

DOI: 10.11766/trxb201810260482

# 河南省成土母质与土壤空间分布多样性的特征\*

任圆圆<sup>1, 2</sup> 张学雷<sup>1†</sup> 李笑莹<sup>1</sup> 孙鹏<sup>1</sup> 段金龙<sup>3</sup>

(1 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)

(2 郑州轻工业学院社会发展研究中心, 郑州 450002)

(3 河南工业大学信息科学与工程学院, 郑州 450001)

**摘要** 成土母质作为土壤发育的主要形成因素,二者间的关系密切。选取河南省作为研究区,从多样性的角度运用经典的仙农熵测度方法分析成土母质和土壤要素的构成组分多样性、不同母质基础上各土壤分类级别的多样性特征,并运用改进的仙农熵公式研究 5 km × 5 km 网格尺度下不同成土母质对土壤空间分布离散程度的影响及不同成土母质和土壤的空间分布多样性特征和相关性。结果表明:(1)成土母质类型虽少,但其构成组分多样性高于土类,这与二者分类系统的分支率有关;(2)6类母质类型中,残积、坡积物母质面积最大且发育土壤类型最为复杂;15种土壤类型与6类母质之间的关系有一对多、一对一和多对一3种类型;(3)不同母质上发育的土类的空间分布离散性程度不同,残积、坡积物母质上分布的优势土类为粗骨土,河流冲积物和河湖相沉积物母质上的优势土类分别是潮土和砂姜黑土,洪积物和黄土与红土母质上发育较好的两种土类为黄褐土和褐土,风积物母质上仅发育了风砂土一种土类;(4)潮土和河流冲积物母质分别是河南省面积最大、空间分布多样性值最高的土类类型和成土母质类型,且成土母质与土类空间分布多样性间存在不同程度的相关性。综上,河南省的6大类成土母质与15种土类的构成组分多样性和空间分布离散性程度存在差异,且二者的空间分布多样性间存在一定的相关性。

**关键词** 成土母质;土壤;空间分布多样性;河南

**中图分类号** S151;K903 **文献标识码** A

基于经典的道库恰耶夫学说,土壤是由母质、气候、生物、地形和时间五大自然因素综合作用的产物。其中,因岩石裸露出地表风化为疏松的碎屑物质而形成的成土母质是土壤的物质基础,在母质不断地同动植物界与大气进行物质和能量交换的过程中形成了土壤<sup>[1]</sup>。土壤多样性的研究自20世纪90年代初在西班牙兴起并引入国内之后取得了显著进展,已成为21世纪以来土壤地理学领域前沿性的研究内容<sup>[2-4]</sup>,但其如何与地貌单元<sup>[5-6]</sup>、岩石单元<sup>[7]</sup>等其他资源的多样性进行比较是其未来主要的挑战<sup>[8]</sup>。目前,从土壤多样性向地多样性的发展是相关领域

的最新研究趋势<sup>[9-10]</sup>。地多样性的概念由澳大利亚地质学家 Sharples<sup>[11]</sup>提出,目前在国内外的研究中其含义由最初的地质地貌多样性扩展至地形、母质、植被和水体等与土壤发生关系密切的地学要素<sup>[8,12-15]</sup>。即从单一土壤多样性研究向地形、土地利用、水体、母质和植被等要素多样性的研究扩展。

在自然景观中,多样性分析能够独立地或是关联性地应用到其中的所有要素,并作为一种数学工具去表达其空间分布模式,对地学要素中的成土母质来说亦是如此<sup>[10]</sup>。关于成土母质和土壤间的关系,宋迪思等<sup>[16]</sup>分析了湘东丘陵4种典型母质上发育土

\* 国家自然科学基金项目(41571208)、国家自然科学基金青年基金项目(41701237)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41571208) and the National Natural Youth Foundation of China (No. 41701237)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ZXLzzu@zzu.edu.cn

