

中国土壤空间分布的分形与分维*

朱晓华¹ 杨秀春² 蔡运龙³

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

(3 北京大学资源环境地理学系, 北京 100871)

摘要 基于分形理论, 对中国土壤空间分布的分形性质进行了定量研究, 所得结论为: (1) 中国土壤空间分形结构特征客观存在, 南方水稻土、黄刚土等 53 类土壤斑块的周长-面积关系客观存在; (2) 中国各土壤类型中, 寒漠土分维最大, 为 1.952, 灰漠土分维最小, 为 1.158; 寒漠土斑块镶嵌结构最复杂, 灰漠土斑块镶嵌结构最简单; (3) 随着我国土壤类型从华南 \rightarrow 东北 \rightarrow 西北的变化, 土壤类型空间分布的分维总体增大; 在青藏高原区, 各土壤分维出现垂直与水平的复合分布, 随着地势自东南向西北的逐渐升高, 土壤分维总体变大; (4) 中国各土壤类型中, 寒漠土稳定性指数值最大, 为 0.452 4, 其斑块镶嵌结构稳定性最高, 灰褐土斑块镶嵌结构稳定性最低, 稳定性指数值为 0.001 3; (5) 随着我国土壤类型由南向东北的变化, 各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定性指数总体变小; 在青藏高原区, 由东南向西北, 各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定性指数总体变大; (6) 就中国土壤类型的空间分布而言, 中国土壤类型斑块空间分布的几何属性对其分维大小可能有直接的影响。

关键词 分形; 分维; 土壤; 空间分布; 中国

中图分类号 S 151.3 文献标识码 A

自 1967 年美国科学家曼得尔布罗特发出“英国海岸线究竟有多长?”的诘问以来^[1], 分形理论的产生至今已经 30 多年了, 与历经 2 000 多年的欧氏几何相比, 分形、分维产生时间虽短, 但其在描述复杂几何形状方面的优势越来越显著。在土壤分形研究中, Turcotte 研究了土壤分维的计算方法^[2], Dathe 等分析了土壤孔隙表面的分形性质^[3], Gimenez 等研究了土壤团聚体的分形结构^[4], Millan 等则分析土壤变性过程中的分维动态变化过程^[5], Posadas 等探讨了土壤孔隙的多分形特征^[6], Fuentes 等建立了土壤水分运移的分形模型^[7], Xu 等建立了土壤水分渗透的分形模型^[8], 吴承祯等探讨了不同模式下土壤肥力的分维^[9], 张世熔等研究了耕层土壤颗粒的分形性质^[10], 黄冠华等探讨了通过土壤粒度分维测算土壤水分特性的可能^[11], 杨秀春等通过风洞短期吹蚀实验探讨了干旱区土壤粒度变化的分维特征^[12]。概括而言, 以上土壤分形研究的基本立足点是对小区域土壤粒度、水分等分维的计算, 在此基础上再探讨

土壤粒度、水分分维的变化及其与土壤理化性质的关系, 但是对于大区域土壤空间分布的研究少见报导。不同土壤类型在空间上表现为大小不等、分布不均的面状斑块(Patch), 不同土壤类型斑块的空间分布也必定有所差异。中国土壤类型丰富, 除极地苔原土、热带黑土、荒漠土外, 世界上的主要土壤类型在我国都有分布, 并且我国还有特色的紫色土、黑垆土等。我国丰富的土壤类型就为土壤空间分布特征研究提供了极佳区域。运用分形理论, 本文对中国土壤类型空间分布的以下 4 个方面进行了研究: 第一, 中国各土壤类型斑块的周长-面积关系, 并通过该关系确定中国土壤空间分形结构是否客观存在; 第二, 中国各土壤类型空间分布的分维; 第三, 中国各土壤类型空间分布的稳定性指数; 第四, 中国土壤类型斑块空间分布的几何属性与分维之间的可能关系。

1 研究方法

在传统欧氏几何中, 对于一个规则图形, 例如半

* 国家自然科学基金项目(40335046, 40301002)资助

- 通讯作者: Tel. 010-67424953; E-mail: yangxc@263.net

作者简介: 朱晓华(1972-), 男, 安徽郎溪人, 博士, 副研究员, 主要从事非线性地学与遥感应用研究

收稿日期: 2004-07-12; 收到修改稿日期: 2005-06-06

径为 r 、面积为 A 、周长为 P 的圆, A 、 P 与 r 之间的关系分别为

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

$$P = 2\pi r \quad (2)$$

于是, A 与 P 之间的关系则为

$$P = (4\pi A)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

分形理论创始人 Mandelbrot 在分析上述关系的基础上, 提出了面状分形对象的周长-面积关系为^[13]

$$P^{\frac{1}{D}} \propto A^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

