

DOI: 10.5846/stxb201503310634

王宏志, 潘方杰, 周勇, 徐新良, 李仁东, 刘目兴. 异质景观条件下江汉平原土壤空间分异研究. 生态学报, 2016, 36(18): - .

Wang H Z, Pan F J, Zhou Y, Xu X L, Li R D, Liu M X. Study on the spatial differentiation of soil in heterogeneous landscapes of the jiangnan plain. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): - .

异质景观条件下江汉平原土壤空间分异研究

王宏志¹, 潘方杰¹, 周勇¹, 徐新良^{2,*}, 李仁东³, 刘目兴¹

1 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079

2 资源与环境信息系统国家重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

3 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077

摘要: 景观异质与土壤分异息息相关。以 DEM 数据为基础, 以海拔 50 米、100 米为界, 将江汉平原划分为平原湖区景观、平缓岗地景观及起伏丘陵景观三种类型。在 ArcGIS10 支持下, 将江汉平原土壤图与景观类型图进行叠置分析, 提取不同景观类型片区各土壤亚类斑块周长、面积等信息, 计算了各景观类型片区各土壤亚类的分维数、平均斑块面积、稳定度等信息, 定量分析了江汉平原各景观类型片区土壤空间分异特征, 结论如下: (1) 不同景观类型区各土壤亚类分布差异明显, 起伏丘陵景观区主要以红壤和黄棕壤地带性土壤为主; 平原湖区潮土和水稻土等耕作土非常发育; 平缓岗地地区地带性土壤和耕作土壤平分秋色。(2) 连片性较好的土壤亚类呈现不同的景观选择性: 耕作土集中分布于平原湖区景观片区; 地带性土壤多集中分布于丘陵和岗地景观片区。(3) 平原湖区面积很大, 各类土壤都有发育的空间, 土壤亚类之间分维数和稳定度差别比较大; 平缓岗地景观区由于面积非常局限, 土壤亚类发生发育受到空间的限制, 边界破碎化, 分维数平均都比较大, 斑块镶嵌结构均比较复杂, 稳定度差别较小。(4) 主要土壤亚类的分维数和稳定性指数值一定程度地反映了各主要土壤亚类的最匹配的景观类型, 即能够提供其发生发育的最佳条件。研究有利于深入认识土壤形成和演化规律, 为土壤资源的合理利用及定向培育服务。

关键词: 景观类型; 土壤亚类; 连片性; 分维数; 江汉平原

Study on the spatial differentiation of soil in heterogeneous landscapes of the jiangnan plain

WANG Hongzhi¹, PAN Fangjie¹, ZHOU Yong¹, XU Xinliang^{2,*}, LI Rendong³, LIU Muxing¹

1 Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation, Hubei Province, College of Urban & Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

2 State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China

Abstract: Landscape heterogeneity is closely related to soil differentiation. The Jiangnan Plain is divided into three landscape types: Plain Lake, Gently Gradated Mounds, and Rolling Hills, delineated according to contour lines of 50 m and 100 m, based on DEM data. The overlay analysis of the soil and landscape type maps was done to extract data describing the soil subgroup patches, as well as their perimeters and areas, etc. in different landscape types. This analysis was supported by the ArcGIS10 platform. Then, some indices, such as the fractal dimension, average patch area, and stability index were calculated to quantitatively analyze the spatial differentiation of the soil in different landscape types. The results are as follows: (1) There is significant spatial differentiation of soil subgroups in different landscape types. The

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271534, 41371183, 40771088); 华中师范大学中央高校基本业务费(CCNU15ZD001); 湖北省自然科学基金重点项目(2015CFA141)

收稿日期: 2015-03-31; **网络出版日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuxl@reis.ac.cn

Rolling Hills landscape is mainly composed of zonal soils, including red soil and yellow brown soil. Arable soil types such as fluvo-aquic and paddy soil are very well developed in the Plain Lake landscape, while zonal and arable soils are equally represented in the Gently Gradated Mounds landscape. (2) Every subgroup soil with good connectivity exhibited a landscape selectivity bias. Arable soils with good connectivity appear to be mostly concentrated in the Plain Lake landscape, while the most concentrated zonal soils are found in the Gently Gradated Mounds and Rolling Hills landscapes. (3) The Plain Lake landscape on the Jiangnan Plain is large enough that all soil subgroups were found to be well developed in that area. Thus, the differences among the fractal dimension (D values) or the stability index values of the different soil subgroups are larger, which can better reflect soil intrinsic characteristics. However, in the Gently Gradated Mounds landscape, soil development and evolution is restricted by space, so the boundaries of the soil subgroups are fragmented and the associated fractal dimension values (D values) are larger on average. The larger fractal dimension values (D values) reflect the more complex mosaic structures of the soil subgroup patches in that landscape. However, because the D values are universally larger in the Gently Gradated Mounds landscape, the differences among the fractal dimension values of the different soil subgroup patches are smaller, as are the stability index values of the soil subgroup patches. (4) The value of the fractal dimension, or the stability index of a soil subgroup, reveals the best-matched landscape type to some degree, which in turn provides the ideal conditions for the soil subgroup to develop or evolve well. This research improves our understanding of the evolution of soil, and facilitates the rational use and the directed breeding of soil resources.

