

# 西安市土壤与土地利用多样性及其关联分析<sup>①</sup>

张亮亮, 齐雁冰\*, 刘姣姣, 陈洋, 秦倩如, 于晓杰

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 运用仙农熵指数的方法, 对 1995 年、2005 年和 2010 年西安市土壤和土地利用的组成和空间分布多样性及其关联性进行了研究。结果表明: 随着海拔高度的升高, 成土因素趋向复杂, 土壤组成多样性逐渐降低; 西安市土壤构成组分相对均匀, 多样性指数为 0.78, 1995—2005 年和 2005—2010 年两个时间段土地利用混乱程度提高不明显, 构成多样性指数分别增加 0.011 和 0.008; 研究区 51 个土属中 6 个土属多样性指数在 0.65 以上, 面积最大、多样性指数(0.793)最高的为麻骨石棕壤性土, 最低的为黄绵土, 仅为 0.023; 6 种土地利用类型中除未利用地外多样性指数均高于 0.7, 其中农用地最高, 达到 0.927, 由 1995—2010 年, 农用地面积减少了 185.119 km<sup>2</sup>, 建设用地增加 193.677 km<sup>2</sup>, 并且近 5 年的变化率明显更快, 但多样性指数均小幅度降低; 与油土和黄壤土公共面积最大的两种土地利用类型是农用地和城镇建筑用地, 同时二者之间的关联度系数也都在 0.8 以上。因此, 以仙农熵来评估西安市土壤和土地利用的多样性是可行的, 且 1995—2010 年间西安市城市的扩展对于主要的农业土壤占用量不大, 未出现重要土壤类型受到威胁的情况, 但对油土的占用应引起重视。

**关键词:** 仙农熵; 土壤多样性; 土地利用多样性; 西安市; 关联系数

**中图分类号:** S155      **文献标识码:** A

多样性是表征生态系统复杂程度的基本指征<sup>[1]</sup>, 20 世纪 90 年代西班牙学者 Ibanez 将多样性概念引入到土壤学的研究之中, 从而在传统土壤学研究中提出了一个全新的土壤多样性的概念, 并就此提出一个新词“Pedodiversity”用于表示土壤多样性<sup>[2-4]</sup>, 而后不断引起不同国家土壤地理学者的研究兴趣, 先后有西班牙、中国、美国、意大利等国家将注意力聚焦到该研究领域。Ibanez 等<sup>[5]</sup>通过研究实践证实了多样性计量方法用于土壤空间变异和分布格局分析的可能性。Toomanian 等<sup>[6]</sup>对伊朗的土壤多样性和成土因素进行研究, 发现通过仙农熵定量评价土壤和土壤景观演化具有良好效果。21 世纪初, 以张学雷为代表的我国土壤学家首次引入多样性概念与方法<sup>[7-9]</sup>, 并在河南、山东、江苏和海南岛等地区展开一系列相关研究<sup>[10-14]</sup>。

土地利用程度反映了人类活动对自然生态环境的影响, 而土壤是土地利用中最主要的利用对象, 土地利用方式的改变影响着土壤多样性的格局, 土壤的空间及结构均匀状况直接决定着土地利用的方向和

程度, 因此二者关系密切<sup>[15-18]</sup>。随着人类利用土地强度的逐渐提高, 土壤资源退化成为全球关注的焦点, 学者们开始着手研究土地利用对土壤多样性的影响, 但大多研究仅停留在现象观察与理论指导上, 缺乏对土壤多样性变化特征及其影响因子的深入研究。美国学者首次进行了土地利用对土壤多样性影响的初步量化研究, 其研究结果为后来者提供了思路<sup>[19-20]</sup>。近年来, 国内外专家学者开始深入地将土壤分布与土地利用、水资源分布等其他自然资源相结合以进行关联分析研究<sup>[21-24]</sup>, 进一步拓展了土壤多样性研究的应用范围。