即

$$P \propto A^{\frac{D}{2}} \quad (5)$$

实际上, Lovejoy 还证明了降雨云的周长、面积关系也符合(5)式^[14]。

正是受到上述研究的启发, 笔者认为中国土壤空间分布如果具有分形性质, 也可能符合(5)式, 基于此, 利用中国土壤数据对各土壤斑块的周长、面积

关系进行了定量计算与分析。

对于某一土壤类型而言, 只要通过其系列斑块的周长、面积数据作双对数回归分析拟合, 就可以求取其分维 D 值, 即拟合直线的斜率值等于 $2/D$ 。通过双对数回归分析, 可建立某土壤类型系列斑块周长-面积关系为

$$\lg A = \frac{2}{D} \lg P + C \quad (6)$$

式中, A 为某一斑块面积, P 为同一斑块周长, D 为分维, C 为待定常数。

D 值越大, 表示空间上的斑块镶嵌结构越复杂。当 $D = 1.50$ 时, 表示处于一类型似于布朗运动的随机运动状态, 即空间上的斑块镶嵌结构最不稳定。 D 值越接近 1.5, 表示空间上的斑块镶嵌结构越不稳定。空间上土壤斑块镶嵌结构的稳定性指数 SK 计算公式为^[15]

$$SK = |1.5 - D| \quad (7)$$

SK 值越大, 表示空间上的斑块镶嵌结构越稳定。

表 1 中国土壤类型及其斑块数

Table 1 Soil types and their patch number of China

土壤类型 Soil type	斑块数 Patch number (piece)	土壤类型 Soil type	斑块数 Patch number (piece)
南方水稻土 Southern paddy soil	185	棕钙土 Brown caliche soil	65
鱗血水稻土 Shanxue paddy soil	41	灰钙土 Sierozem	20
北方水稻土 Northern paddy soil	15	灰漠土 Gray desert soil	23
黄刚土 Huanggang soil	6	灰棕漠土 Gray-brown desert soil	84
黄堰土 Huangyan soil	15	棕漠土 Brown desert soil	52
黄垆土 Huanglu soil	32	暗色草甸土 Dark meadow soil	61
土 Lou soil	7	灰色草甸土 Gray meadow soil	63
黑垆土 Dark loessial soil	27	沼泽土 Bog soil	79
绵土 Mian soil	15	滨海盐土 Coastal solonchak	5
熟黑土 Mellow black earth	20	盐土 Solonchak	15
潮土 Fluvo-aquic soil	122	内陆盐土 Continental solonchak	134
灌淤土 Irrigation silting soil	10	碱土 Solonetz	0
绿洲土 Oasis soil	74	磷质石灰土 Phospho-calcic soil	0
砖红壤 Latosol	18	石灰土 Limestone soil	51
赤红壤 Latosolic red soil	96	紫色土 Purplish soil	32
红壤 Red earth	139	龟裂土 Takyr	16
燥红土 Torrid red soil	2	风沙土 Aeolian soil	84
黄壤 Yellow earth	144	山地草甸土 Mountain meadow soil	21
黄棕壤 Yellow-brown earth	54	山地灌丛草原土 Mountain shrub steppe soil	4
棕壤 Brown earth	108	黑毡土 Dark fely soil	45
褐土 Cinnamon soil	54	巴嘎土 Subalpine steppe soil	1
灰褐土 Gray-cinnamon soil	23	草毡土 Fely soil	128
暗棕壤 Dark brown earth	60	莎嘎土 Alpine steppe soil	14
漂灰土 Bleached podzolic soil	7	高山漠土 Alpine desert soil	11
灰色森林土 Gray forest soil	13	寒漠土 Frigid desert soil	110
黑土 Black soil	15	冰川和雪被 Glacier and snows	161
白浆土 Bleached beijing soil	30	盐壳 Salt lamella	5
黑钙土 Chernozem	77	湖泊 Lake	185
栗钙土 Castanozem	135	斑块总计 Total soil types	3 013

2 资料来源

研究资料来自于中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室生产的《中国资源与环境数据库(1:400万)》。该数据库中中国土壤数据采自于中国科学院南京土壤研究所编制的《中国1:400万土壤图》。中国土壤类型分为南方水稻土等57个类型(表1)。