Key Words: Landscape type; soil subgroup; connectivity; fractal dimension; Jiangnan Plain

开放系统中景观异质性是决定物质能量状态、流向的重要结构^[1-2],具有尺度等级性。海拔高度是产生景观异质性的重要因素之一,从大尺度上来看,海拔高度通过调节水热条件影响景观异质性;从小尺度来看,海拔高度通过决定水分和物质的运移方向等方面影响景观异质性,一定程度上决定了土壤颗粒粒径和土壤水状况,进而在土壤空间分异方面有重要表现^[3]。研究异质景观对于土壤空间分异的影响,有利于深入认识土壤演化规律,为土壤资源的合理利用及定向培育服务。

异质景观下土壤差异研究具有很强的交叉学科特性,是学界探讨的热门领域,异质景观下土壤成分的差异研究已经有较多的成果。以墨西哥南部为案例区,研究了风蚀作用对鼠尾粟属-豆科灌木和格兰马草-豆科灌木两种不同景观下土壤成分影响差异,发现与有机质相关的土壤成分如 SOC、TN、有效 N 和 SO_4^{2-} 率先被再分布,而其它离子再分布不显著或未能显示,该再分布特征在鼠尾粟属-豆科灌木景观下比在格兰马草-豆科灌木景观下要显著^[4]。来自科尔沁沙漠的研究显示,自然恢复 20 年的移动沙丘景观与自然恢复 11 年的移动沙丘景观相比,土壤的 SOC 和 TN 等成分的空间分布具有更多的同质性^[5]。这些异质景观下土壤成分差异的研究,对于理解土壤形成、演化过程具有重要的意义。但迄今为止异质景观下土壤类型空间分异的研究目前尚不多见。

另一方面,分形理论为空间分异研究提供了有力的定量分析方法,该理论于 20 世纪 70 年代由美籍法国科学家 B. Mandelbrot 提出,在描述复杂不规则几何形状嵌套的自然空间现象方面具有独特的优势^[6],在土壤研究方面也得到了广泛应用。微观方面如不同经营模式下土壤团粒结构的分维特征^[7]、土壤空隙的分形模型与透水性计量^[8]等,宏观方面如土壤类型的空间分异特征等研究^[9-12]。

鉴于对异质景观下土壤类型空间分异特征差异的定量研究尚较缺乏,拟以江汉平原这一自然地理单元为案例研究区对此进行探讨。江汉平原($29^{\circ}26'—31^{\circ}10'N$, $111^{\circ}30'—114^{\circ}32'E$)地处长江中游、湖北省中南部,总面积约为 $31,036 \text{ km}^2$ ^[13-14],是湖北乃至全国重要的粮食产区和农产品生产基地。江汉平原由西北向东南微倾,中南部主体属于扬子准地台江汉断拗,自古近纪始本区一直处于下沉过程中,堆积作用旺盛,形成了海拔 50m 以下的平原湖区景观;而北部、西部则逐渐抬升,形成海拔 50 米以上的平缓岗地景观及海拔 100—500 米的起伏丘陵景观^[15]。这种异质景观格局长期控制着江汉平原土壤成土母质分异和水分条件差异。拟在土

壤数据库和 DEM 数据支持下,利用分形分析方法,研究景观异质对土壤亚类的空间分异、斑块稳定度、连片度等特征的影响,揭示江汉平原景观异质性对区域土壤空间分异的作用。

1 研究方法

1.1 数据来源及处理

1.1.1 江汉平原土壤数据库

以 ArcGIS10.0 为操作平台,建立了江汉平原土壤数据库,其数据基础是全国第二次土壤普查成果,包括江汉平原土壤类型矢量图、代表土层特征表、江汉平原区划图、土地利用图、江汉平原土壤环境数据、社会经济等数据等。其中江汉平原土壤类型矢量图层底图来源于《湖北省分县土壤图集》^[16]。该图集是基于 1:1 万的外业土壤调查的基础上逐步缩编而成,原制图单元是土种。受限于县域面积和图幅大小的限制,各县比例尺在 1:10 万到 1:20 万之间。采用统一的投影系统对各县图件进行配准和数字化。本研究中将土种图斑合并至亚类进行研究,研究区涉及 8 个土壤类型、18 个土壤亚类。

1.1.2 江汉平原异质景观划分

江汉平原由近代强烈沉降的江汉盆地承受长江汉江的冲积沉积物而形成,其景观差异主要表现在地貌类型、河湖关系、土地利用方式与程度等方面的差异,受高程影响很大^[15,17-18],可以近似地以海拔高度来划分景观类型:海拔 50m 以下主要为平原湖区景观;海拔 50 米以上 100 米以下主要为平缓岗地景观;海拔 100 米以上主要为起伏丘陵景观。从研究区 DEM 矢量图中提取 50m、100m 等高线,以此为界,将江汉平原划分上述三类景观类型区。DEM 影像来源于中科院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站,下载格式为 IMG,空间分辨率为 30m,投影类型为 UTM/WGS84。研究区共涉及 12 幅 GDEM 影像,通过拼接、裁剪以及坐标、投影转换、高程计算与赋值,将栅格数据转换为矢量 DEM,并进行平滑处理。