土壤在生态系统中扮演着相当重要的角色<sup>[25]</sup>, 土壤类型与土地利用方式两者的空间分布关系密切。本研究以陕西省西安市为例, 借助张学雷等<sup>[8]</sup>提出的仙农熵变形公式以及关联系数, 以土属作为基本单元, 计算和分析不同地形分级的土壤多样性指数, 异网格尺度下土壤与土地利用构成组分及分布多样性指数以及典型土壤与不同时期土地利用空间分布的关联系数, 对关联程度进行定性量化描述, 以为研

基金项目: 国家科技基础性工作专项项目(2014FY110200A08)资助。

\* 通讯作者(ybqi@nwsuaf.edu.cn)

作者简介: 张亮亮(1992—), 男, 山东乐陵人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源与空间信息技术。E-mail: bater802313@163.com

究区土地利用和土壤多样性保护提供理论基础。

### 1 研究区概况与研究方法

#### 1.1 研究区概况

西安是陕西省省会,位于黄河流域中部的关中平原,地理坐标 107°40' ~ 109°49' E 和 33°39' ~ 34°45' N。北部为冲积平原,南部为剥蚀山地,地形特征复杂,是我国中西部地区经济、政治、文化发展的核心城市之一。将其下辖的 10 区 3 县(包括碑林区、灞桥区、长安区、未央区、新城区、莲湖区、雁塔区、阎良区、临潼区、高陵区,户县、周至县、蓝田县)作为研究区域(图 1)。研究区土地总面积 10 108 km<sup>2</sup>。由于研究区土壤的成土母质类型复杂,植被种类众多,河流纵横交错,地下水位相差悬殊,人类活动影响程度不一,因而土壤构成纷繁复杂。土壤大致可分为褐土、壤土、潮土、水稻土、黄绵土、红黏土、新积土、紫色土、棕壤、暗棕壤、沼泽土和亚高山草甸土等 12 个土类,24 个土壤亚类,51 个土属。

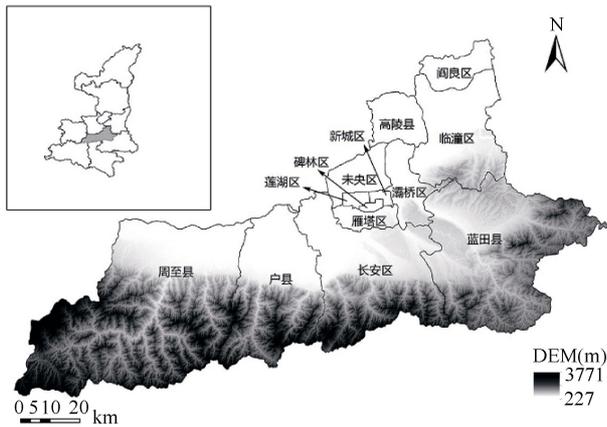


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

#### 1.2 数据来源及处理

研究数据主要包括 1995 年、2005 年和 2010 年西安市土地利用数据集、我国第二次土壤普查的西安市土壤矢量数据,由美国 NASA 提供的 ASTER GDEM V2 西安市 30 m 分辨率 DEM 数据以及西安市

县级行政区划图和西安市统计年鉴等资料。

数据处理内容主要包括 DEM 分级处理,通过 ArcGIS 软件重分类工具将 DEM 数据按不同海拔高度划分为 4 个等级;并在 ArcGIS 中将裁剪的土地利用数据以及重分类的 DEM 数据分别与土壤类型矢量数据进行叠加分析操作,对得到的结果进行相关分析研究。

#### 1.3 研究方法

在不同地形分级的基础上,通过计算土壤多样性指数、丰富度指数和均匀度指数 3 个测度指标,对土壤多样性进行分析<sup>[26]</sup>,并利用段金龙等<sup>[27]</sup>提出的仙农熵变形公式以及关联系数,结合空间网格概念说明城镇化过程中两者间的交互关系。

1.3.1 多样性测度方法 土壤多样性的经典公式,即仙农熵公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \tag{1}$$