作者简介:任圆圆(1987—),女,河南省襄城县人,博士,主要从事水土资源多样性研究。E-mail: ayuan6710@163.com

收稿日期:2018-10-26;收到修改稿日期:2018-12-06;优先数字出版日期(www.cnki.net):2018-12-29

壤的中红外吸收光谱特征；姜坤等<sup>[17]</sup>探讨了广东省不同母质发育的不同土壤的颗粒组成及分布的分形维数特征；刘昭兵等<sup>[18]</sup>研究了湖南省两种不同母质发育土壤的稻米镉积累差异；董玲玲等<sup>[19]</sup>探究了贵阳市喀斯特山区 9 种不同母质上发育的土壤类型在理化性质上的差异；张学雷等<sup>[20]</sup>基于海南岛土壤与地形数字化数据库，尝试建立不同成土母质上地形类别多度分布模型，并实现其相关的数字化表达；李超等<sup>[21]</sup>根据山西省黄土母质上土壤的石灰反应强度估测  $\text{CaCO}_3$  和 pH 含量。以上研究取得了一定的进展，但除了张学雷等早期的初步研究外，均未从多样性的角度对成土母质与土壤之间的关系进行深入分析。

鉴于此，本文在前人相关研究的基础上，从多样性的角度来分析河南省成土母质和土壤的构成组分多样性、各成土母质上发育的土壤分类级别的丰富度指数、分支率和在发生上的对应关系，之后在  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  网格尺度下探讨不同母质上典型土类的空间分布离散性特征并计算了河南省母质和土壤的空间分布多样性和二者间的相关系数，以期从多样性这一新的视角来研究成土母质与土壤要素的空间分布多样性特征，并不断丰富从土壤多样性向地多样性的有关研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

河南省(地处  $110^{\circ}21' \sim 116^{\circ}39'E$ 、 $31^{\circ}23' \sim 36^{\circ}22'N$

之间)是位于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 万余平方千米，约占全国总面积的 1.74%。截至 2017 年底，河南共下辖 17 个地级市、1 个省直辖县级市，52 个市辖区、20 个县级市、85 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、淮河流域而成的黄淮海平原区。土壤类型众多，形态各异，同时横跨海河、黄河、淮河、长江四大水系，境内 1500 多条河流纵横交织。

### 1.2 数据来源与处理

土壤数据来自第二次全国土壤普查全省数字化土壤图(河南省土肥站)，见图 1a)。成土母质数据是综合土壤母质<sup>[1]</sup>的分类并依据土壤分类土属级别中母质信息予以归纳概括而成，并运用 ArcGIS10.2 软件的空间数据处理和分析功能得到河南省 6 个主要成土母质大类，见图 1b)。由该图可知：河南省的成土母质较为复杂，山区主要是各种岩石风化的残坡积物、洪积物及黄土；在平原地区则为冲积物、洪积物、河湖相沉积物和风积物。

数据处理步骤：(1)运用经典的仙农熵公式测度方法计算了不同成土母质和土壤要素的丰富度指数、构成组分多样性，并对河南省不同成土母质对

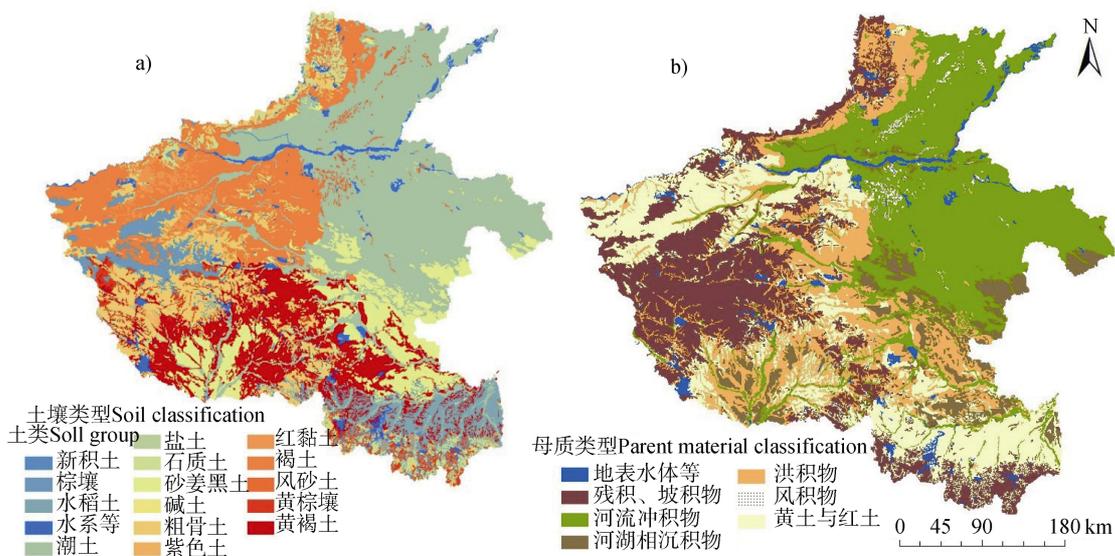


图 1 河南省土壤图(土类级别)(a)和母质分类图(b))