1.1.3 不同景观类型下土壤信息提取

将江汉平原景观类型区矢量图与土壤类型矢量图进行叠置分析,得到不同景观类型区的土壤类型分布图(见图 1),提取各景观类型区土壤亚类面积及其斑块数量信息(见表 1)。

1.2 周长—面积双对数分维模型

分形理论在定量描述具有不规则、粗糙、支离破碎的自然结构时具有独特的优势^[6]。分形维数的计算方法发展了很多种类型,经典方法有自相似维数和盒计数维数等;周长—面积法是从经典算法演化而来,广泛地应用于景观要素图斑的分形特征、镶嵌结构^[19-20]及土壤斑块的形态结构^[12]等研究,其表达式为:

$$P^{1/D}A^{1/2} \quad (1)$$

对式(1)两边分别取对数:

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

式(1)和(2)中:A 为某个(类)不规则面状图形的面积,P 为该(或该类)图形的周长,C 为待定常数,D 则为该(或该类)图形的分维数。分数维图形虽然一般都非常复杂,但其复杂程度却可用非整数维去量化。对某一土壤类型而言,将各斑块的周长、面积的对数值作回归分析拟合,可得到该类型土壤斑块的周长、面积对数值拟合直线的斜率值(2/D),2 除以直线斜率值的商即是各土壤类型的分维数 D。D 值在 1—2 之间,D 值越大,表示土壤斑块空间镶嵌结构越复杂。理论上,当 D=1 时,表示土壤斑块为正方形;当 D=2 时,土壤斑块全部被边界填满;D=1.5 时,土壤斑块边界随机性最高,土壤类型斑块空间镶嵌结构最不稳定,可以采用 |1.5-D| 表示土壤类型斑块空间镶嵌结构的稳定性^[21-22]。

2 结果与分析

2.1 江汉平原异质景观与土壤空间分异

江汉平原主体由长江、汉江及其支流的河流冲积物和湖相沉积物堆积而成^[15]。域内三种景观类型面积

构成为:平原湖区景观占 85.67%、平缓岗地景观 7.58%和起伏丘陵景观平原景观 6.76%。区内水域面积为 3201 km²,土壤面积为 27835 km²。对不同景观类型下土壤亚类面积、斑块数量信息及空间分布特征进行分析(图 1 和表 1),显示江汉平原异质景观与土壤空间分异具有明显的空间关联。

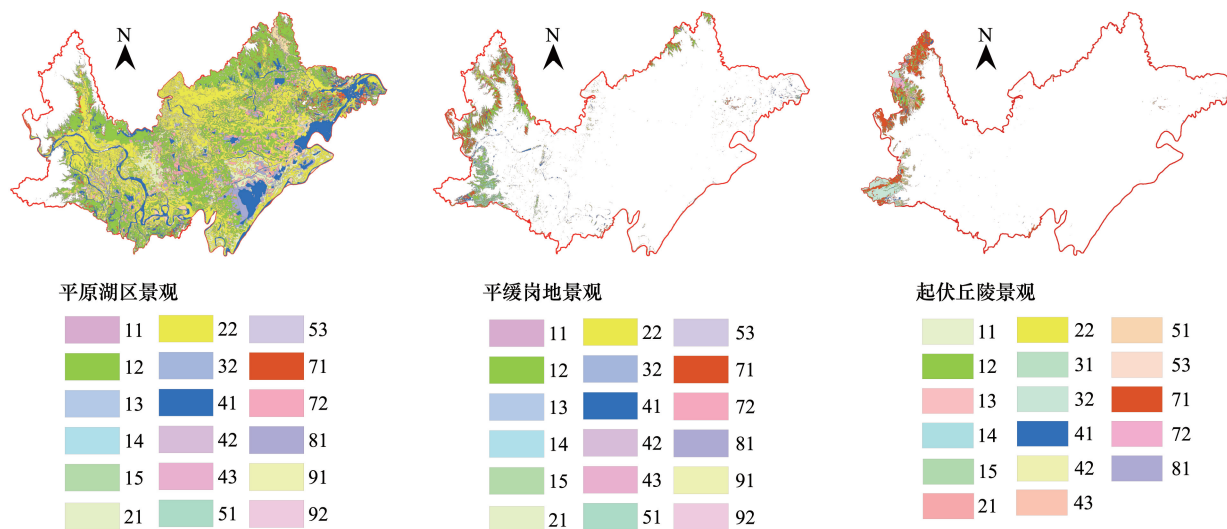


图 1 江汉平原不同景观类型下土壤空间分布

Fig.1 The Distribution map of Soil Subgroups under different landscapes

(a)平原湖区景观 Plain Lake; (b)平缓岗地景观 Gently Gradated Mounds; (c)起伏丘陵景观 Rolling Hills

2.1.1 不同景观类型下优势土壤类型及其破碎度差异明显

江汉平原地带性土壤为红壤和黄棕壤,由于开发利用条件优越,耕作土壤如水稻土和潮土十分发育。区域大平小不平的微景观格局奠定了土壤空间分异的物质能量基础。从表 1 可见,不同景观类型区土壤面积构成和斑块数量结构具有显著差异。