为更好地评价对象的空间离散性,借助如下仙农熵变形公式:

$$Y_h = \frac{-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln s} \tag{2}$$

1.3.2 关联分析测度方法 为探究土壤空间分布和土地利用空间分布之间的相互关系,借助关联系数,公式如下<sup>[28]</sup>:

$$r(A, B) = \frac{2Y_h(A, B)}{Y_h(A) + Y_h(B)} \tag{3}$$

以上 3 个公式中字符定义均与段金龙等<sup>[27]</sup>相同。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔高度土壤多样性特征

地形地貌在土壤的形成发育过程中扮演着相当重要的角色,而高程所表征的地形变化最为明显,因此选用高程这一地形因子,借助公式(1)对不同海拔高度上发育的土壤多样性分别进行研究,将西安市 DEM 划分为 D1(200 ~ 400 m)、D2(400 ~ 600 m)、D3(600 ~ 1 000 m)和 D4(>1 000 m)4 个等级。

表 1 不同地貌上发育土壤的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数

Table 1 Indices of soil richness, diversity and evenness in different elevations

地形	地形面积(km <sup>2</sup> )	丰富度指数	均匀度指数	多样性指数
D1	1 154.99	21	0.85	2.58
D2	2 999.43	27	0.79	2.6
D3	3 067.52	29	0.72	2.42
D4	2 886.06	32	0.66	2.29

由表 1 可知,西安市仅有 11.5% 的土壤分布在 400 m 以下,而且海拔在 1 000 m 以上的土壤占达

28.6%。在 4 种不同海拔区内土壤多样性指数、均匀度指数和丰富度指数呈现出明显的垂直分布规律,丰

富度指数随着海拔高度的升高而提高,而均匀度指数和多样性指数则表现出相反的变化趋势,这是由研究区所处位置决定的。西安市南毗邻北秦岭主脊与关中平原形成鲜明界线,而占西安市土壤面积比重最大的两个土类分别是褐土和棕壤,棕壤占全市土壤面积比例达到 32.17%,主要分布在秦岭山地海拔 1 000 m 以上地带,褐土则主要分布于海拔 1 000 m 以下的秦岭低山、骊山及山麓洪积扇顶部,占全市土壤面积的 16.18%,这一点与我国中、东部地区土壤与地形关系的研究结果有一定差异,原因就在于后者相对高差较小,海拔引起的土壤类型差异不显著。

### 2.2 土壤和土地利用多样性分析

**2.2.1 土壤和土地利用构成组分多样性** 西安土壤总计有 51 个土属,6 个土地利用类型。由图 2 可以看出,研究区土壤构成组分多样性指数为 0.78,表明西安市非某一种土壤类型占据主导地位,而是土壤分布相对均匀,混乱程度高,面积占比最高的麻骨石棕壤性土土属也仅占 15.8%。1995 年、2005 年和 2010 年土地利用构成组分多样性值分别为 0.727、0.738 和 0.746,而处于我国中东部的南京市及郑州市的土地利用构成组分多样性指数均在 0.5 以下<sup>[18,23]</sup>,西安市土地利用均匀度明显高于这两个城市,其原因可能是西安市土地利用没有南京市及郑州市紧张,且西安市农用地、林业用地及草地所占比例相对均匀。1995—2005 年西安市土地利用构成多样性指数仅增加 0.011,表明 10 年间西安市土地利用构成的混乱程度提高不明显;而 2005—2010

年的 5 年间这一指数增长了 0.008。结合近 15 年西安市发展实际,尽管由于耕地转化为城镇建设用地等其他用地类型,导致城镇建设用地混乱程度增大,但 1995—2005 年间农用地减少及建设用地增加的幅度非常小,而 2005 年后西安市城市化进程有所加速。