Fig. 1 Soil and parent material classification maps of Henan Province

应的土壤类别个数、分支率和二者在发生上的对应关系进行分析。(2)运用改进的仙农熵公式测度方法在 5 km × 5 km 网格尺度下计算各个母质上的土类空间分布多样性值,以便分析母质对土壤类型空间分布多样性产生的影响。(3)运用改进的仙农熵公式计算河南省的成土母质和土壤的空间分布多样性,并探索二者间的相关性。

### 1.3 多样性测度方法

为更好地评价研究对象的空间分布离散性,使用改进的仙农熵变形公式:

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

式中,  $S$  和  $p_i$  定义为:(1)表示土壤构成组分多样性时: $S$  为土类个数(即丰富度指数),  $p_i$  为第  $i$  个土类占该土类总面积的比例。此处,多样性指数  $Y_h$  [22] 表示在研究区内所有分类单元在数量构成上的均匀程度,这时  $Y_h$  形同 Pielou 均匀度指数 [23]。(2)表示土壤空间分布多样性时: $S$  为空间网格的数目,  $p_i$  为第  $i$  个空间网格里某个土类面积占该土类总面积的比例,多样性指数  $Y_h$  为在研究区内土壤空间分布的多样性特征,用来描述土壤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。

### 1.4 关联分析法

为更好地确定母质和土类多样性之间的相关关系,使用以下关联系数:

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

式中,  $A$  和  $B$  分别表示土壤母质类型和土类类型(土类/亚类/土属级别),  $r(A, B)$  [24] 表示母质类型  $A$  和每类土类类型  $B$  之间的关联系数,  $Y_h(A)$  和  $Y_h(B)$  分别表示母质和土类的空间分布多样性指数,应用式(1)进行计算,  $Y_h(A, B)$  表示母质类型  $A$  和土类类型  $B$  公共斑块的空间分布多样性。具体计算公式如下:

$$Y_h(A) = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i}{\ln S} \quad (3)$$

$$Y_h(B) = \frac{-\sum_{j=1}^S p_j \ln p_j}{\ln S} \quad (4)$$

$$Y_h(A, B) = \frac{-\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S p_{(i,j)} \ln p_{(i,j)}}{\ln S} \quad (5)$$

式中,  $p_{(i,j)}$  为联合分布概率,表示第  $i$  个空间网格里母质类型  $A$  和第  $j$  个空间网格里土类类型  $B$  同时包含时的面积比。 $r(A, B)$  的取值范围为 [0,1], 该关联系数反映了母质和土类之间在空间分布上的相关性,定量地描述了研究区域内母质和土类这两个要素在空间分布上相互叠置的程度。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 成土母质和土壤类型的构成组分多样性

表 1 计算了河南省不同成土母质和土壤分类的构成组分多样性,由此可知:(1)就丰富度指数而言,成土母质和土类类型的个数分别为 6 和 15;(2)就构成组分多样性而言,从土类、亚类到土属其构成组分多样性值呈上升趋势,且土属的构成组分多样性值最高(0.81),母质的构成组分多样性值为 0.87,这说明母质和土壤类型在河南省的分布均较为均匀,复杂程度较高。(3)综合对比,成土母质类型虽少但其构成组分多样性值高于土类,说明若干母质均有可能发育形成同一种土壤类型,这在一定程度上也与母质和土壤在河南省分布的位置、面积大小及其二者分类系统的分支率有关。

### 2.2 母质和土壤类别多样性间的发生关系

不同母质上发育的土壤类型各异,统计不同母质上发育的土类、亚类和土属类型的个数及分支率,结果见表 2(表注为不同母质下土类、亚类和土属类别的分支率计算公式)。由表 2 可知:(1)在 6 大类母质类型中,每一类发育形成的土类丰富度不一,有的母质发育着多种土壤,有的母质只有某种土类

表 1 河南省不同母质和土壤分类的构成组分多样性

Table 1 Parent material and soil composition diversities in Henan Province

名称 Name	丰富度指数 Richness	构成组分多样性 Constituent diversity	名称 Name	丰富度指数 Richness	构成组分多样性 Constituent diversity
母质 Parent material	6	0.87	亚类 Subgroup	39	0.80
土类 Soil group	15	0.74	土属 Family	138	0.81