起伏丘陵景观土壤类型面积结构为:红壤和黄棕壤等地带性土壤占 51.58%、岩性土占 25.08%、耕作土壤(包括水稻土和潮土)占 23.32%,可见起伏丘陵景观土壤以地带性土壤和岩性土为主,占土壤总面积的 76.66%。平原湖区景观土壤面积结构为耕作土壤 96.23%、地带性土壤 2.61%、岩性土 0.0066%、草甸土和沼泽土 1.15%,可见平原湖区景观耕作土壤占绝对优势。平缓岗地景观水稻土 53.03%、潮土占 5.33%、岩性土占 2.82%、地带性土壤占 38.66%、其他土壤占 0.15%,可见平缓岗地景观耕作土壤和地带性土壤均占比较大的份额,具有明显的过渡特色。

就斑块数量构成而言,起伏丘陵景观耕作土壤斑块占 50.77%,地带性土壤斑块占 42.35%;对比其面积构成可见,耕作土壤面积比例远小于其斑块数量比例,而地带性土壤面积构成比例和其斑块数量构成比例相当,说明起伏丘陵景观区耕作土壤斑块相对破碎。平原湖区景观耕作土壤斑块数量占 88.33%,地带性土壤斑块数量占 11.05%;对比其面积构成可见,耕作土壤面积比例略大于其斑块数量比例,而地带性土壤面积比例远小于其斑块数量比例,说明平原湖区景观区地带性土壤斑块破碎。

总之,起伏丘陵景观区地带性土壤为主且破碎度小,平原湖区景观区以耕作土为主且破碎度小,平缓岗地景观区土壤类型构成呈现出明显的过渡特征。

2.1.2 主要土壤亚类的景观类型分布差异明显

江汉平原耕作土壤主要包括水稻土和潮土。水稻土总面积为 14779.22km²,分为淹育型、潜育型、潜育型、沼泽型、侧渗型水稻土等亚类,其中潜育型水稻土亚类土质最为优良,熟化程度较高,分布最广,面积最大,占水稻土总面积的 67.55%。潜育型水稻土面积的景观构成分别为:平原湖区 85.71%、平缓岗地 10.39%、起伏丘陵为 3.90%,这种巨大差异是由江汉平原的景观类型优势度的差别决定的,而各景观类型内部,潜育型水

稻土在土壤中面积占比分别为:平原湖区景观 35.9%、平缓岗地景观 49.2%、起伏丘陵景观 20.7%。可见,江汉平原潴育型水稻土分布受景观类型限制较小。潮土总面积为 9837.67 km²,分潮土和灰潮土两个亚类,其中灰潮土面积占 94.16%。灰潮土面积的景观构成为:平原湖区景观 98.80%,平缓岗地景观 1.14%和起伏丘陵景观 0.065%。而各景观类型内部,灰潮土的占比分别为:平原湖区景观 38.4%、平缓岗地景观 5.0%、起伏丘陵景观 0.03%;可见江汉平原灰潮土分布受景观影响很大。

表 1 江汉平原不同景观类型下土壤亚类及其斑块数

Table 1 Area and patch number of each subgroup soil in different landscapes of Jiangnan Plain

土类 Soil group	土壤亚类 Subgroup soil		各景观类型下各土壤亚类斑块数量及面积/km ² The number and area of each subgroup soil under each landscape					
	编码 Code	名称 Name	平原湖区 Plain lake	面积 Area	平缓岗地 Gently gradated mounds	面积 Area	起伏丘陵 Rolling hills	面积 Area
水稻土 Paddy soil	11	淹育型水稻土	1457	2305.97	366	58.51	58	37.25
	12	潴育型水稻土	2999	8556.86	1987	1037.63	525	389.54
	13	潜育型水稻土	950	1311.6	130	10.99	18	3.85
	14	沼泽型水稻土	492	1010.95	64	5.48	8	0.27
	15	侧渗型水稻土	70	43.29	32	5.96	2	1.07
潮土 Fluvo-aquic soil	21	潮土	423	566.56	76	6.93	4	0.59
	22	灰潮土	2320	9151.97	1710	105.56	101	6.06
石灰土 Lime soil	31	棕色石灰土	0	0	0	0	7	6.81
	32	黑色石灰土	4	1.2	16	12.49	19	346.35
紫色土 Purple soil	42	中性紫泥土	5	0.36	16	26.07	34	16.87
	43	灰紫色土	1	0.01	30	20.96	36	101.58
红壤 Red soil	51	棕红壤	200	105	175	258.16	133	94.94
	53	红壤性土	42	29.7	52	11.42	26	8.36
黄棕壤 Yellow brown soil	71	黄棕壤	837	485.36	788	525.82	408	767.59
	72	黄棕壤性土	11	2.16	36	19.96	36	99.08
草甸土 Meadow soil	81	浅色草甸土	45	249.98	77	3.15	9	0.27
沼泽土 Boggy soil	91	草甸沼泽土	4	15.92	6	0.09	0	0
	92	粗质沼泽土	2	7.74	1	0.01	0	0
水域 Water body	41	水域	580	2991.31	1746	148.75	228	61.41