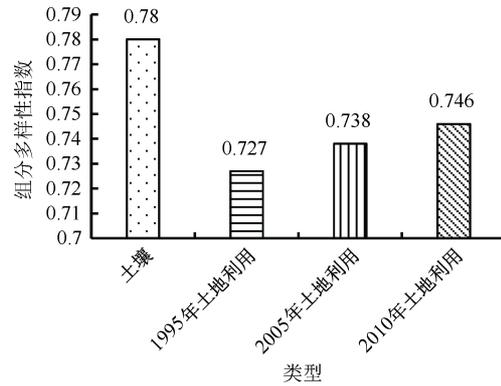


图 2 西安市土壤和土地利用组分多样性  
Fig. 2 Composition diversities of soils and land use types in Xi'an

**2.2.2 土壤和土地利用空间分布多样性** 在对空间分布多样性的研究中,网格尺度大小在一定程度上影响空间分布整体格局。为了更加准确地分析空间分布多样性,引入段金龙等<sup>[29]</sup>采用的空间网格理论,选择 5 km×5 km、3 km×3 km 和 1 km×1 km 3 种尺度空间网格分别计算土壤和土地利用的空间分布多样性,结果显示,所有的土壤类型和土地利用类型均呈现出随着网格密度的减小多样性指数提高的规律,因此本文仅取 3 个网格密度的平均值来开展多样性分析(表 2)。

表 2 西安市土壤空间分布多样性统计  
Table 2 Spatial distribution diversities of soils in Xi'an City

土壤类型(土属)	总面积 (km <sup>2</sup> )	3 种网格 平均值	土壤类型(土属)	总面积 (km <sup>2</sup> )	3 种网格 平均值	土壤类型(土属)	总面积 (km <sup>2</sup> )	3 种网格 平均值
暗棕壤	55.28	0.371	黄壤土	880.61	0.779	青石泥褐土性土	7.84	0.184
暗棕壤性土	113.60	0.448	黄土质褐土	82.97	0.490	青石泥石灰性褐土	5.67	0.226
白壤土	88.24	0.487	黄土质褐土性土	47.20	0.387	青石泥棕壤性土	2.18	0.089
斑斑土	420.11	0.654	黄土质淋溶褐土	62.70	0.464	砂砾石褐土性土	348.08	0.592
扁砂泥白浆化棕壤	4.55	0.131	黄土质石灰性褐土	73.06	0.413	砂砾石石灰性褐土	15.15	0.266
扁砂泥黄棕壤	9.95	0.127	黄土质棕壤	8.88	0.247	砂砾石棕壤性土	13.32	0.294
扁砂泥淋溶褐土	43.04	0.379	灰黄壤土	7.23	0.237	湿潮土	26.32	0.340
扁砂泥石灰性褐土	9.75	0.229	灰萎土	326.33	0.616	石灰性紫色土	0.67	0.034
扁砂泥棕壤	52.48	0.411	立茬土	369.42	0.647	石质土	25.48	0.339
扁砂泥棕壤性土	508.09	0.638	萎壤土	286.39	0.630	脱潮土	180.17	0.573
潮土	606.27	0.698	麻骨石白浆化棕壤	12.23	0.290	新积土	255.04	0.600
冲积土	444.94	0.725	麻骨石褐土性土	623.08	0.658	亚高山草甸土	47.31	0.392
腐泥沼泽土	2.15	0.114	麻骨石淋溶褐土	30.92	0.350	淹育性水稻土	42.87	0.397
钙质粗骨土	36.96	0.415	麻骨石棕壤	103.66	0.483	盐化潮土	11.78	0.321
红萎土	245.29	0.541	麻骨石棕壤性土	1 631.09	0.793	油土	603.33	0.686
红土	151.80	0.559	潜育性水稻土	6.59	0.222	中性粗骨土	973.76	0.755
黄绵土	0.12	0.023	青石泥白浆化棕壤	87.13	0.399	潜育性水稻土	116.91	0.541