表 2 河南省不同成土母质对应的土壤类别数量及分支率

Table 2 Number of soil types and bifurcation ratio relative to type of soil forming parent materials in Henan

母质 Parent material	面积比 Area percentage/%	土类数 Soil group number	亚类数 Subgroup number	土属数 Family number	分支率 N2/N3	Bifurcation ratio N1/N2
河流冲积物 <sup>①</sup>	31.26	3	8	26	2.67	3.25
洪积物 <sup>②</sup>	18.88	5	11	22	2.2	2
黄土与红土 <sup>③</sup>	20.04	5	15	25	3	1.67
残积、坡积物 <sup>④</sup>	21.85	8	18	46	2.25	2.56
河湖相沉积物 <sup>⑤</sup>	7.31	4	10	16	2.5	1.6
风积物 <sup>⑥</sup>	0.66	1	1	3	1	3

注：分支率  $BR = N_i / N_{i+1}$ ， $N_1$  代表土属， $N_2$  代表亚类， $N_3$  代表土类 Note: Bifurcation ratio  $BR = N_i / N_{i+1}$ ， $N_1$  stands for number of soil families,  $N_2$  for number of soil subgroups, and  $N_3$  for number of soil groups ①Alluvial deposits, ②Proluvial, ③Loess and laterite, ④Residual and slope deposits, ⑤River and lake sediments, ⑥Aeolian

发育；(2) 残积、坡积物母质在河南省的面积最大且其发育的土类、亚类和土属数量均最多，土壤类型最为复杂多样；(3) 6 种母质下发育的土壤类型随着分类级别从土类、亚类到土属，其丰富度指数呈上升趋势但其上升的幅度不同，造成不同级别间分支率差别大；(4) 除了黄土与红土母质和河湖相沉积物母质外，其他母质上所发育土壤分类系统的分支率呈现从高级别到低级别递减的趋势，佐证了

多数情况下土壤分类系统框架中较低分类单元向下分支数值较其较高分类单元间的值有所降低的基本规律；(5) 由图 2a) 和图 2b) 可知各成土母质的面积比例与其发育的土类丰富度和亚类丰富度之间没有明显的线性相关关系，相关系数小于 0.3 属弱正相关关系；但其与土属的丰富度指数间的相关性有一定的提高，其值为 0.51，表明二者达到中等正相关关系，如图 2c) 所示。

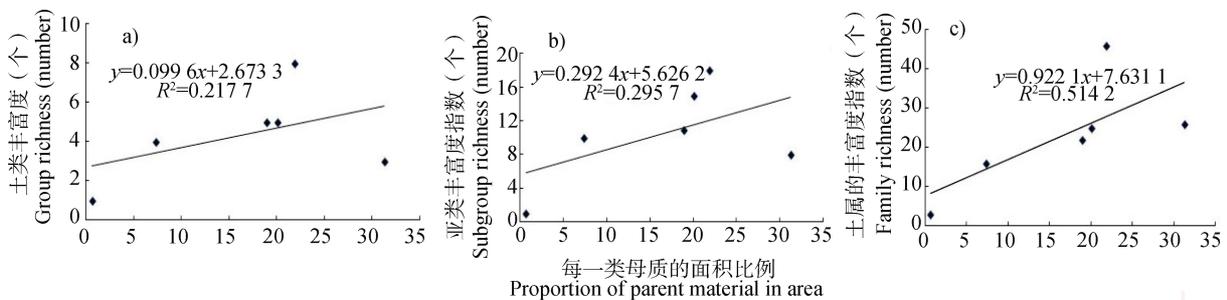


图 2 不同成土母质的面积比例与土壤丰富度之间的线性相关关系

Fig. 2 Linear correlation between proportion of soil parent material in area and soil richness relative to type of parent material

### 2.3 母质和土壤类别多样性在发生上的对应关系

表 3 统计了河南省不同成土母质上发育的土类类型,结合表 2 进而将省内 15 种土类与不同母质间的发生对应关系类型分为:

(1) 一对多(即一种土类类型发育在多种母质上):如潮土、褐土、黄褐土和水稻土等,均发育在 3 种不同的母质上,棕壤和砂姜黑土在 2 种不同的母质上,显示出不同程度的土壤发育程度及特征。以潮土为例(表 4),在河流冲积物、洪积物和河湖相沉积物 3 种不同母质上发育的亚类个数分别为 6、1、3,发育的土属个数分别为 24、1、3;褐土在洪积物和残积、坡积物上和黄土与红土母质上发育的亚类个数分别为 5、4、4,发育的土属个数分别为 12、13、12;黄褐土主要发育在洪积物、黄土与红土母质上和残积、坡积物母质上的亚类个数分别为 2、4、2,对应的土属个数均为 6、5、2;就水稻土而言,在河流冲积物、黄土与红土和残积、坡积物母质上发育的亚类个数分别为 1、3、1,发育的土属个数分别为 1、3、1;棕壤在黄土与红土母质上发育的亚类主要是棕壤和棕壤性土,对应的土属分别是黄土棕壤和棕壤性土,而其在残积、坡积物上发育了 3 个土壤亚类(白浆化棕壤、棕壤和棕壤性土)和 11 个土属类型;砂姜黑土在洪积物和河湖相沉积物上发育的 2 个亚类均是砂姜黑土和石灰性砂姜黑土,发育的土属个数分别为 2 个和 6 个。

(2) 一对一(即一种土类类型发育在一种土壤母质上):如碱土、盐土、红黏土、粗骨土、石质土、紫色土、新积土、风砂土和黄棕壤。6 种母

质类型上均发育有独特的土类类型,反映出土壤及其母质在发生上的特质性。其中,残积、坡积物下发育的特有土类类型有 4 个,其他 5 个母质类型均发育 1 种特定土壤类型,如碱土仅发育在河流冲积物母质上,黄河大堤外侧因受高水位侧渗影响呈带状分布着碱化土壤,盐土仅发育在洪积物母质上。

(3) 多对一(即多种土壤类型发育在一种土壤母质上):除风砂土外,其他土类均属于此类型。其中,残积、坡积物母质发育的土类类型最多,共 8 个土类,洪积物、黄土与红土发育了 5 种土类类型,河湖相沉积物发育了 4 种土类类型,河流冲积物发育了 3 种土类类型。

### 2.4 不同成土母质对土类空间分布多样性的影响

通过 ArcGIS10.2 空间分析并运用式(1)计算,得出每一种成土母质上发育的土类类型的空间分布多样性指数值(图 3)。由此可知:残积、坡积物母质上发育的土类中,粗骨土是空间分布离散性程度最高且面积最大的土类(0.88, 15 556 km<sup>2</sup>),是该母质上的优势土类,河流冲积物母质上的优势土类是潮土(0.97, 50 465 km<sup>2</sup>),河湖相沉积物母质上的优势土类是砂姜黑土(0.90, 9 689 km<sup>2</sup>);洪积物母质和黄土与红土母质上空间分布离散性最高的土类均是黄褐土,其值分别为(0.86, 11 755 km<sup>2</sup>), (0.85, 9 811 km<sup>2</sup>),但其面积在该母质所发育的土类中均是次高值,面积最大的土类均是褐土,其值分别为(0.83, 12 264 km<sup>2</sup>), (0.81, 11 639 km<sup>2</sup>);风积物母质上仅发育了风砂土一种土类,其空间分布离散性值是 0.91。

表 3 河南省不同成土母质对应的土类

Table 3 Soil groups corresponding to each soil forming parent material in Henan Province

母质名称 Parent material	对应的土类类型 Corresponding soil group types
河流冲积物 Alluvial deposits	潮土, 碱土, 水稻土
洪积物 Proluvial	潮土, 褐土, 黄褐土, 砂姜黑土, 盐土
黄土与红土 Loess and laterite	褐土, 红黏土, 黄褐土, 水稻土, 棕壤
残积、坡积物 Residual and slope deposits	粗骨土, 褐土, 黄褐土, 黄棕壤, 石质土, 水稻土, 紫色土, 棕壤
河湖相沉积物 Residual and slope deposits	潮土, 砂姜黑土, 水稻土, 新积土
风积物 Aeolian	风砂土