江汉平原地带性土壤有红壤和黄棕壤两类,有棕红壤、红壤性土、黄棕壤和黄棕壤性土四个亚类,其中黄棕壤亚类面积最大,分布最广。黄棕壤面积的景观构成:平原湖区 27.3%、平缓岗地 29.6%和起伏丘陵 43.2%。各景观类型内部黄棕壤的构成比例差别悬殊,分别占平原湖区景观、平缓岗地景观、起伏丘陵景观区的 2%、24.9%和 39.5%。可见黄棕壤主要分布于起伏丘陵景观区,平缓岗地景观区次之,平原湖区景观区比例很少。

2.1.3 各土壤亚类不同景观类型下的连片性差异明显

土壤类型在各景观类型下的平均斑块面积可以表示该土壤类型的连片性或破碎程度。各景观类型土壤亚类平均斑块面积总体差异很大,平原湖区景观区土壤亚类斑块平均面积最大,为 2.28 km²;起伏丘陵景观区次之,为 1.14km²;平缓岗地景观区最小,为 0.29 km²。平原湖区景观区地势平坦,土壤发育的景观因子如水热条件、母质条件、地下水位等差异较小,土壤集中连片分布,平均斑块面积最大;平缓岗地景观区由于空间局限且分布分散,平均斑块面积最小;丘陵地貌区平均斑块面积介于两者之间。

各代表土壤亚类在不同景观下的连片性特征差异鲜明(表 2)。潴育型水稻土虽然在岗地景观内部面积构成中比例最高,连片性却最差,平均斑块面积仅有 0.52 km²;而在平原湖区景观区平均斑块面积达到 2.85

km², 显示出很好的连片性; 在起伏丘陵景观区, 潜育型水稻土平均斑块面积为 0.74 km², 连片性也较差。而灰潮土在平缓岗地景观区和起伏丘陵景观区平均斑块面积均非常小, 仅有 0.06 km²; 而在平原湖区景观区平均斑块面积达到 3.94 km², 呈现出很好的连片性。相反地, 黄棕壤在起伏丘陵景观区平均斑块面积为 1.88 km², 表现出最好的连片性; 而在平缓岗地景观区和平原湖区景观区平均斑块面积分别为 0.58 km² 和 0.67 km², 连片性均较差。

可见, 耕作土在平原湖区景观区连片性最好, 地带性土壤在起伏丘陵区连片性最好。

表 2 不同景观类型区各土壤亚类的平均斑块面积 (km²)

Table 2 Average patch area of each subgroup soil in different landscapes									
编码 Code	亚类 Subgroup soil	平原湖区 Plain lake area	平缓岗地 Gentle mounds	起伏丘陵 Rolling hills	编码 Code	亚类 Subgroup soil	平原湖区 Plain lake area	平缓岗地 Gentle mounds	起伏丘陵 Rolling hills
11	淹育型水稻土	1.58	0.16	0.64	42	中性紫泥土	0.07	1.63	0.50
12	潜育型水稻土	2.85	0.52	0.74	43	灰紫色土	0.01	0.70	2.82
13	潜育型水稻土	1.38	0.09	0.21	51	棕红壤	0.53	1.48	0.71
14	沼泽型水稻土	2.06	0.09	0.03	53	红壤性土	0.71	0.22	0.32
15	侧渗型水稻土	0.62	0.19	0.54	71	黄棕壤	0.58	0.67	1.88
21	潮土	1.34	0.09	0.15	72	黄棕壤性土	0.20	0.55	2.75
22	灰潮土	3.95	0.06	0.06	81	浅色草甸土	5.56	0.04	0.03
31	棕色石灰土	0.00	0.00	0.97	91	草甸沼泽土	3.98	0.02	0.00
32	黑色石灰土	0.30	0.78	18.23	92	粗质沼泽土	3.87	0.01	0.00

2.2 不同景观区各土壤亚类空间结构复杂性和稳定性分析

2.2.1 各景观类型下各土壤亚类空间分形结构验证分析

分形分析为描述土壤空间分布的复杂性提供了新的定量方法。提取各景观类型区各土壤亚类周长与面积数据, 根据公式(2), 利用 Eviews7.0 软件得出各土壤亚类周长—面积的双对数散点分布图(图 2, 限于篇幅, 仅以平原湖区景观类型下两个土壤亚类进行示例), 并进行线性回归分析, 求出回归方程(表 3)和相关系数的平方(R²)。其中, 平原湖区景观区粗质沼泽土和紫泥土、起伏丘陵景观区侧渗型水稻土及平缓岗地景观区粗质沼泽土斑块数量很少, 不能建立土壤亚类斑块的周长—面积关系函数, 在表 3 中以“/”来表示, 同时各景观区缺失的亚类也用“/”来表示。

