

DOI: 10.11766/trxb201606210300

# 河南省地形、土壤和地表水体多样性格局特征\*

任圆圆 张学雷<sup>†</sup>

(郑州大学水利与环境学院, 自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001)

**摘要** 在水土资源多样性的研究中, 地形要素对其空间分布形式和内在联系有重要影响。选取河南省作为研究区, 在 1 km × 1 km 网格尺度下以变形仙农熵公式计算河南省的地形空间分布多样性和土壤空间分布多样性(土类级别)及关联性, 并将河南省划分为 6 个面积相近的次级区域, 用空间分布面积指数( $Y_h$ )计算地形、土壤的构成组分多样性, 用空间分布长度指数(MSHDLI)计算地表水体多样性, 对以上特征及关联性进行研究。结果表明: 平原和潮土是河南省面积最大且空间分布离散性最高的地形类型和土类。地形与土壤之间关系密切, 有 76% 以上的相关系数  $r$  值大于 0.50, 相关性高; 6 个分区中, 东部分区为单一的平原地形但 MSHDLI 值次高, 平原地形水系发育好, 西部分区地形复杂且以山地为主但地表水体多样性指数 MSHDLI 值最小, 山地条件下水系发育较简单; 研究区面积相近的情况下, 土类构成组分多样性值主要取决于土类间面积大小的均衡程度, 与土类面积比例平均变化量之间呈负相关,  $R^2$  值为 0.94; 面状的地形和土壤构成组分多样性指数与线状的地表水体多样性指数间无明显相关性。综上所述, 地形、土壤和地表水体三要素间关系密切, 共同影响地多样性的空间格局。

**关键词** 河南省; 地形; 土壤多样性; 地表水体; 特征

**中图分类号** S151; K928.4 **文献标识码** A

土壤是岩石圈、大气圈、水圈及生物圈相互作用的产物, 反之亦对这些圈层产生影响。同时, 土壤圈是一个开放系统, 也是一个能量转换器, 即土壤圈是一个与其他圈层保持着复杂而密切的物质和能量转换, 并不断处于运动之中的开放系统。土壤圈的任何变化均会影响各圈层的演化与发展, 乃至对全球变化产生冲击作用<sup>[1-2]</sup>。其中, 地形地貌是五大成土因素综合作用中的重要一环, 主要通过土壤及母质接受光、热条件的差异, 以及接受降水和水分在地表的重新分配, 从而在成土过程中起重要作用<sup>[3]</sup>。另一方面, 土壤和地表水体二者发生关系密切, 且水分循环在土壤的形成中起着不可或缺的作用<sup>[4-5]</sup>。当前, 中国乃至世界水土资源空间匹配错位, 且地形又是影响水土资源匹配及区域农业可持续利用与发展不容忽视的要素<sup>[6-8]</sup>。因此, 对地形、土壤及地表水体资源的特征及相关关系的研

究可以为了解该领域的现状与开展研究提供重要的理论基础。

关于地形和土壤多样性间的关系, Pavlopoulos 等<sup>[9]</sup>和 Saldaña 等<sup>[10]</sup>分别指出可用地貌地图研究二者间的关系并用平均密度研究其空间异质性; Moravej 等<sup>[11]</sup>在较详细的土壤调查过程中对自动化和手工的地形描述方法进行对比; Toomanian 等<sup>[12]</sup>对伊朗原始山谷的土壤多样性和成土作用间的关系进行研究; 檀满枝等<sup>[13]</sup>和张学雷等<sup>[14]</sup>基于 SOTER 数据运用经典的仙农熵测度方法对山东省和海南岛不同地形上土壤多样性的相关指数进行计算并探索分布模式, 但研究方法为基于样区土壤类别数目而无网格尺度的土壤多样性经典算法, 对空间离散性的定量描述少。关于土壤和地表水体多样性间的关系, Ibáñez 等<sup>[15-16]</sup>、Arnett 和 Conacher<sup>[17]</sup>研究了河流的等级与河网的发展对土

\* 国家自然科学基金项目(41571208)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41571208)

<sup>†</sup> 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zxlzsu@zsu.edu.cn

作者简介: 任圆圆(1987—), 女, 河南襄城人, 博士研究生, 主要从事水土资源多样性的研究。E-mail: ayuan6710@163.com

收稿日期: 2016-06-21; 收到修改稿日期: 2016-11-03; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2016-12-23

壤多样性、异质性和地貌单元数量产生的影响，侧重河流演化对土壤多样性的影响；段金龙等<sup>[4, 18]</sup>探索了一定网格尺度下中国中东部典型样区土壤和地表水体多样性的关联性，用空间分布面积指数<sup>[19]</sup>来衡量地表水体多样性，且研究样区局限在较小的行政区域。关于地形和地表水体多样性要素间的关系，在国内外还鲜有探索。因此，本文用空间分布面积指数来衡量土壤和地形要素的多样性，用空间分布长度指数衡量地表水体多样性，在1 km × 1 km 网格尺度下研究河南省地形和土壤空间分布多样性之间的关联性，并在6个面积相近的次级分区下研究地形和土壤构成组分多样性分别与地表水体多样性间以及地形丰富度与土类构成组分多样性间的特征与联系，以为区域地形和水土资源的保护和可持续利用提供数据与理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