从表 2 可看出,西安市的 51 个土属的土壤多样性差异显著,多样性最低的仅为 0.023(黄绵土),最高的为 0.793(麻骨石棕壤性土),这与各土壤类型的分布面积相关。黄绵土在研究区仅有小面积集中分布,因此均匀性最低,而麻骨石棕壤性土面积达到 1631.09 km<sup>2</sup>,分布相对更加分散,因此均匀性较高。研究区内空间分布多样性指数小于 0.20 的土属有 8 类,分别为黄绵土、石灰性紫色土、青石泥棕壤性土、腐泥沼泽土、扁砂泥黄棕壤、扁砂泥白浆化棕壤、青石泥褐土性土,这些土属是分布范围极小的稀有土壤。单个土属面积大于 500 km<sup>2</sup> 的有 6 类,分别为麻骨石棕壤性土(1 631.09 km<sup>2</sup>)、中性粗骨土(973.76 km<sup>2</sup>)、黄壤土(880.61 km<sup>2</sup>)、麻骨石褐土性土(623.08 km<sup>2</sup>)、潮土(606.27 km<sup>2</sup>)、油土(603.66 km<sup>2</sup>),其土壤空间分布多样性均在 0.65 以上,在空间分布相对均匀。

由表 3 可以看出,西安市除未利用地由于面积较小且集中分布引起空间分布多样性较小外,其他土地利用均具有较高的空间分布多样性,最低的水域空间分布多样性值也达到 0.702,最高的农用地达到 0.927,表明西安市土地利用在空间上分布相对均匀。1995—2010 年,农用地面积持续减少了 185.119 km<sup>2</sup>,建设用地持续增加 193.677 km<sup>2</sup>,且 2005—2010 年农用地减少和建设用地增加的幅度高于 1995—2005 年,表明随着时间推进变化率越来越快,而多样性指数均呈现小幅度降低的趋势。农用地面积减少多样性指数也降低,主要是因为减少的农用地主要是较为分散的零星小块耕地,城镇建设用地增加而多样性降低的原因是城镇带动式的连续发展,从而使均匀性降低。其他土地利用类型的面积及多样性指数变化幅度也均非常小。

表 3 西安市土地利用空间分布多样性统计  
Table 3 Spatial distribution diversities of land use types in Xi'an City

统计指标	年份	农用地	林地	草地	水域	城镇建筑用地	未利用地
总面积(km <sup>2</sup> )	1995	3 981.218	3 019.079	2 148.416	118.224	830.850	3.437
	2005	3 889.464	3 039.250	2 124.657	141.313	910.517	3.292
	2010	3 796.099	3 042.609	2 084.025	157.976	1 024.530	2.761
3 种网格平均值	1995	0.927	0.894	0.897	0.705	0.841	0.303
	2005	0.922	0.894	0.916	0.702	0.836	0.298
	2010	0.914	0.888	0.885	0.669	0.798	0.186

### 2.3 典型土壤与土地利用空间分布的关联性

在悠久的农耕历史背景下,人类的活动对土壤形成发展产生了深刻的影响,在兼受自然和人为因素双重影响下,经人工培育而成的农业土壤在研究区分布广泛,以壤土、潮土、水稻土等在褐土或黄土基础上,经自然淋溶黏化作用和几千年耕种熟化后形成的农业土壤为主。为探究土壤类型与土地利用之间的关联程度,选取研究区农业土壤壤土、黄绵土以及用作林

草地的棕壤和褐土 4 个土壤类型,分别选取其包含土属中分布最为广泛,即空间分布多样性指数值最大的土属类型油土(0.686)、黄壤土(0.779)、麻骨石棕壤性土(0.793)和麻骨石褐土性土(0.658)作为典型土壤类型,分别与两个时期 6 种土地利用类型进行叠加分析,统计两者间公共斑块面积(表 4),并通过公式(2)计算出西安市 4 种典型土壤与土地利用在 3 种网格尺度下的关联系数(表 5)。

表 4 西安市典型土壤的土地利用类型面积变化(km<sup>2</sup>)  
Table 4 Changes of areas of land use types under different typical soil types in Xi'an