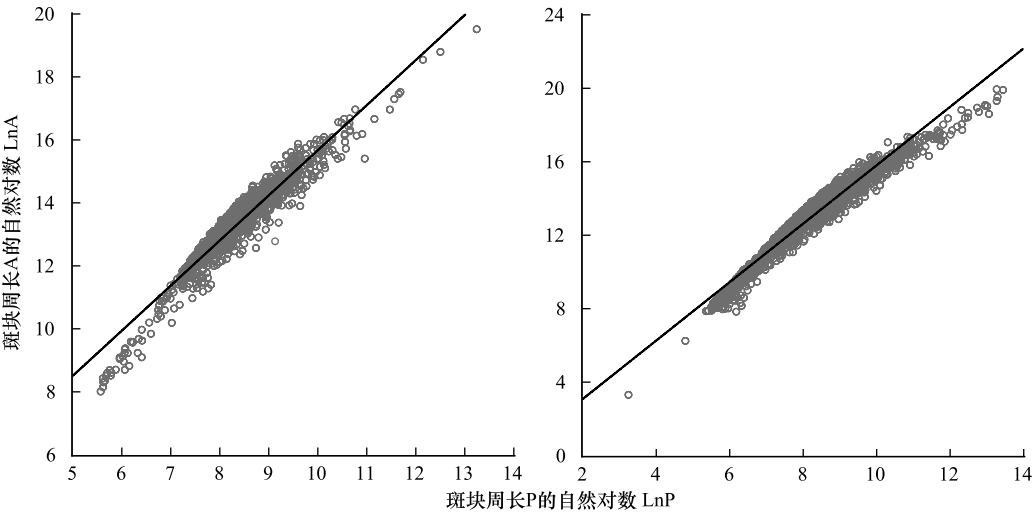


图 2 平原湖区淹育型水稻土、潜育型水稻土斑块周长-面积双对数散点图及关系式

Fig.2 Diagram of the relations of lnP&lnA of Submerged paddy soil and Waterlogged paddy soil patches in Plain Lake Landscape Area

各景观类型区各土壤亚类斑块的周长—面积关系均可以通过 R^2 显著性检验(表 3),除了无法建立回归关系的土壤亚类外,其他各土壤亚类斑块的周长—面积双对数关系显著,显示江汉平原各景观类型区各土壤亚类空间分形结构特征客观存在。

表 3 江汉平原各景观类型区土壤类型斑块的周长(P)—面积(A)关系(P和A的单位:m, m²)

Table 3 Relation between perimeter and area of each Subgroup soil patches in different landscapes areas of Jiangnan Plain				
土壤亚类 Subgroup soil		各景观类型区土壤类型斑块的周长-面积关系式 Relation formula between perimeter and area of patches of each subgroup soil in different landscapes areas		
编码 Code	名称 Name	平原湖区 Plain lake	平缓岗地 Gently gradated mounds	起伏丘陵 Rolling hills
11	淹育型水稻土	$\ln A = 1.432 \ln P + 1.350$	$\ln A = 1.615 \ln P - 0.664$	$\ln A = 1.672 \ln P - 1.007$
12	潜育型水稻土	$\ln A = 1.590 \ln P - 0.096$	$\ln A = 1.506 \ln P + 0.060$	$\ln A = 1.484 \ln P + 0.187$
13	潜育型水稻土	$\ln A = 1.504 \ln P + 0.893$	$\ln A = 1.664 \ln P - 1.020$	$\ln A = 1.751 \ln P + 1.351$
14	沼泽型水稻土	$\ln A = 1.557 \ln P + 0.493$	$\ln A = 1.638 \ln P - 0.826$	$\ln A = 1.768 \ln P - 1.675$
15	侧渗型水稻土	$\ln A = 1.656 \ln P - 0.493$	$\ln A = 1.498 \ln P + 0.072$	/
21	潮土	$\ln A = 1.482 \ln P + 0.969$	$\ln A = 1.584 \ln P - 0.473$	$\ln A = 1.317 \ln P + 1.319$
22	灰潮土	$\ln A = 1.389 \ln P + 1.776$	$\ln A = 1.616 \ln P - 0.666$	$\ln A = 1.644 \ln P - 0.819$
31	棕色石灰土	$\ln A = 1.704 \ln P - 1.465$	/	$\ln A = 1.237 \ln P + 3.150$
32	黑色石灰土	/	$\ln A = 1.435 \ln P + 0.491$	$\ln A = 1.625 \ln P - 0.626$
42	中性紫泥土	$\ln A = 1.790 \ln P - 2.381$	$\ln A = 1.500 \ln P + 0.232$	$\ln A = 1.614 \ln P - 0.609$
43	灰紫色土	/	$\ln A = 1.462 \ln P + 0.341$	$\ln A = 1.447 \ln P + 0.678$
51	棕红壤	$\ln A = 1.487 \ln P + 0.311$	$\ln A = 1.422 \ln P + 0.630$	$\ln A = 1.490 \ln P + 0.225$
53	红壤性土	$\ln A = 1.513 \ln P + 0.196$	$\ln A = 1.488 \ln P + 0.598$	$\ln A = 1.724 \ln P - 1.288$
71	黄棕壤	$\ln A = 1.543 \ln P + 0.114$	$\ln A = 1.521 \ln P - 0.036$	$\ln A = 1.547 \ln P - 0.169$
72	黄棕壤性土	$\ln A = 1.646 \ln P - 0.751$	$\ln A = 1.463 \ln P + 0.965$	$\ln A = 1.572 \ln P - 0.361$
81	浅色草甸土	$\ln A = 1.512 \ln P + 0.670$	$\ln A = 1.575 \ln P - 0.491$	$\ln A = 1.887 \ln P - 2.332$
91	草甸沼泽土	$\ln A = 1.345 \ln P + 1.661$	$\ln A = 1.569 \ln P - 0.477$	/
92	粗质沼泽土	/	/	/