河南省（处于110°21′~116°39′E、31°23′~36°22′N之间）是我国中原腹地的大省，位于黄河中下游，因大部分地区在黄河以南，故称河南。《禹贡》将中国分为九州，河南省大部分属于豫州，故简称“豫”。东西长580 km，南北宽530 km，面积有16万余km<sup>2</sup>，约占全国总面积的1.74%。截至2015年底，河南共下辖17个地级市、1个省直辖县级市、51个市辖区、20个县级市、86个县，省会郑州。河南省属暖温带-亚热带、湿润-半湿润季风气候，地形总体可以概括为“三山两盆一平原”，西为黄土高原东侧的山地丘陵区，东为黄河、淮河淤积而成的黄淮海平原区。土壤类型众多，性态各异，同时横跨海河、黄河、淮河、长江四大水系，境内1 500多条河流纵横交织。

### 1.2 数据来源与处理

地形和地表水体数据主要来自从地理空间数据云下载的河南省DEM数据（采用WGS坐标系UTM投影）。土壤数据来自第二次土壤普查河南省数字化土壤数据库（河南省土肥站）。

DEM数据提取地形步骤如下：①运用ArcGIS10.0软件中三维空间分析（3D Analyst Tools）-表面分析（Raster Surface）下的工具提取等高线（Contour）和山体阴影（Hillshade）。②将DEM原始数据和山体阴影（Hillshade）进行

渲染，其中，DEM数据图层在上，且透明度值设为50%，效果见图1。③参考图1和等高线划分出河南省的盆地边界并将其从河南省DEM中列出。④将剩余的DEM数据参考陆地上五种基本地形的划分标准，按照高程≤200 m、高程>500 m和200<高程≤500 m分别提取出平原、山地和丘陵3种地形。河南省地形分类结果见图2a，且1 km × 1 km 网格尺度下各个地形类型的空间分布多样性情况见表1。

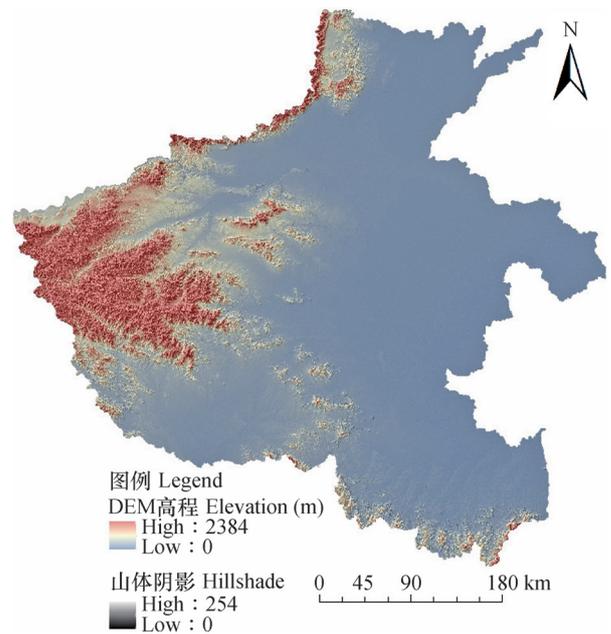


图1 河南省DEM与山体阴影叠加图

Fig. 1 DEM and mountain shadow stacking chart of Henan Province

DEM数据提取线状地表水体。运用ArcGIS10.0的水文分析模块（Hydrology）提取研究区DEM数据矢量河网的步骤如下：①利用水流方向计算出DEM数据的洼区域和深度，并设定阈值进行洼地填充，本文中无洼地高程介于20~2 384m之间。②根据无洼地DEM数据的水流方向计算研究区河流汇流累积量，并在此基础上用栅格计算器（Raster Calculator）依据研究需要设置不同的阈值提取栅格河网（所研究的地表水体设置的阈值为大于50 000 m）。③用栅格河网矢量化工具Raster River Network Vectorization Tool（Stream to Feature）得到河南省水系分布图，见图2b。

以河南省的地形分类与地表水体矢量数据为基础，①在1 km × 1 km 网格尺度下计算整个研究区的地形空间分布多样性、土壤空间分布多样性及

土壤和地形公共斑块的空间分布多样性,并代入式(3)计算相关系数;②根据生态环境条件、社会发展及土地利用的区域差异性将河南省划分为6个面积相近的次级区域,计算不同区域的地形构成组分多样性、土壤构成组分多样性与地表水体多样性并研究其特征;③研究地形丰富度和土壤构成组分多样性的相关性。

### 1.3 研究方法

为更好地评价研究对象的空间分布离散性,地形多样性和土壤多样性测度方法使用改进的仙农熵变形公式 $Y_h$ ,地表水体多样性使用空间分布长度指数(MSHDLI)。需要说明的是,段金龙等<sup>[4, 18]</sup>曾研究了河南省部分典型样区土壤类别多样性与地表水体空间分布多样性之间的关联性,所用水体数据为Landsat遥感卫星获取的面状地表水体。利用空间分布长度指数MSHDLI衡量线状地表水体空间分布离散性的测度方法是可行的<sup>[5, 19]</sup>,本研究中的线状地表水体是根据无洼地DEM数据的汇流累积量提取的,仍用指数MSHDLI计算。