典型土壤类型	年份	农用地	林地	草地	水域	城镇建筑用地	未利用地
油土	1995	456.598	17.148	29.417	7.075	79.354	0.429
	2005	456.391	18.611	18.802	11.885	84.512	0.457
	2010	441.972	16.677	29.887	14.743	85.527	0.993
黄壤土	1995	545.268	44.306	145.552	14.661	112.936	0.000
	2005	550.688	48.101	122.180	15.951	125.435	0.000
	2010	543.218	45.445	113.863	21.259	127.336	0.000
麻骨石棕壤性土	1995	108.830	1 032.676	453.265	0.000	1.082	0.157
	2005	102.145	1 033.948	457.848	0.000	1.022	0.130
	2010	102.197	1 059.267	431.856	0.000	0.000	0.000
麻骨石褐土性土	1995	113.999	246.824	246.989	1.332	0.731	0.000
	2005	106.316	249.158	251.839	1.938	0.621	0.000
	2010	106.689	244.900	255.653	2.630	0.000	0.000

由表 4 数据统计可以发现,与油土和黄壤土公共面积最大的两种土地利用类型是农用地和城镇建筑用地,同时随着研究时期的推进,农用地与两种土壤类型的公共面积总体呈减小趋势,而城镇建筑用地则有明显的增加。除这两种农业土壤外,山地土壤棕壤

与各个土地利用的交叉面积也有一定变化,但随着国家政策对林地的保护,林地面积有一定程度增加。这也表明,随着人类活动范围扩大以及对自然资源需求程度的变化,以土壤作为载体的城镇建筑用地面积将会继续增大,相应面积的土壤生产功能将被剥夺。

表 5 西安市典型土壤与土地利用关联系数统计  
Table 5 Correlation coefficients typical soil types and land use types in Xi'an

典型土壤类型	年份	农用地	林地	草地	水域	城镇建筑用地	未利用地
油土	1995	0.825	0.569	0.606	0.614	0.836	0.257
	2005	0.821	0.585	0.570	0.606	0.864	0.353
	2010	0.805	0.522	0.591	0.624	0.879	0.235
黄壤土	1995	0.874	0.719	0.768	0.693	0.840	0.000
	2005	0.876	0.705	0.731	0.679	0.841	0.000
	2010	0.868	0.651	0.748	0.647	0.852	0.000
麻骨石棕壤性土	1995	0.758	0.915	0.872	0.000	0.403	0.049
	2005	0.745	0.916	0.843	0.000	0.386	0.049
	2010	0.700	0.910	0.864	0.000	0.000	0.000
麻骨石褐土性土	1995	0.765	0.801	0.802	0.411	0.433	0.000
	2005	0.752	0.802	0.773	0.460	0.413	0.000
	2010	0.716	0.793	0.801	0.298	0.000	0.000

注:表中数据为 5 km × 5 km、3 km × 3 km 和 1 km × 1 km 3 种网格关联系数均值。

由表 5 数据可看出,土壤类型与土地利用空间分布多样性指数有一定程度的相似。本文将城镇建筑用地面积变化作为城镇化的主要权衡指标,本研究结果显示油土和黄壤土作为其主要土壤载体,其关联系数在两个时间区段均有一定增加。由此,表明关联系数这一指标同样反映出随时间推进研究区这 4 类典型土壤均不同程度向城镇建筑用地转化,导致这部分土壤地表长期封闭,也从侧面反映出城市化发展会给土壤空间分布带来极大威胁。另外结合表 4、表 5 数据分析发现,两者公共面积与其关联系数总体上呈现公共面积增大关联系数相应越大的趋势。但也有例外,如黄壤土与林地的公共面积从 1995—2005 年增加了 3.795 km<sup>2</sup>,2005—2010 年公共面积又减少了 2.656 km<sup>2</sup>,但是其关联系数却持续小幅度减小 0.068。表明典型土壤类型与土地利用的关联程度不单由两者公共面积决定,还与两者间的空间斑块分布、相交部分的空间分布以及网格尺度都有一定关系。