2.2.2 各景观类型片区各土壤亚类斑块空间镶嵌结构的复杂性和稳定性特征

由(2)式和表 3 可以得出不同景观类型区各土壤亚类的分维数 D,表示该土壤亚类斑块镶嵌结构的复杂程度;并计算出|D-1.5|值,表示其斑块镶嵌结构的稳定程度(表 4)。

表 4 各景观类型区各土壤亚类分维数(D)及稳定性指数(|D-1.5|)

Table 4 Fractal dimension and stability indexes of soil-subgroups in different landscape areas							
代码 Code	土壤亚类 Subgroup soil	平原湖区 Plain lake		岗地 Gently Gradated Mounds		丘陵 Rolling Hills	
		D	D-1.5	D	D-1.5	D	D-1.5
11	淹育型水稻土	1.40	0.10	1.24	0.26	1.20	0.30
12	潜育型水稻土	1.26	0.24	1.33	0.17	1.35	0.15
13	潜育型水稻土	1.33	0.17	1.20	0.30	1.14	0.36
14	沼泽型水稻土	1.28	0.22	1.22	0.28	1.13	0.37
15	侧渗型水稻土	1.21	0.29	1.34	0.17	/	/
21	潮土	1.35	0.15	1.26	0.24	1.52	0.02
22	灰潮土	1.44	0.06	1.24	0.26	1.22	0.28
31	棕色石灰土	/	/	/	/	1.62	0.12
32	黑色石灰土	1.17	0.33	1.39	0.11	1.23	0.27
42	中性紫泥土	1.12	0.38	1.33	0.17	1.24	0.26
43	灰紫色土	/	/	1.37	0.13	1.38	0.12

续表

代码 Code	土壤亚类 Subgroup soil	平原湖区 Plain lake		岗地 Gently Gradated Mounds		丘陵 Rolling Hills	
		D	D-1.5	D	D-1.5	D	D-1.5
51	棕红壤	1.35	0.16	1.41	0.09	1.34	0.16
53	红壤性土	1.32	0.18	1.38	0.12	1.16	0.34
71	黄棕壤	1.30	0.20	1.32	0.18	1.29	0.21
72	黄棕壤性土	1.22	0.29	1.37	0.13	1.27	0.23
81	浅色草甸土	1.32	0.18	1.27	0.23	1.06	0.44
91	草甸沼泽土	1.49	0.01	1.28	0.23	/	/
92	粗质沼泽土						

平原湖区面积很大,各类土壤都有发育的空间,土壤亚类之间分维数和稳定度差别都比较大(均为 0.38)。区内草甸沼泽土分维数最大(1.49),斑块镶嵌结构最复杂,其稳定性指数最小(0.01)即稳定性最差;中性紫泥土最小(1.12),斑块镶嵌结构最简单,其稳定性指数最大(0.38)即稳定性最好。前者降水变化和人类活动影响很大,所以结构复杂、稳定性差;后者主要受地质过程本底决定,所以结构简单、稳定性高。

平缓岗地景观区由于面积非常局限,受空间的限制,土壤亚类边界比较破碎,分维数平均都比较大,斑块镶嵌结构复杂,分维数和稳定度差别都较小(均为 0.21)。区内棕红壤分维数最大(1.41),斑块镶嵌结构最复杂,稳定性指数最小(0.09)即稳定性最差;棕红壤亚类被各类泛域土壤包围,其斑块镶嵌结构决定于周围土壤的结构,比较复杂。潜育型水稻土分维数最小(1.20),斑块镶嵌结构最简单,其稳定性指数最大(0.3)即稳定性最好;潜育型水稻土是景观类型内地势低、排水不良的所在,自然条件限制较大,所以斑块镶嵌结构简单、稳定性高。

起伏丘陵景观区除棕色石灰土外,潮土分维数最大(1.52),斑块镶嵌结构最复杂,其稳定性指数最小(0.02)即稳定性最差;浅色草甸土分维数最小(1.06),斑块镶嵌结构最简单,其稳定性指数最大(0.44)。潮土受人类活动影响大,后者受地形影响大。