需要指出的是,表1所列中国各土壤类型及其斑块数来自中国1978年版1:400万土壤图的土壤分类系统,该分类系统不仅与联合国粮农组织、美国等土壤分类系统有所差别,与我国最新土壤分类系统也不尽相同,但是尽管如此,1978年土壤分类系统作为分类系统的一种,基于该分类系统所提取的中国各土壤类型斑块周长、面积数据可视为一种数据源,具有横向比较与参考意义。实际上,由于认识的差异,关于土壤分类系统的研究与争议将在一段时期内持续下去^[16-18]。

3 中国各土壤类型斑块的周长-面积关系

中国土壤类型多样,图1仅给出了南方水稻土、红壤斑块的周长-面积双对数散点关系图以为示例。由于燥红土、碱土、磷质石灰土、巴嘎土的斑块均在2块以下,故不能建立斑块的周长-面积关系。

对图1中两组散点进行线性回归分析可得南方水稻土185块斑块、红壤139块斑块的周长 P -面积 A 关系分别为

$$\lg A = 1.345 \lg P + 1.798 \quad (8)$$

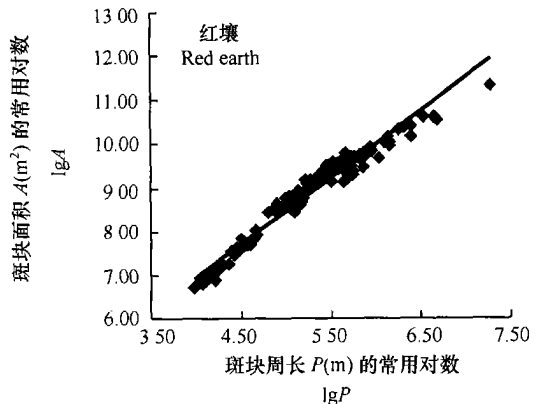
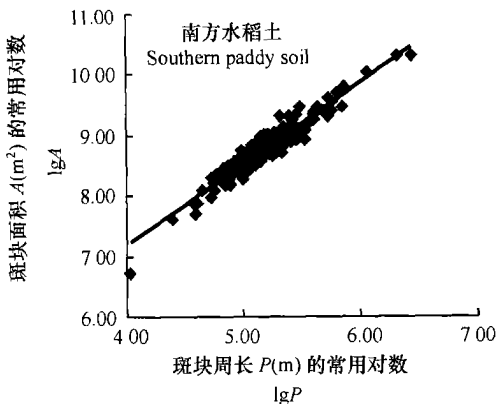


图1 南方水稻土、红壤斑块周长-面积双对数散点图

Fig 1 Plot of $\lg P$ against $\lg A$ of paddy soil and Red earth patches in South China

$$\lg A = 1.526 \lg P + 0.862 \quad (9)$$

中国各土壤类型斑块的周长-面积关系式见表2。

表2中各土壤类型斑块的周长-面积关系均可以通过 R 显著性检验,即除去燥红土、碱土、磷质石灰土、巴嘎土外,南方水稻土、黄刚土等其他53种土壤斑块的周长-面积双对数关系显著,也即中国土壤空间分形结构特征客观存在。

4 中国各土壤类型空间结构的分维

由表2和(6)式,可计算得到中国各土壤类型的分维(表3)。

由表3,寒漠土分维最大,为1.952,灰漠土分维最小,为1.158,二者相差0.794。即各土壤类型中以寒漠土斑块镶嵌结构最复杂,灰漠土最简单。分维为描述土壤空间分布复杂性提供了一个新参量。根据表3,可以对各土壤类型空间分布的复杂程度进行排序。

我国土壤的形成发育从华南 \rightarrow 东北 \rightarrow 西北有着规律性的分异变化^[19],那么,随着土壤类型从华南 \rightarrow 东北 \rightarrow 西北的变化,各土壤的分维又呈现出怎样的规律呢?