**1.3.1 空间分布长度指数 (Modified Shannon diversity length index, MSHDLI):**

$$I_L = \frac{-\sum_{i=1}^s L_i \ln L_i}{\ln S} \quad (1)$$

式中, $I_L$ 为地表水体空间分布长度指数<sup>[19]</sup>,取值为 $[0, 1]$ ;  $i = 1, 2, \dots, S$ ;  $S$ 为某网格尺度下的网格数目, $L_i$ 为第 $i$ 个网格中水网长度占区域水网总长度的比例。当有且仅有一个网格中含有水网时, $I_L$ 为0;而当所有网格中均含有水网且分布较为均匀时, $I_L$ 趋近于1。

**1.3.2 空间分布面积指数 (Modified Shannon diversity area index, MSHDAI):**

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

式中, $S$ 和 $p_i$ 定义为:①表土壤或地形构成组分多样性时: $S$ 为土类或地形个数, $p_i$ 为第 $i$ 个土类或地形占该土类或地形总面积的比例。此处,多样性指数 $Y_h$ <sup>[20]</sup>表示在研究区内所有分类单元在数量构成上的均匀程度,此处 $Y_h$ 形同Pielou均匀度指数<sup>[21]</sup>;②表土壤或地形空间分布多样性时: $S$ 为空间网格的数目, $p_i$ 为第 $i$ 个空间网格中某个土类或地形面积占该土类或地形总面积的比例,多样性指

数 $Y_h$ 为在研究区内土壤或地形空间分布的多样性特征,用来描述土壤或地形分布的离散性程度和多样性格局。多样性指数 $Y_h$ 取值区间为 $[0, 1]$ ,当研究对象的相对丰度分布极度不均匀,即当一个或者少数几个对象占支配地位时, $Y_h$ 取值趋于0;当每个对象都均匀分布时, $Y_h$ 取值等于1。

**1.3.3 关联分析法** 为确定地形多样性和土壤多样性之间的相关关系,使用以下关联系数:

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

式中, $A$ 和 $B$ 分别表示地形类型和土壤类型(本文为土类级别), $r(A, B)$ <sup>[22]</sup>表示地形类型 $A$ 和每类土壤类型 $B$ 之间的关联系数, $Y_h(A)$ 和 $Y_h(B)$ 分别表示地形和土壤的空间分布多样性指数,应用式(2)进行计算, $Y_h(A, B)$ 表示地形类型 $A$ 和土壤类型 $B$ 公共斑块的空间分布多样性。具体计算公式如下:

$$Y_h(A) = \frac{-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i}{\ln S} \quad (4)$$

$$Y_h(B) = \frac{-\sum_{j=1}^s P_j \ln P_j}{\ln S} \quad (5)$$

$$Y_h(A, B) = \frac{-\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s P_{(i,j)} \ln P_{(i,j)}}{\ln S} \quad (6)$$

式中, $p_{(i,j)}$ 为联合分布概率,表示地形 $A$ 和土壤类型 $B$ 同时包含时的面积比。

$r(A, B)$ 的取值范围为 $[0, 1]$ ,该关联系数反映了地形和土壤之间在空间分布上的相关性,定量地描述了研究区域内地形和土壤这两个要素在空间分布上的相互叠置的程度。随着该系数值的增加,两个要素相互重叠的部分增多,关联性增加。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地形和土壤空间分布多样性间的关联性

**2.1.1 地形空间分布多样性** 由图2a和表1可知,研究区有4种地形,且地势西高东低。其中,北、西、南三面环山,分别为太行山脉、伏牛山脉、桐柏山脉、大别山脉,中、东部为黄淮海平

原，西南部和西北部为南阳盆地和洛阳盆地。盆地地形中，西北部为伊洛河冲积形成的洛阳盆地，呈椭圆形，面积约1 000 km<sup>2</sup>。南阳盆地位于河南省的西南部和湖北省的西北部，河南部分主要分布在南阳市和驻马店市境内。南阳盆地三面环山，呈扇形分布，边缘是海拔在140~200 m起伏的岗地，中部为80~120 m的冲积洪积和冲积湖积平原。河流主要有汉江及其支流唐河、白河、丹江等。平原是研究区内面积最大、地形空间分布离散性

(多样性指数0.959)最高的地形，然后依次是丘陵地形(0.863)、山地地形(0.852)和盆地地形(0.789)。

**2.1.2 土壤空间分布多样性** 在1 km×1 km网格尺度下运用式(2)计算河南省各个土类的空间分布多样性，并按照土壤多样性值由大到小排列(表1)。由表1可知，潮土的多样性值最高且面积最大，其次是褐土。碱土和盐土是河南省域面积最小且空间分布离散性最低的两个土类。

表1 河南省土壤(土类级别)多样性

Table 1 Pedodiversity of soil group level in Henan Province

土类 <sup>[23]</sup> Soil group	土壤多样性 Diversity ( $Y_h$ )	面积 Area (km <sup>2</sup> )
潮土 Hapli Aquic Cambosol (HAC)	0.908	51 843
褐土 Hapli Ustic Argosol (HUSA)	0.861	27 820
黄褐土 Yellow Ustic Argosol (YUSA)	0.850	21 842
粗骨土 Lithic Orthic Primosol (LOP)	0.823	15 503
砂姜黑土 Shajiang Aquic Vertosol (SAV)	0.818	16 080
水稻土 Hapli Stagnic Anthrosol (HSA)	0.785	8 842
石质土 Stony Orthic Primosol (SOP)	0.745	5 466
棕壤 Hapli Udic Argosol (HUA)	0.726	5 253
黄棕壤 Yellow Udic Argosol (YUA)	0.712	3 543
红黏土 Ferri Udic Argosol (FUA)	0.698	3 138
风砂土 Sandy Orthic Primosol (SDOP)	0.622	1 060
紫色土 Purple Lithic Cambosol (PLC)	0.590	800.8
新积土 Hapli Orthic Primosol (HOP)	0.491	232.1
碱土 Natric Aquic Cambosol (NAC)	0.432	98.59
盐土 Salty Aquic Cambosol (SAC)	0.310	24.59