表 4 潮土在不同母质类型下的发育状况

Table 4 Development of Haplic cambosol relative to parent material

母质 Parent material	土类 Soil group	亚类 Subgroup	土属 Family	
河流冲积物 Alluvial deposits	潮土	潮土	底砂两合土	
			底黏砂土	
			黄砂潮土	
			两合土	
			砂砾潮土	
			砂土	
			小两合土	
			腰砂两合土	
			腰砂淤土	
			腰黏砂土	
		灰潮土	淤土	
			灰两合土	
			灰砂土	
			灰淤土	
			腰黏灰砂土	
			碱化潮土	碱化潮土
				壤砂湿潮土
			湿潮土	底黏脱潮砂土
				脱潮两合土
			脱潮土	脱潮砂土
脱潮淤土				
腰砂脱潮两合土				
腰砂脱潮淤土				
洪积物 Proluvial	潮土	湿潮土	黄砂湿潮土	
河湖相沉积物 River and lake sediments	潮土	潮土	黑底潮土	
	潮土	灌淤潮土	灌淤潮土	
		灰潮土	底砂灰两合土	

以潮土、褐土和棕壤为例,可见其不同母质上的空间分布(图4)。其中,由图4a)可知,河南省的潮土分布在河流冲积物、洪积物和河湖相沉积物这3种母质上,且主要分布在东部的河流冲积物上,其次在西南部南阳盆地的河流冲积物上以及南部的河湖相沉积物上。图4b),河南省的褐土主要分布在残积、

坡积物,黄土和红土及洪积物这3种母质上,且主要分布在西部的残积、坡积物上其次在西北部的黄土与红土上,西南部的洪积物上也有一些分布。图4c)可见,河南省的棕壤主要分布在残积、坡积物与黄土与红土这两种母质上,且主要分布在西部的残积、坡积物,在西北部和南部的黄土与红土母质上也有少许分布。