由表3,随着土壤类型从低纬度向高纬度的变化,即由砖红壤 \rightarrow 赤红壤 \rightarrow 红壤、黄壤 \rightarrow 黄棕壤 \rightarrow 棕壤、褐土 \rightarrow 暗棕壤 \rightarrow 漂灰土,各土壤分维在总体上呈现出变大的趋势,这也是由华南 \rightarrow 东北土壤分维的变化特征;再由东北 \rightarrow 西北,各土壤类型空间分维在总体上呈现出变大的态势;在青藏高原区,各土壤类型分维出现垂直与水平的复合分布,随着地势自东南向西北的逐渐升高,由各土壤类型分维总体变大。

表2 中国各土壤类型斑块的周长-面积关系式表

Table 2 Relationship between perimeter and area of patches of soils different in type in China

土壤类型 Soil type	周长-面积关系 Relationship of perimeter and area	相关系数 ¹⁾ Correlation coefficient ¹⁾
南方水稻土 Southern paddy soil	$\lg A = 1.345 \lg P + 1.798$	0.958 0*
鱗血水稻土 Shanxue paddy soil	$\lg A = 1.577 \lg P + 0.596$	0.983 3*
北方水稻土 Northern paddy soil	$\lg A = 1.294 \lg P + 2.132$	0.810 6*
黄刚土 Huanggang soil	$\lg A = 1.604 \lg P + 0.566$	0.842 5*
黄堰土 Huangyan soil	$\lg A = 1.342 \lg P + 1.875$	0.969 2*
黄垆土 Huanglu soil	$\lg A = 1.236 \lg P + 2.521$	0.943 0*
土 Lou soil	$\lg A = 1.515 \lg P + 0.883$	0.900 5*
黑垆土 Dark loessial soil	$\lg A = 1.417 \lg P + 1.562$	0.959 4*
绵土 Mian soil	$\lg A = 1.310 \lg P + 2.186$	0.976 0*
熟黑土 Mellow black earth	$\lg A = 1.392 \lg P + 1.739$	0.914 5*
潮土 Fluve-aquic soil	$\lg A = 1.280 \lg P + 2.245$	0.951 9*
灌淤土 Irrigation silting soil	$\lg A = 1.224 \lg P + 2.580$	0.933 3*
绿洲土 Oasis soil	$\lg A = 1.335 \lg P + 1.907$	0.968 3*
砖红壤 Latosol	$\lg A = 1.650 \lg P + 0.195$	0.991 2*
赤红壤 Latosolic red soil	$\lg A = 1.584 \lg P + 0.554$	0.983 5*
红壤 Red earth	$\lg A = 1.526 \lg P + 0.862$	0.980 0*
黄壤 Yellow earth	$\lg A = 1.362 \lg P + 1.851$	0.965 5*
黄棕壤 Yellow-brown earth	$\lg A = 1.344 \lg P + 1.919$	0.979 1*
棕壤 Brown earth	$\lg A = 1.469 \lg P + 1.177$	0.971 5*
褐土 Cinnamon soil	$\lg A = 1.401 \lg P + 1.583$	0.943 3*
灰褐土 Gray-cinnamon soil	$\lg A = 1.334 \lg P + 1.913$	0.933 7*
暗棕壤 Dark brown earth	$\lg A = 1.268 \lg P + 2.329$	0.963 5*
漂灰土 Bleached podzolic soil	$\lg A = 1.368 \lg P + 1.877$	0.989 4*
灰色森林土 Gray forest soil	$\lg A = 1.448 \lg P + 1.382$	0.935 1*
黑土 Black soil	$\lg A = 1.318 \lg P + 2.075$	0.935 5*
白浆土 Bleached bejiang soil	$\lg A = 1.306 \lg P + 2.044$	0.943 9*
黑钙土 Chernozem	$\lg A = 1.236 \lg P + 2.470$	0.952 9*
栗钙土 Castanozem	$\lg A = 1.356 \lg P + 1.832$	0.945 0*
棕钙土 Brown caliche soil	$\lg A = 1.259 \lg P + 2.319$	0.955 3*
灰钙土 Sierozem	$\lg A = 1.394 \lg P + 1.612$	0.952 9*
灰漠土 Gray desert soil	$\lg A = 1.726 \lg P - 0.117$	0.940 6*
灰棕漠土 Gray-brown desert soil	$\lg A = 1.326 \lg P + 1.964$	0.959 6*
棕漠土 Brown desert soil	$\lg A = 1.243 \lg P + 2.431$	0.963 2*
暗色草甸土 Dark meadow soil	$\lg A = 1.096 \lg P + 3.148$	0.965 1*
灰色草甸土 Gray meadow soil	$\lg A = 1.189 \lg P + 2.621$	0.953 7*
沼泽土 Bog soil	$\lg A = 1.047 \lg P + 3.426$	0.937 4*
滨海盐土 Coastal solonchak	$\lg A = 1.506 \lg P + 0.833$	0.988 2*
盐土 Solonchak	$\lg A = 1.213 \lg P + 2.569$	0.974 6*
内陆盐土 Continental solonchak	$\lg A = 1.292 \lg P + 2.076$	0.897 8*
石灰土 Limestone soil	$\lg A = 1.340 \lg P + 2.020$	0.957 9*
紫色土 Purplish soil	$\lg A = 1.393 \lg P + 1.702$	0.972 6*
龟裂土 Takyr	$\lg A = 1.038 \lg P + 3.787$	0.785 5*
风沙土 Aeolian soil	$\lg A = 1.561 \lg P + 0.836$	0.937 4*
山地草甸土 Mountain meadow soil	$\lg A = 1.147 \lg P + 2.866$	0.971 9*
山地灌丛草原土 Mountain shrub steppe soil	$\lg A = 1.126 \lg P + 2.880$	0.994 9*
黑毡土 Dark felty soil	$\lg A = 1.191 \lg P + 2.538$	0.981 6*
草毡土 Felty soil	$\lg A = 1.247 \lg P + 2.281$	0.958 0*
莎嘎土 Alpine steppe soil	$\lg A = 1.269 \lg P + 2.262$	0.978 6*
高山漠土 Alpine desert soil	$\lg A = 1.225 \lg P + 2.465$	0.989 9*
寒漠土 Frigid desert soil	$\lg A = 1.024 \lg P + 3.388$	0.938 6*
冰川和雪被 Glacier and snows	$\lg A = 1.352 \lg P + 1.717$	0.971 1*
盐壳 Salt lamella	$\lg A = 1.572 \lg P + 0.796$	0.997 6*
湖泊 Lake	$\lg A = 1.404 \lg P + 1.419$	0.936 7*
斑块总计 Total soil types	$\lg A = 1.392 \lg P + 1.585$	0.959 7*