**2.1.3 地形和土壤空间分布多样性间的关联性** 利用式(6)计算出地形和土类公共斑块的空间分布多样性，然后用式(3)对2个指数的关联系数进行计算，探索地形和土壤在空间分布上的交互关系(表2)。关联系数越大说明土类和地形之间的关系越复杂，在空间上的相互重叠程度越高，反之越低。

由表2可知：①整体来看，河南省内除了新积土和盆地地形、棕壤和盆地地形、盐土和丘陵地形等未出现公共斑块外，15个土类和4种地形间均有相关性，且有76%以上的相关系数大于0.50，即空间分布相关性较强，这说明土壤和地形之间有密切

的相关关系。②研究区的15个土类与平原地形均相关，丘陵地形有13个相关系数，山地有12个相关系数，盆地有10个相关系数，这说明河南省平原地形与土壤间的相关性最强且最稳定。③平原地形多样性和潮土多样性之间的关联系数(0.968)最高，平原地形和潮土的公共斑块多，相互之间发生关系密切且复杂多样；而盆地多样性和石质土空间分布多样性间的关联系数(0.204)最低，说明二者之间公共斑块较少，相关性弱；盆地地形和紫色土之间仅有一块公共图斑，关联系数为0。

## 2.2 地形构成组分多样性和地表水体多样性特征

根据生态环境条件、社会发展及土地利用的

表2 研究区不同地形与土类空间分布多样性的关联性

**Table 2** Correlation coefficient of terrain with soil group diversity in the studied area relative to type of the terrain

土类 <sup>[23]</sup> Soil group	地形Terrain			
	平原 Plain	丘陵 Hill	山地 Mountain	盆地 Basin
新积土 Hapli Orthic Primosol (HOP)	0.661	0.492	0.064	—
棕壤 Hapli Udic Argosol (HUA)	0.259	0.441	0.920	—
水稻土 Hapli Stagnic Anthrosol (HSA)	0.890	0.760	0.524	0.293
潮土 Hapli Aquic Cambosol (HAC)	0.968	0.654	0.381	0.742
盐土 Salty Aquic Cambosol (SAC)	0.488	—	—	—
石质土 Stony Orthic Primosol (SOP)	0.762	0.871	0.805	0.204
砂姜黑土 Shajiang Aquic Vertosol (SAV)	0.892	0.490	—	0.876
碱土 Natric Aquic Cambosol (NAC)	0.621	—	—	—
粗骨土 Lithic Orthic Primosol (LOP)	0.752	0.914	0.906	0.576
紫色土 Purple Lithic Cambosol (PLC)	0.550	0.763	0.685	0.000
红黏土 Ferri Udic Argosol (FUA)	0.593	0.828	0.817	0.466
褐土 Hapli Ustic Argosol (HUSA)	0.841	0.911	0.900	0.674
风砂土 Sandy Orthic Primosol (SDOP)	0.786	0.349	0.198	—
黄棕壤 Yellow Udic Argosol (YUA)	0.761	0.803	0.810	0.424
黄褐土 Yellow Ustic Argosol (YUSA)	0.892	0.823	0.663	0.903

区域差异性将河南省划分为6个面积相近的次级区域(图2)。其中,豫东包括开封市、周口市和高丘市;豫中包括郑州市、许昌市、平顶山市和漯河市;

