的地区, 极有可能成为各种土壤界线的标志。
3. 森林植被的分形不仅具有形态学的意义, 而且还具有生态学意义, 标志着景观格局变化状况。研究区内阔叶林分布复杂, 分维值较低, 而松林的分

布形状规则, 分维值较大。

参考文献(References):

[1] Feng Chang gen, Li Hou qiang, Zu Yuan gang. Theory, Method and Application in No- linearity Science [M] Beijing: Science Publishing Company, 1997. 12~ 13. [冯长根, 李后强, 祖元刚. 非线性科学的理论、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 12~ 13].

[2] Wang Xie kang Fang Duo. Quantity Research on New Index of Drainage Area [J]. Mountain Research, 1998, 16(1): 8~ 10. [王协康, 方铎. 流域地貌系统定量研究的新指标[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1998, 16(1): 8~ 10.]

[3] Chen Gang. Several Problems in Research on Fractal Geometry. Theory, Method and Application in No- linearity Science [M] Beijing: Science Publishing Company, 1997. 25~ 27. [陈刚. 分形几何研究中的若干论题. 非线性科学的理论、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 25~ 27].

- [4] Williams THL. Implementing of land evaluation and site assessment on a GIS [J]. *Remote sensing of Environment*, 1985, **51**(12): 1823 ~ 1833.
- [5] Jacek S Blaszczynski. Landform Characterization with Geographic Information System. *PE&RS*, 1997, **63**(2): 183~ 186.
- [6] Wiens JA, Crawford CS, Gosz JR. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems[J]. *Oikos*, 1985, **45**: 421~ 427.
- [7] Hansen AJ, CastriDi(Ed.). Landscape Boundaries: Consequences for biotic diversity and ecological flows[M]. New York: Springer~ Verlag, 1992.
- [8] Horne JK, Schneider D. Analysis of scale~ dependent processes with dimensionless ratios[J]. *Oikos*, 1994, **70**(2): 201~ 211.
- [9] Chen Bai-ming Generality of Land Resources Science [M]. Environment Science Publishing Company of China, 1996. 64~ 68. [陈百明. 土地资源学概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 64 ~ 68.
- [10] Ma Ke-ming, Zu Yuan-gang Information Dimensions of Fractal Characters of Larch Species Pattern in Xing an mountains [J]. *ACTA ECOLOGY SINICA*, 2000, **20**(2): 87~ 192. [马克明, 祖元刚. 兴安落叶松种群格局的分形特征- 信息维数[J]. 生态学报, 2000, **20**(2): 87~ 92.]
- [11] Zu Yuan-gang, Ma Ke-ming, Zhang Xi-jun Fractal Analysis Method of Vegetation Spatial Heterogeneity [J]. *ACTA ECOLOGY SINICA*, 1997, **17**(3): 333~ 337. [祖元刚, 马克明, 张喜军. 植被空间异质性的分形分析方法[J]. 生态学报, 1997, **17**(3): 333~ 337.]
- [12] Liu Can-ran, Ma Ke-ming, Yu Shu-li Research on Vegetation Community Diversity in Dong-ling Mountains of Beijing [J]. *ACTA ECOLOGY SINICA*, 1998, **18**(1): 15~ 23. [刘灿然, 马克平, 于顺利. 北京东灵山地区植物群落多样性研究[J]. 生态学报, 1998, **18**(1): 15~ 23.]
- [13] Ma Ke-ming, Zu Yuan-gang, Ni Hong-wei Relation Dimensions of Fractal Characters of Larch Pattern in Xing an mountains [J]. *ACTA ECOLOGY SINICA*, 1999, **19**(3): 353~ 355. [马克平, 祖元刚, 倪红伟. 兴安落叶松种群割据的分形特征- 关联维数[J]. 生态学报, 1999, **19**(3): 353~ 355.]

Research on Fractal Geometry of Soil Geographical Environment Based on GIS

SHA Jin-ming and LI Xiao-Mei

(College of Geography Institute of Environment Fujian Normal University Fuzhou 350007 China)

Abstract: The relation between soils and geographical environment is much complicated, because there is nonlinear relation in the nature in essence. Supported by ARC/INFO, using modified fractal dimension the article analyses fractal characters of geographical environment relation with soil forming and gets the law: fractal dimension changed with elevation, forest types, which provides useful lead for boundary in soil remote sensing.

Key words: GIS; soil geographical environment; fractal geometry; fractal dimension