1) 相关系数通过 $\lg P$ 与 $\lg A$ 关系求得 Correlation coefficients calculated based on logarithm relationship between p and A ; * 表示 0.05 显著水平

Symbol * represents statistical significance at 0.05

表 3 中国各土壤类型的分维

Table 3 Fractal dimensions of soils different in type in China

土壤类型 Soil type	分维 Fractal dimension	土壤类型 Soil type	分维 Fractal dimension
南方水稻土 Southern paddy soil	1.486	栗钙土 Castanozem	1.474
鳊血水稻土 Shanxue paddy soil	1.267	棕钙土 Brown caliche soil	1.587
北方水稻土 Northern paddy soil	1.545	灰钙土 Sierozem	1.434
黄刚土 Huanggang soil	1.246	灰漠土 Gray desert soil	1.158
黄堰土 Huangyan soil	1.489	灰棕漠土 Gray-brown desert soil	1.507
黄垆土 Huanglu soil	1.618	棕漠土 Brown desert soil	1.608
土 Lou soil	1.320	暗色草甸土 Dark meadow soil	1.824
黑垆土 Dark loessial soil	1.411	灰色草甸土 Gray meadow soil	1.681
绵土 Mian soil	1.526	沼泽土 Bog soil	1.908
熟黑土 Mellow black earth	1.436	滨海盐土 Coastal solonchak	1.327
潮土 Fluve-aquic soil	1.561	盐土 Solonchak	1.648
灌淤土 Irrigation silting soil	1.633	内陆盐土 Continental solonchak	1.548
绿洲土 Oasis soil	1.497	石灰土 Limestone soil	1.492
砖红壤 Latosol	1.211	紫色土 Purplish soil	1.435
赤红壤 Latosolic red soil	1.262	龟裂土 Takyr	1.925
红壤 Red earth	1.309	风沙土 Aeolian soil	1.281
黄壤 Yellow earth	1.468	山地草甸土 Mountain meadow soil	1.743
黄棕壤 Yellow-brown earth	1.487	山地灌丛草原土 Mountain shrub steppe soil	1.774
棕壤 Brown earth	1.361	黑毡土 Dark felty soil	1.679
褐土 Cinnamon soil	1.427	草毡土 Felty soil	1.602
灰褐土 Gray-cinnamon soil	1.498	莎嘎土 Alpine steppe soil	1.574
暗棕壤 Dark brown earth	1.576	高山漠土 Alpine desert soil	1.631
漂灰土 Bleached podzolic soil	1.461	寒漠土 Frigid desert soil	1.952
灰色森林土 Gray forest soil	1.381	冰川和雪被 Glacier and snows	1.478
黑土 Black soil	1.517	盐壳 Salt lamella	1.271
白浆土 Bleached beijiang soil	1.530	湖泊 Lake	1.423
黑钙土 Chernozem	1.617	斑块总计 Total soil types	1.436