豫西包括洛阳市和三门峡市;豫西南是南阳市;豫东南包括驻马店市和信阳市。

图2a为6个次级研究区与地形分类叠置图,反

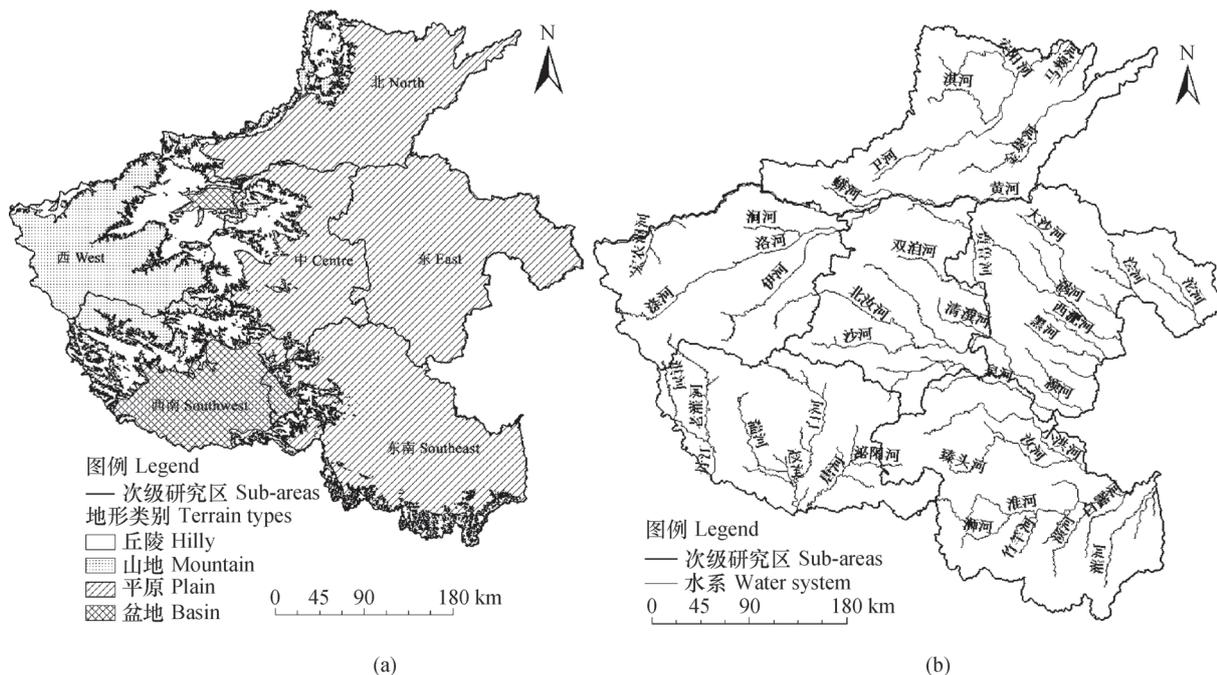


图2 6个次级分区下的地形和地表水体分布

Fig. 2 Distribution of terrains and surface water body in the six regions

映不同分区内地形类型在空间上的分布情况，图2b为6个次级研究区与地表水体叠置图，反映不同分区内地表水体在空间上的分布情况。其中，北部、东部、东南部和中部区域地形以平原为主，水系发达分叉较多，且东部和东南部的水系发育在省内属于最高密集型；西部区域主要以山地为主，水系发育单一分叉少；西南部以南阳盆地和丘陵地区为主，主要水系发育自盆地周边丘陵区经由盆地汇集流向丹江口水库。

在1 km × 1 km网格尺度下对6个次级区域的地形构成组分多样性（式（2））和地表水体空间分布多样性（式（1））进行计算，由结果（表3）可知：①就地形构成组分多样性：6个分区内西南部的地形构成组分多样性值（0.926）最高，说明该分区地形类别在数量构成上的均匀程度最高。

东部区域平原地形占绝对支配地位，构成组分多样性值为0；就各个分区地形类别而言，西南部以盆地为主，北部、中部、东南部和东部以平原为主，西部以山地为主；地形构成组分多样性与地形类别数目之间呈线性关系（ $y=3.106x+1.731$ ），决定系数 $R^2$ 为0.616。②就地表水体空间分布多样性：东南部MSHDLI值最大，同时线状水体的长度也最大，西部MSHDLI值最小，同时线状水体的长度值也最小。说明MSHDLI值的变化趋势与线状水体长度的变化趋势一致，对二者进行线性函数拟合发现存在正相关关系（ $y=14279x-87.7$ ），决定系数 $R^2$ 为0.788。此外，6个分区MSHDLI值由大到小依次为东南部（0.708）>东部（0.706）>西南部（0.702）>中部（0.700）、北部（0.700）>西部（0.668）。③就MSHDLI值与地形丰富度：东部、

表3 不同分区下地形和地表水体空间分布多样性

Table 3 Terrain and surface water body diversity of different sub-areas

分区 Subareas	地形Terrain			地表水体 Surface water body			
	地形构成组分多样性 Terrain constituent diversity ( $Y_h$ )	面积 Area ( $\text{km}^2$ )	丰富度 Richness	类别 Classes	面积百分比 Area percentage (%)	地表水体多 样性 MSHDLI	长度 Length (km)
西南 South-west	0.926	26 456	4	盆地 Basin	42.15	0.702	1 262
				丘陵 Hill	28.40		
				山地 Mountain	16.75		
				平原 Plain	12.70		
北 North	0.607	27 844	3	平原 Plain	78.10	0.700	1 272
				丘陵 Hill	14.36		
				山地 Mountain	7.54		
中 Centre	0.588	23 189	4	平原 Plain	67.74	0.700	1 125
				丘陵 Hill	25.22		
				山地 Mountain	6.59		
				盆地 Basin	0.45		
西 West	0.586	25 143	4	山地 Mountain	67.62	0.668	864
				丘陵 Hill	26.89		
				盆地 Basin	3.60		
				平原 Plain	1.89		
东南 Southeast	0.388	34 003	4	平原 Plain	85.21	0.708	1 569
				丘陵 Hill	10.45		
				盆地 Basin	2.66		
				山地 Mountain	1.68		
东 East	0.000	29 097	1	平原 Plain	100	0.706	1 361

东南部区域以平原地形为主，MSHDLI值高，水系发育好；西部地形复杂，但以山地为主，MSHDLI值最小，水系发育较简单。④对地形构成组分多样性与地表水体多样性进行线性函数拟合， $R^2$ 为0.062，即二者极弱相关，无显著的线性关系。