研究区典型土壤中有较大部分转化为城镇建筑用地,其关联程度也呈增强趋势。这部分土壤经转化成为发挥承载功能的土壤,其中较大部分将不可避免地遭受地表密闭,同时将彻底丧失其本有的土壤生产能力或生态功能。另外,与土地利用方式不同,在特定的研究区域土壤资源的面积和分布区域是固定的,不会随人类活动而产生结构调整或空间上的转移。因

此,在城市规划建设过程中,要采取有针对性的改良保护措施,让土壤资源可持续利用也成为核心问题之一,最大程度降低人类社会行为对土壤资源的不利影响<sup>[30]</sup>。

### 3 结论

以仙农熵指数来计算西安市土壤及土地利用的结构及空间分布多样性及二者之间的关联度,一方面可以对区域土壤及土地利用的均匀性进行评价,另一方面可以了解区域土地利用对于土壤的影响,特别是城市的发展对于区域主要及珍贵土壤的占用与保护程度。受地貌复杂的影响,西安市土壤类型丰富,分布相对均匀,土壤和土地利用多样性较高,在 1995—2010 年的 15 年研究区间中,西安市整体上城市的扩展对于主要的农业土壤占用量不大,尚未出现重要土壤类型面临严重威胁的局面,但 2005 年以后城市化进程有所加速,对重要的农业土壤油土的大量占用,应引起重视。

#### 参考文献:

- [1] Rosenzweig M L. Species diversity in space and time[M]. Cambridge University Press, 1995
- [2] Ibáñez J J. The background of pedodiversity and pedogeomorphic diversity[J]. Pedometron, 1995, 4: 2-4

- [3] Ibañez J J, De-Alba S, Lobo A, et al. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion)[J]. *Geoderma*, 1998, 83(3): 171–192
- [4] 张学雷. 土壤多样性: 土壤地理学研究的契机[J]. *土壤*, 2014, 46(1): 1–6
- [5] Ibañez J J, Jimnez-Ballesta R, Garcna-Ivarez A. Soil Landscapes and drainage basins in Mediterranean areas[J]. *Catena*, 1990, 17: 573–583
- [6] Toomanian N, Jalalian A, Khademi H, et al. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, central Iran[J]. *Geomorphology*, 2006, 81(3): 376–393
- [7] 陈杰, 张学雷, 龚子同, 等. 土壤多样性的概念及其争议[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 189–193
- [8] 张学雷, 陈杰, 檀满枝, 等. 土壤多样性理论方法的新近发展与应用[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(3): 374–379
- [9] 张学雷, 陈杰, 龚子同. 土壤多样性理论在欧美的实践及在我国土壤景观研究中的应用前景[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 1063–1072
- [10] 张学雷, 陈杰, 张甘霖. 海南岛不同地形上土壤性质的多样性分析[J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 839–844
- [11] 张学雷, 陈杰, 张甘霖, 等. 海南岛成土母质的地形多样性分析[J]. *土壤学报*, 2004, 41(2): 170–175
- [12] 张学雷, 陈杰, 张甘霖. 海南岛不同地形上某些土壤化学性质的多样性分析[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1368–1372
- [13] 孙燕瓷, 张学雷, 程训强, 等. 城市化对南京地区土壤多样性影响的灰色关联分析[J]. *地理学报*, 2006, 61(3): 311–318
- [14] 檀满枝, 阎伍玖, 张学雷, 等. 基于多样性理论的山东省土壤空间可变性研究[J]. *安徽师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 27(2): 200–203
- [15] 郭慧, 毕如田. 以土地利用为基础的土壤多样性研究——以永济市为例[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2009, 29(1): 77–80
- [16] 王子芳, 屈双容, 李阳兵, 等. 重庆岩溶地区不同土壤类型的土地利用多样性分析[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 153–156.
- [17] 陈利顶, 张淑荣, 傅伯杰, 等. 流域尺度土地利用与土壤类型空间分布的相关性研究[J]. *生态学报*, 2003, 23(12): 2497–2505
- [18] 檀满枝, 陈杰, 张学雷, 等. 南京市近 20 年城镇用地扩展对土壤资源数量和质量的影响[J]. *土壤学报*, 2005(6): 18–25
- [19] Guo Y, Gong P, Amundson R. Pedodiversity in the United States of America[J]. *Geoderma*, 2003, 117(1): 99–115
- [20] Amundson R, Guo Y, Gong P. Soil diversity and landuse in the United Staes[J]. *Ecosystems*, 2003, 6(5): 470–482
- [21] 段金龙. 中国中、东部典型样区土壤和水体多样性关联分析[J]. *水科学进展*, 2012, 23(5): 635–641
- [22] 段金龙, 屈永慧, 张学雷. 地表水空间分布与土壤类别多样性关联分析[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(6): 110–116
- [23] 段金龙, 张学雷. 中国中、东部典型省会和县域土壤与土地利用多样性关联的对比研究[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(2): 195–202
- [24] 任圆圆, 张学雷. 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1237–1250
- [25] 任圆圆, 张学雷. 土壤多样性研究趋势与未来挑战[J]. *土壤学报*, 2015, 52(1): 9–18
- [26] Briggs D J, Martin D M. CORINE: An environmental information system for the European Community[J]. *Environment Review*, 1988, 2(1): 29–34
- [27] 段金龙, 张学雷. 基于仙农熵的土壤多样性和土地利用多样性关联评价[J]. *土壤学报*, 2011, 48(5): 893–903
- [28] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy[J]. *Eprint Arxiv*, 2009
- [29] 段金龙, 赵斐斐, 张学雷. 土壤空间分布多样性研究中网格尺寸的选取策略[J]. *土壤*, 2014, 46(5): 961–966
- [30] 钟国敏, 张学雷, 段金龙, 等. 郑州市土壤多样性和土地利用多样性研究及关联分析[J]. *土壤通报*, 2013, 44(3): 513–521