5 中国各土壤类型的稳定性指数

根据(7)式和表3,可得中国各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定性指数 SK (表4)。

由表4,中国各土壤类型中,以寒漠土斑块镶嵌结构的稳定性最高,龟裂土斑块镶嵌结构的稳定性其次,而以灰褐土斑块镶嵌结构的稳定性最低。根据表4,可以对中国各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定程度进行排序。

随着我国土壤类型由南向东北的变化,各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定性指数总体变小。在青藏

高原区,由东南向西北,各土壤类型斑块镶嵌结构的稳定性指数总体变大。

6 中国土壤空间分形结构的多元相关分析

土壤空间分布具有分形性质,那么其分形性质的又可能受到哪些因素的影响呢?下面应用多元线性分析方法,探讨了中国各土壤类型分维 D (表3)与斑块数 L (表1)和斑块平均形状指数 S (表5)的多元线性关系。以正方形为参照几何形状的单斑块的形状指数 S 计算公式为^[20]

表4 中国各土壤类型的稳定性指数

Table 4 Stability indexes SK of spatial structure of soils different in type in China

土壤类型 Soil type	SK	土壤类型 Soil type	SK
南方水稻土 Southern paddy soil	0.013 7	栗钙土 Castanozem	0.025 7
鱗血水稻土 Shanxue paddy soil	0.232 5	棕钙土 Brown caliche soil	0.087 7
北方水稻土 Northern paddy soil	0.045 1	灰钙土 Sierozem	0.065 3
黄刚土 Huanggang soil	0.253 7	灰漠土 Gray desert soil	0.341 8
黄堰土 Huangyan soil	0.010 2	灰棕漠土 Gray-brown desert soil	0.007 7
黄垆土 Huanglu soil	0.118 0	棕漠土 Brown desert soil	0.108 0
楼土 Lou soil	0.180 0	暗色草甸土 Dark meadow soil	0.324 0
黑垆土 Dark loessial soil	0.088 6	灰色草甸土 Gray meadow soil	0.181 2
绵土 Mian soil	0.026 3	沼泽土 Bog soil	0.408 6
熟黑土 Mellow black earth	0.063 9	滨海盐土 Coastal solonchak	0.172 2
潮土 Fluvo-aquic soil	0.061 6	盐土 Solonchak	0.148 1
灌淤土 Irrigation silting soil	0.133 3	内陆盐土 Continental solonchak	0.048 0
绿洲土 Oasis soil	0.002 1	石灰土 Limestone soil	0.008 0
砖红壤 Latosol	0.288 2	紫色土 Purplish soil	0.064 6
赤红壤 Latosolic red soil	0.238 0	龟裂土 Takyr	0.425 3
红壤 Red earth	0.190 2	风沙土 Aeolian soil	0.218 9
黄壤 Yellow earth	0.031 9	山地草甸土 Mountain meadow soil	0.243 7
黄棕壤 Yellow-brown earth	0.012 8	山地灌丛草原土 Mountain shrub steppe soil	0.274 9
棕壤 Brown earth	0.139 0	黑毡土 Dark felty soil	0.179 0
褐土 Cinnamon soil	0.072 5	草毡土 Felty soil	0.102 9
灰褐土 Gray-cinnamon soil	0.001 3	莎嘎土 Alpine steppe soil	0.074 9
暗棕壤 Dark brown earth	0.076 5	高山漠土 Alpine desert soil	0.131 6
漂灰土 Bleached podzolic soil	0.039 0	寒漠土 Frigid desert soil	0.452 4
灰色森林土 Gray forest soil	0.118 9	冰川和雪被 Glacier and snows	0.021 3
黑土 Black soil	0.017 0	盐壳 Salt lamella	0.228 1
白浆土 Bleached beijiang soil	0.030 8	湖泊 Lake	0.076 1
黑钙土 Chernozem	0.117 9	斑块总计 Total soil types	0.063 7

$$S = \frac{0.25 \times P}{\sqrt{A}} \quad (10)$$

式中, P 为斑块周长, A 为斑块面积。斑块形状越复杂, S 值就越大。

各土壤类型分维 D 与斑块数 L 、斑块平均形状指数 S 之间的多元线性关系为:

$$D = 1.213 + 0.0002L + 0.1578S \quad (11)$$

(11) 式的复相关系数为 0.349 2, 可通过显著性检验 ($n = 53, R_{0.05} = 0.338 2$), 说明中国各土壤类型分维 D 与斑块数 L 和斑块平均形状指数 S 之间的相关性显著, 亦即中国土壤类型斑块空间分布的几何属性对其分维大小可能有着直接的影响。