2.3 土壤构成组分多样性特征及其与地表水体多样性的关系

表4、图3可见，不同次级分区土壤构成组分多样性空间分布格局特征：①东南部、东部区域均是以平原为主，土壤丰富度指数相近，分别为10和9，但呈现出明显不同：东部区域以潮土为主，占总面积的87.89%，其他土类分布比例很

小（图3b），土壤构成组分多样性水平最低，只有0.195；东南部以黄褐土、水稻和砂姜黑土为主，面积百分比分别为28.14%、24.79%和20.44%（图3a），土壤构成组分多样性水平相对最高（0.706）。②中部和西部的土壤构成组分多样性居中但又有些微差别，二者土类丰富度相同，均为13，但由于西部山区以褐土为主，占总面积的50.44%（图3d），其他土壤类型比例较小，而中部以褐土和潮土两种土类为主，占总面积的41.15%和24.41%（图3c），较西部略显均匀，表现在中部和西部的土壤构成组分多样性分别为0.640、0.586。③对每个分区土类面积比例变化量

表4 不同分区土类构成组分多样性

Table 4 Soil constituent diversity in different regions

分区 Sub-areas	土类构成组分多样性 Soil constituent diversity ( $Y_h$ )	面积 Area ( $\text{km}^2$ )	土类丰富度 Soil group richness
东南 Southeast	0.769	33 106	10
西南 Southwest	0.667	25 864	11
中 Centre	0.640	22 426	13
西 West	0.586	24 747	13
北 North	0.477	26 874	12
东 East	0.195	28 530	9

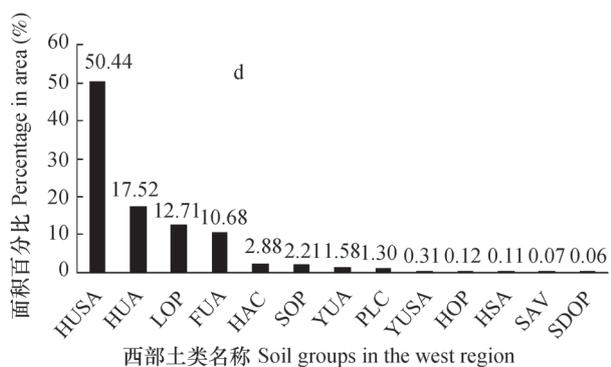
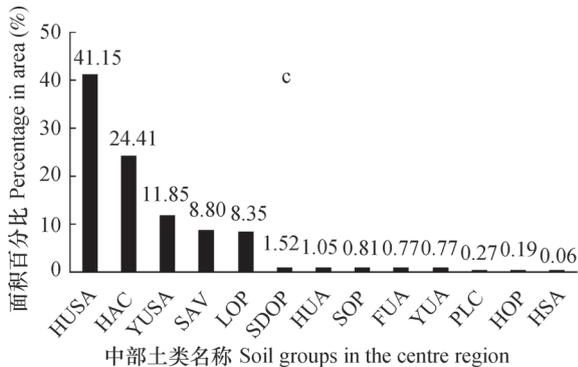
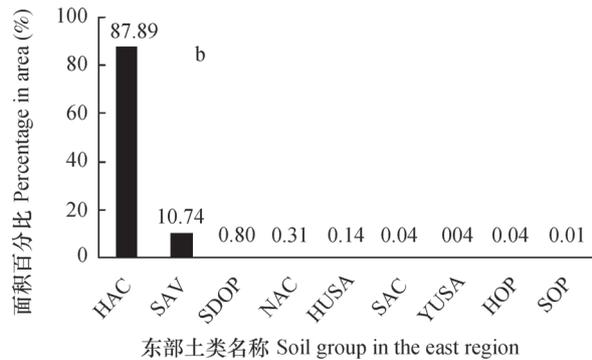
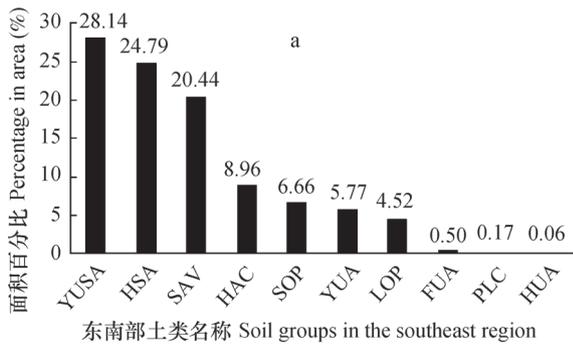


图3 不同分区各个土类的面积百分比

Fig. 3 Percentage of each soil group in area relative to region

的平均值进行计算, 并与土类构成组分多样性进行拟合分析可知二者之间有显著的线性相关关系, 拟合函数为 $y=-14.32x+13.13$ ,  $R^2=0.94$ 。

综上所述, 研究区面积相近的情况下, 土类构成组分多样性值的大小受土类丰富度、分区内各土类面积之间的变化量及各土类总面积的影响, 且主要取决于不同土类间面积大小的均衡程度。土类构成组分多样性与土类面积比例平均变化量之间存在显著的负相关关系。

将土类构成组分多样性与地表水体多样性进行线性拟合函数分析发现, 决定系数 $R^2$ 为0.027, 二者之间并没有明显的线性关系。这与2.2部分关于地形构成组分多样性与地表水体多样性之间线性关系的推论一致, 即面状土壤或地形构成组分多样性指数和线状地表水体多样性指数之间并没有显著的线性相关关系。