## Study on Diversities and Correlation of Soils and Land Use Types in Xi'an

ZHANG Liangliang, QI Yanbing\*, LIU Jiaojiao, CHEN Yang, QIN Qianru, YU Xiaojie  
(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The diversities of the composition and spatial distribution of soil types and land use types in Xi'an City and their correlation in 1995, 2005 and 2010 were analyzed by using the modified Shannon entropy formulate respectively. The results showed that with the increase of altitude, the soil forming factors tended to be complex and the diversity of soil composition decreased gradually. Soil distribution was relatively homogeneous with the composition diversity index of 0.78. Land use chaos were increased inconspicuously with a bit increment of the diversity index of soil composition by 0.011 and 0.008 during 1995—2005 and 2009—2010, respectively. Only 6 of 51 soil types had the spatial diversity higher than 0.65, rocky brown soil had the largest area and highest spatial diversity index (0.793), but loessal soil had the lowest spatial diversity index (0.023). The diversity indexes of all the land use types were higher than 0.7 except the unused land, in which farmland had the highest spatial diversity index (0.927). From 1995 to 2010, the area of farmland decreased by 185.119 km<sup>2</sup> but construction land increased by 193.677 km<sup>2</sup>, and they changed more rapidly from 2005 to 2010, meanwhile, their diversity indexes slightly decreased. The oil soil and loessal soil had largest areas in farmland and construction land, and all correlation coefficients between the two soils were higher than 0.8. The above results prove that Shannon entropy is an effective in estimating soil diversity, and the expansion of Xi'an City from 1995 to 2010 only occupied little cultivated soil, indicating the important soil types are secure at present, but more attentions should be paid to gradually enlarged occupation of oil soil.

**Key words:** Shannon entropy; Pedodiversity; Land use diversity; Xi'an City; Correlation coefficient