表 5 中国各土壤类型的平均形状指数 S Table 5 Average patch shape indexes (S) of soils different in type in China

土壤类型 Soil type	S	土壤类型 Soil type	S
南方水稻土 Southern paddy soil	1.609	栗钙土 Castanozem	1.881
鱗血水稻土 Shanxue paddy soil	1.423	棕钙土 Brown caliche soil	2.078
北方水稻土 Northern paddy soil	1.428	灰钙土 Sierozem	1.898
黄刚土 Huanggang soil	1.656	灰漠土 Gray desert soil	1.558
黄堰土 Huangyan soil	1.824	灰棕漠土 Gray-brown desert soil	1.945
黄垆土 Huanglu soil	1.791	棕漠土 Brown desert soil	2.056
土 Lou soil	2.141	暗色草甸土 Dark meadow soil	2.188
黑垆土 Dark loessial soil	1.342	灰色草甸土 Gray meadow soil	1.769
绵土 Mian soil	2.100	沼泽土 Bog soil	1.766
熟黑土 Mellow black earth	1.529	滨海盐土 Coastal solonchak	2.361
潮土 Fluve-aquic soil	1.629	盐土 Solonchak	1.440
灌淤土 Irrigation silting soil	1.712	内陆盐土 Continental solonchak	1.704
绿洲土 Oasis soil	1.356	石灰土 Limestone soil	1.595
砖红壤 Latosol	1.711	紫色土 Purplish soil	1.898
赤红壤 Latosolic red soil	1.642	龟裂土 Takyr	1.558
红壤 Red earth	1.822	风沙土 Aeolian soil	1.535
黄壤 Yellow earth	1.842	山地草甸土 Mountain meadow soil	1.336
黄棕壤 Yellow-brown earth	1.763	山地灌丛草原土 Mountain shrub steppe soil	2.813
棕壤 Brown earth	2.058	黑毡土 Dark felty soil	2.622
褐土 Cinnamon soil	1.594	草毡土 Felty soil	3.087
灰褐土 Gray-cinnamon soil	1.914	莎嘎土 Alpine steppe soil	2.600
暗棕壤 Dark brown earth	1.716	高山漠土 Alpine desert soil	2.506
漂灰土 Bleached podzolic soil	1.547	寒漠土 Frigid desert soil	1.619
灰色森林土 Gray forest soil	1.358	冰川和雪被 Glacier and snows	1.458
黑土 Black soil	1.708	盐壳 Salt lamella	1.372
白浆土 Bleached beijiang soil	1.833	湖泊 Lake	1.535
黑钙土 Chernozem	1.822		

7 结 论

本文运用分形理论,对中国土壤类型空间分布的分形性质进行了定量研究,不仅建立了中国各土壤类型系列斑块周长、面积之间的定量关系,而且进一步计算出中国各土壤类型在空间上斑块镶嵌结构的分维与稳定性指数,从而为定量描述中国土壤系统提供了有用的参数。土壤系统是自然界和人为因素长期作用的产物,本文对中国土壤类型分形与分维的系统揭示,也许可为土壤系统复杂性研究提供有益的借鉴与启示。

参 考 文 献

- [1] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 1967, 156 (3 775): 636~ 638
- [2] Tuotte D L. Fractal fragmentation. *J. Geography Res.*, 1986, 91 (12): 1 921~ 1 926
- [3] Dathe A, Eims S, Niemeyer J, *et al.* The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis. *Geoderma*, 2001, 103(1/2): 203~ 229
- [4] Gimenez D, Karon J L, Posadas A, *et al.* Fractal dimensions of mass estimated from intact and eroded soil aggregates. *Soil Till. Res.*, 2002, 64(1/2): 165~ 172
- [5] Millan H, Gonzalez-Posada M, Benito R M. Fragmentation fractal dimensions of Vertisol samples: Influence of sieving time and soil pre-treatment. *Geoderma*, 2002, 109(1/2): 75~ 83
- [6] Posadas A N D, Gimenez D, Quiroz R, *et al.* Multifractal characterization of soil pore systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, 67(5): 1 361~ 1 369
- [7] Fuentes C, Antonino A C D, Sepulveda J, *et al.* Prediction of the relative soil hydraulic conductivity with fractal models. *Hydraulic Engineering in Mexico*, 2003, 18(4): 31~ 40
- [8] Xu Y F, Sun D A. A fractal model for soil pores and its application to determination of water permeability. *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 2002, 316(1): 56~ 64
- [9] 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团聚结构的分形特征研究. *土壤学报*, 1999, 36(2): 162~ 167. Wu C Z, Hong W. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns(In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(2):