此外, 地形丰富度与土壤构成组分多样性之间有显著的正相关关系, 线性拟合函数为 $y=0.158x+0.028$ ,  $R^2=0.909$ 。

### 3 结 论

除了个别无公共斑块的情况外, 河南省土壤与地形多样性间相关性强, 76%以上的相关系数大于0.50。地形构成组分多样性与地表水体空间分布多样性发生关系清楚, 东部分区平原地形单一但水系发育程度高, 而以山地为主的西部分区地形复杂但水系发育简单。研究区面积相近的情况下, 土类构成组分多样性高低主要取决于不同土类间面积大小的均衡程度, 二者呈负线性相关关系, 且土类构成组分多样性与地形丰富度之间呈显著的正线性相关关系。总之, 地形、土壤和地表水体三要素多样性格局关系密切, 唯面状的地形、土壤构成组分多样性指数与线状的地表水体多样性指数间没有显著的线性相关性。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 龚子同, 陈鸿昭, 张甘霖. 寂静的土壤. 北京: 科学出版社, 2015: 1—133  
Gong Z T, Chen H Z, Zhang G L. Silent soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 2015: 1—133
- [ 2 ] 任圆圆, 张学雷. 土壤多样性研究趋势与未来挑战. 土壤学报, 2015, 52 ( 1 ) : 9—18

- Ren Y Y, Zhang X L. Study on pedodiversity: Status quo and future challenge ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 ( 1 ) : 9—18
- [ 3 ] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤. 北京: 中国农业出版社, 2004: 15—24  
Soil Survey Office of Henan Province. *Soils of Henan Province ( In Chinese )*. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 15—24
- [ 4 ] 段金龙, 张学雷. 中国中、东部典型样区土壤与水体多样性关联分析. 水科学进展, 2012, 23 ( 5 ) : 635—641  
Duan J L, Zhang X L. Correlative analysis of pedodiversity and spatial distribution of water body diversity at different scales in East and Central China ( In Chinese ). *Advances in Water Science*, 2012, 23 ( 5 ) : 635—641
- [ 5 ] 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分析. 土壤学报, 2015, 52 ( 6 ) : 1237—1250  
Ren Y Y, Zhang X L. Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of central and east China ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 ( 6 ) : 1237—1250
- [ 6 ] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局. 地理学报, 2006, 61 ( 8 ) : 847—854  
Liu Y S, Gan H, Zhang F G. Analysis of the matching patterns of land and water resources in northeast China ( In Chinese ). *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61 ( 8 ) : 847—854
- [ 7 ] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局. 自然资源学报, 2011, 26 ( 2 ) : 270—277  
Jiang Q X, Fu Q, Wang Z L, et al. Spatial matching patterns of land and water resources in Sanjiang Plain ( In Chinese ). *Journal of Natural Resources*, 2011, 26 ( 2 ) : 270—277
- [ 8 ] 黄魏, 罗云, 汪善勤, 等. 基于传统土壤图的土壤—环境关系获取及推理制图研究. 土壤学报, 2016, 53 ( 1 ) : 72—80  
Huang W, Luo Y, Wang S Q, et al. Knowledge of soil—landscape model obtain from a soil map and mapping ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 ( 1 ) : 72—80
- [ 9 ] Pavlopoulos K, Evelpidou N, Vassilopoulos A. Mapping geomorphological environment. Springer-Verlag Berlin, 2009: 5—47
- [ 10 ] Saldaña A, Ibáñez J J, Zinck J A. Soilscape analysis at different scales using pattern indices in the Jarama-Henares interfluvium and Henares River valley, Central

- Spain. *Geomorphology*, 2011, 135: 284—294
- [ 11 ] Moravej K, Eghbal M K, Toomanian N, et al. Comparison of automated and manual landform delineation in Semi detailed soil survey procedure. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7 ( 17 ) : 2592—2600
- [ 12 ] Toomanian N A, Jalalian H, Khademi M K, et al. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, 2006, 81: 376—393
- [ 13 ] 檀满枝, 张学雷, 陈杰, 等. SOTER数据库支持下以地形为基础的土壤多样性分析——以山东省为例. *土壤通报*, 2003, 34 ( 2 ) : 85—89  
Tan M Z, Zhang X L, Chen J, et al. Analysis of pedodiversity based upon a provincial SOTER database—A case study from Shandong Province ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34 ( 2 ) : 85—89
- [ 14 ] 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. *地理学报*, 2003, 58 ( 6 ) : 839—844  
Zhang X L, Chen J, Zhang G L. Landform based Pedodiversity of some soil properties in Hainan ( In Chinese ). *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 ( 6 ) : 839—844
- [ 15 ] Ibáñez J J, Jiménez-Ballesta R, García-Álvarez A. Soil landscapes and drainage basins in Mediterranean mountain areas. *Catena*, 1990, 17: 573—583
- [ 16 ] Ibáñez J J, Pérez-González A, Jiménez-Ballesta R, et al. Evolution of fluvial dissection landscapes in mediterranean environments// Z. Geomorph N F. Quantitative estimates and geomorphological, pedological and phytocenotic repercussions. 1994, 37: 123—138
- [ 17 ] Arnett R R, Conacher A J. Drainage basin expansion and the nine unit land surface model. *Australia Geographer*, 1973, 12: 237—249
- [ 18 ] 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. *农业机械学报*, 2013, 44 ( 6 ) : 110—116
- Duan J L, Qu Y H, Zhang X L. Correlative analysis between surface water spatial distribution diversity and pedodiversity ( In Chinese ). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44 ( 6 ) : 110—116
- [ 19 ] 任圆圆, 张学雷. 不同空间粒度下地表水体分布格局多样性的研究. *农业机械学报*, 2015, 46 ( 4 ) : 168—175  
Ren Y Y, Zhang X L. Distribution patterns of surface water body diversity at different grain sizes ( In Chinese ). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46 ( 4 ) : 168—175
- [ 20 ] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy. *Eprint Arxiv*, 2009. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>, 2009. 05. 19
- [ 21 ] 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. *生态学报*, 2004, 24 ( 5 ) : 1063—1072  
Zhang X L, Chen J, Gong Z T. What to do in China after a review of researches practices on pedodiversity in Europe and America ( In Chinese ). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 ( 5 ) : 1063—1072
- [ 22 ] 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. *地理科学*, 2013, 33 ( 2 ) : 195—202  
Duan J L, Zhang X L. Comparison of pedodiversity and land use diversity correlative analysis between typical provincial capitals and counties in east and central China ( In Chinese ). *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33 ( 2 ) : 195—202
- [ 23 ] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 第3版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.  
Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy ( In Chinese ). *Keys to Chinese Soil Taxonomy*. 3rd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001