主要土壤亚类的分维数和稳定性指数值很好地反映了景观对土壤空间分异的影响,一定程度地反映了各主要土壤亚类的最适宜景观类型。潜育型水稻土是江汉平原的当家田,在平原湖区分维数最小,斑块镶嵌结构最简单,也最稳定;平缓岗地区次之;起伏丘陵区结构最复杂,稳定性也最差。灰潮土是江汉平原主要的旱作土壤,在起伏丘陵区分维数最小,斑块镶嵌结构最简单,也最稳定;平缓岗地区次之;平原湖区结构最复杂,稳定性也最差。黄棕壤是江汉平原主要的地带性土壤,虽然各个景观区内分维数差别不是很大,仍然显示出在起伏丘陵区分维数最小,斑块镶嵌结构最简单,也最稳定。

3 结论

基于景观生态学理论和分形理论,对江汉平原不同景观类型下的土壤空间分异特征进行了定量分析,结论如下:

(1)不同景观类型区各土壤亚类分布差异明显,起伏丘陵景观区主要以红壤和黄棕壤地带性土壤为主;平原湖区景观区水稻土和潮土等耕作土非常发育;平缓岗地景观区地带性土壤和耕作土壤平分秋色。

(2)连片性较好的土壤亚类呈现不同的景观类型选择性:连片性较好的耕作土壤亚类集中分布于平原湖区景观片区;连片性较好的地带性土壤亚类多集中分布于丘陵和岗地景观片区。

(3)平原湖区面积很大,各类土壤都有发育的空间,土壤亚类之间分维数和稳定度差别比较大;平缓岗地景观区由于面积非常局限,土壤亚类发生发育受到空间的限制,边界破碎化,分维数平均都比较大,斑块镶嵌结构均比较复杂,稳定度差别较小。

(4)主要土壤亚类的分维数和稳定性指数值一定程度地反映了各主要土壤亚类的最匹配的景观类型,即能够提供其发生发育的最佳条件的景观。潜育型水稻土最匹配的景观类型是平原湖区;灰潮土是起伏丘陵

区;黄棕壤是起伏丘陵区。

研究有利于深入认识土壤发生和演化规律,为土壤资源的合理利用及定向培育服务。

参考文献(References):

- [1] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍.生态空间理论与景观异质性.生态学报,1997,17(5):453-461.
- [2] 赵玉涛,余新晓,关文彬.景观异质性研究评述.应用生态学报,2002,13(4):495-500.
- [3] 张维理,徐爱国,张认连,冀宏杰.土壤分类研究回顾与中国土壤分类系统的修编.中国农业科学,2014,47(16):3214-3230.
- [4] Li J R, Okin G S, Alvarez L, Epstein H. Effects of wind erosion on the spatial heterogeneity of soil nutrients in two desert grassland communities. Biogeochemistry, 2008, 88(1): 73-88.
- [5] Zuo X A, Zhao X Y, Zhao H L, Guo Y R, Zhang T H, Cui J Y. Spatial pattern and heterogeneity of soil organic carbon and nitrogen in sand dunes related to vegetation change and geomorphic position in Horqin Sandy Land, Northern China. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 164(1/4): 29-42.
- [6] Mandelbrot B B, Passoja D E, Paullay A J. Fractal character of fracture surfaces of metals. Nature, 1984, 308(5961): 721-722.
- [7] 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.
- [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] 李扬,王冬梅,信忠保.漓江水陆交错带植被与土壤空间分异规律.农业工程学报,2013,29(6):121-128.
- [10] 杨茹玮,史学正,于东升,黄耀,徐茂,潘贤章,金洋,刘林旺.基于1:5万数据库研究土壤空间分异及其影响因素——以江苏省无锡和常州市为例.土壤学报,2006,43(3):369-375.
- [11] 杨锋,吴克宁,吕巧灵.基于1:20万数据库的河南省土壤空间分异及其影响因素研究.中国农学通报,2008,24(1):425-430.
- [12] 朱晓华,杨秀春,蔡运龙.中国土壤空间分布的分形与分维.土壤学报,2005,42(6):881-888.
- [13] Wang H Z, Shao Q H, Li R D, Song M J, Zhou Y. Governmental policies drive the LUCC trajectories in the Jiangnan Plain. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(12): 10521-10536.
- [14] 王宏志,宋明洁,李仁东,喻光明.江汉平原建设用地扩张的时空特征与驱动力分析.长江流域资源与环境,2011,20(4):416-421.
- [15] 《湖北农业地理》编写组.湖北农业地理.武汉:湖北人民出版社,1980.
- [16] 湖北省农牧业厅.湖北省分县土壤图集.武汉:湖北省农牧业厅,1986.
- [17] 金伯欣,邓兆仁,李新民.江汉平原湖群综合研究.武汉:湖北科学技术出版社,1992.
- [18] 王宏志,李仁东,毋河海.基于空间分析的土地利用垂直分异研究.长江流域资源与环境,2002,11(6):531-535.
- [19] 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——以黑河流域为例.干旱区研究,2001,18(1):35-39.
- [20] 徐建华,方创琳,岳文泽.基于RS与GIS的区域景观镶嵌结构研究.生态学报,2003,23(2):365-375.
- [21] Feder J. Fractals. New York: Plenum Press, 1988.
- [22] 曾维军,侯明明,徐恒,常河.三湖流域土地利用类型稳定性指数空间变异分析.昆明理工大学学报:自然科学版,2012,37(4):6-13, 18-18.