- 162~ 167
- [10] 张世榕, 邓良基, 周倩, 等. 耕层土壤颗粒表面的分形维数及其与主要土壤特性的关系. 土壤学报, 2002, 39(2): 221~ 226. Zhang S R, Deng L J, Zhou Q, *et al.* Fractal dimensions of particle surface in the plowed layers and their relationship with main soil properties (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 221~ 226
- [11] 黄冠华, 詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用. 土壤学报, 2002, 39(4): 490~ 497. Huang G H, Zhan W H. Fractal property of soil particle size distribution and its application (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(4): 490~ 497
- [12] 杨秀春, 刘连友, 严平. 土壤短期吹蚀的粒度分维特征. 土壤学报, 2004, 41(2): 176~ 182. Yang X C, Liu L Y, Yang P. On fractal dimension of soil particle size by wind erosion in a short period (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 176~ 182
- [13] Mandelbrot B B, Passoja D E, Paullay A J. Fractal character of fracture surfaces of metals. *Nature*, 1984, 308(5961): 721~ 722
- [14] Lovejoy S. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. *Science*, 1982, 216(4542): 185~ 187
- [15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2002. 412~ 413. Xu J H. *Mathematical Method in Contemporary Geography* (In Chinese). Beijing: High Education Press, 2002. 412~ 413
- [16] 王效举, 史成华, 龚子同. 关于中国土壤系统分类的应用问题. 土壤, 1994, 26(4): 175~ 178. Wang X J, Shi C H, Gong Z T. Application problems of soil classification system of China (In Chinese). *Soils*, 1994, 26(4): 175~ 178
- [17] Zhou B, Wang R C. Knowledge based classification in automated soil mapping. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 209~ 218
- [18] 史学正, 于东升, 孙维侠, 等. 中美土壤分类系统的参比基准研究: 土类与美国系统分类土纲间的参比. 科学通报, 2004, 49(13): 1299~ 1303. Shi X Z, Yu D S, Sun W X, *et al.* Reference benchmarks relating to great groups of genetic soil classification of China with soil taxonomy (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(13): 1299~ 1303
- [19] 张治勋. 中国自然地理图解. 西安: 陕西师范大学出版社, 1990. 116~ 117. Zhang Z X. *The Physical Geography Atlas of China* (In Chinese). Xi'an: Shanxi Normal University Press, 1990. 116~ 117
- [20] 邬建国. 景观生态学. 北京: 高等教育出版社, 2002. 100~ 101. Wu J G. *Landscape Ecology—Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2002. 100~ 101

FRACTAL AND FRACTAL DIMENSION OF SPATIAL DISTRIBUTION OF CHINA SOIL SYSTEM

Zhu Xiaohua¹ Yang Xiuchun² Cai Yunlong³

(1 *Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

(2 *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

(3 *Department of Resource & Environment & Geography, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract B. B. Mandelbrot enunciated the concepts of fractal and fractal dimension in 1967. They have found application in a variety of fields ever since. Fractal theory is a new method to observe and explain the complexity and mechanism of nature. Although fractal dimensions of lots of phenomena were calculated, related studies on fractal characters of soils of China are seldom seen. This issue is discussed in this paper. Some significant conclusions are drawn:

(1) A certain relationship between perimeter and area of soil patches objectively exists for soils in China.

(2) Fractal dimensions of soils of China are calculated. It is the biggest with the cold desert soil being 1.952 4, and the smallest with the gray desert soil, being 1.158 2.

(3) The fractal dimensions of soils of China tend to increase from the south to the northeast and northwest of the country, showing a rising trend with the topography rising from southeast to northwest, in the Qinghai-Tibet Plateau.

(4) The stability of spatial structure is the highest with the cold desert soil and the smallest with the gray-cinnamonic soil.

(5) The stability of spatial structure of soil type declines from South China to Northeast China, but rises from the southeast to the northwest in the Qinghai-Tibet Plateau.

(6) Physical mechanism of the spatial fractal structure of the soils of China is also revealed. It is indicated that the average indexes of number and shape of soil patches are the most important factors which influence spatial fractal structure of the soils. In other words, the spatial fractal structures of soils are mainly influenced by geometric characteristic of the spatial pattern of soils.

Key words Fractal; Fractal dimension; Soil; Spatial distribution; China