## Characteristics of the Diversity of Terrain, Soil and Surface Water Body of Henan Province in Pattern

REN Yuanyuan ZHANG Xuelei<sup>†</sup>

(School of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract** 【Objective】 In studies on diversity of soil-water resources, terrain factors have great influences on their spatial distribution and internal relationships. Henan Province is selected as a case for study. Through processing the DEM data of the region, a terrain classification map and a surface water distribution map of the province were acquired. First of all, the modified Shannon entropy formula on a  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  grid scale was used to work out terrain spatial distribution diversity and soil spatial distribution diversity (soil group level) and correlation analysis of the two was performed. Then Henan Province was divided into six regions similar in area by ecological environment, social development and land use, and terrain constituent diversity and soil constituent diversity of the regions were worked out with the spatial distribution area index ( $Y_h$ ), while surface water body diversity was with the spatial distribution length index (MSHDLI). In the end characteristics of and correlations between terrain composition, soil composition and surface water body diversity were analyzed. 【Method】 First, the 3D spatial analysis, raster surface analysis and contour analysis tools of ArcGIS were used to process the DEM data of Henan Province were processed to extract terrain classification maps by referring to the five basic terrain sorting standard, and the hydrological analysis module was used to plot a river network map or a surface water body distribution map of the province with threshold vector being 50000. Then soil constituent diversity, terrain constituent diversity, and soil and terrain spatial distribution discreteness were analyzed with the modified Shannon diversity area index (MSHDAI) method, and surface water body diversity was with the modified Shannon diversity length index (MSHDLI) method. In the end, to determine correlation between terrain diversity and pedodiversity (soil group level), correlation coefficient between the two was worked out by calculating spatial distribution diversity of terrain types and common patches of soil types and fitting them into relevant equations. In six different partitions of similar sub-areas, characteristics of and correlation between terrain constituent diversity and surface water body diversity, soil constituent diversity and surface water body diversity, terrain richness and soil constituent diversity were analyzed with the Pearson product moment correlation coefficient of the IBM SPSS software. 【Result】 Results show that in Henan Province, plain is the type of terrain the biggest in area and the highest in spatial diversity distribution discreteness (0.959), and fluvo-aquic soil is the type of soil, the highest in diversity (0.908) and the biggest in area, and followed by cinnamon soil in the next and alkali soil and solonchak in the last being the types of soil, the lowest in spatial distribution discreteness. Terrain and soil are closely related with high correlation, of which the coefficient  $r$  is higher than 50%, being over 76%. In all the six regions, terrain constituent diversity is found in linear relationship with the number of terrain types, with determination coefficient  $R^2$  being 0.616, and moreover, the MSHDLI index of surface water body diversity is in positive relationship with length of the surface water body, with determination coefficient  $R^2$  being 0.788. The region in the east of the province is composed of solely plain and comes the second in MSHDLI value, which means the water system is well developed in the region, while the region in the west of the province is rather complicated in terrain and dominated with mountains and hence the

lowest in MSHDLI value is the lowest, which demonstrates that the water system in the region is developed very simply because of mountains. In the case that the six regions are similar in area, the value of soil group composition diversity depends mainly on evenness of the distribution of different types of soil in area, and the two are negatively related, with determination coefficient  $R^2$  being 0.94, while terrain type richness is significantly and positively related to soil group constituent diversity, with the determination coefficient  $R^2$  being 0.909 and fitting function being linear one. But in different regions, areal terrain constituent diversity, soil constituent diversity index and linear surface water body diversity index do not have any significant correlation between them. 【Conclusion】 To sum up, terrain, soil and surface water body are the three main elements closely related to each other, affecting each other and jointly determining spatial distribution of geodiversity of a region.

**Key words** Henan Province; Terrain; Pedodiversity; Surface water body; Characteristics

(责任编辑: 檀满枝)