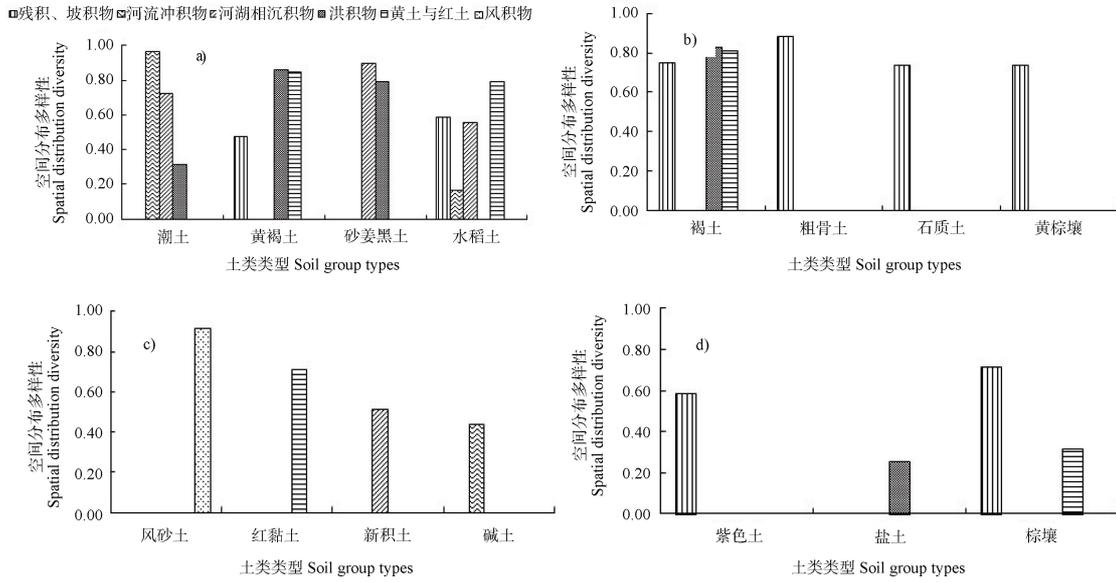


图 3 不同母质发育的土类的空间分布多样性

Fig. 3 Spatial distribution diversity of soil group relative to parent material

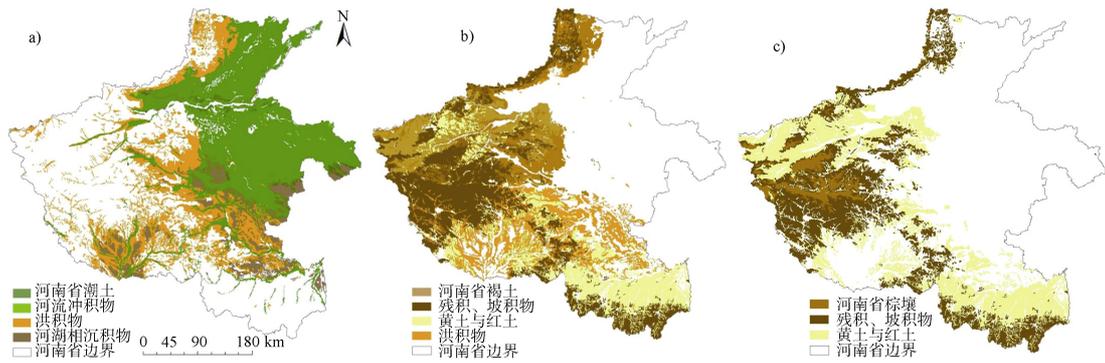


图 4 潮土、褐土和棕壤在河南省不同母质上的分布状况

Fig. 4 Distribution of Hapli aquic cambosol, Hapli ustic argosol and Hapli udic argosol in Henan Province relative to parent material

### 2.5 不同母质和土类空间分布多样性的关联性

河南省母质和土类在 5 km 网格尺度下的空间分布多样性指数值见表 5 和表 6，就土类空间分布多样性而言，潮土是河南省面积最大、空间分布多样性值最高的土类类型，其值分别为 51 895 km<sup>2</sup> 和 0.89，盐土是面积最小、空间分布多样性值最低的土类类型。就母质空间分布多样性而言，河流冲积物是分布面积最大，空间分布多样性值最大的母质类型，其值分别为 50 581 km<sup>2</sup> 和 0.89，这说明该土壤母质在河南省的离散性程度最高，此外，残积、坡积物的空间分布离散性值为 0.86，其值稍低于河流冲积物、

洪积物和黄土与红土母质，但其土壤发育的丰富度指数最高。

运用式 (2) 计算河南省成土母质和土类二者间的关联性 (表 7)，总体上来看，6 大类成土母质与 15 种土类间有不同程度的相关性，潮土与河流冲积物母质、风砂土与风积物母质间的相关系数接近于 1，是高度正相关关系，这说明潮土多由河流冲积物母质发育而来，同时风砂土母质只能发育出一种土类。洪积物母质与潮土间的相关性最弱，相关系数大于 0.3，为弱正相关关系；纵向来看，残积、坡积物母质与 15 个土类的相关系数最多 (8 个)，其次是黄土与红土母质与土类有 6 个相关系数，风积物母质仅与风砂土有相关性。

表 5 河南省土类空间分布多样性

Table 5 Spatial distribution diversities of soil group in Henan Province

系统分类名称 Chinese soil taxonomy	土类名称 Soil group	面积 Area/km <sup>2</sup>	多样性 Diversity
淡色潮湿雏形土 Hapli Aquic Cambosol	潮土	51 896	0.889
铁质湿润淋溶土 Yellow Ustic Argosol	黄褐土	21 871	0.831
简育干润淋溶土 Hapli Ustic Argosol	褐土	27 824	0.830
石质干润正常新成土 Lithic Orthic Primosol	粗骨土	15 556	0.802
砂姜钙积潮湿变性土 Shajiang Aquic Vertosol	砂姜黑土	16 124	0.784
简育水耕人为土 Hapli Stagnic Anthrosol	水稻土	8 850	0.739
石质湿润正常新成土 Stony Orthic Primosol	石质土	5 484	0.720
铁质湿润淋溶土 Yellow Udic Argosol	黄棕壤	3 566	0.673
简育湿润淋溶土 Hapli Udic Argosol	棕壤	5 271	0.667
饱和红色正常新成土 Ferri Udic Argosol	红黏土	3 138	0.660
潮湿砂质新成土 Sandy Orthic Primosol	风砂土	1 060	0.591
普通紫色湿润雏形土 Purple Lithic Cambosol	紫色土	801	0.531
正常新成土 Hapli Orthic Primosol	新积土	252	0.427
潮湿碱积盐城土 Natric Aquic Cambosol	碱土	99	0.396
普通潮湿正常盐成土 Salty Aquic Cambosol	盐土	25	0.227

表 6 河南省母质空间分布多样性

Table 6 Spatial distribution diversities of parent material in Henan Province

母质名称 Parent material	面积 Area/km <sup>2</sup>	多样性 Diversity
河流冲积物 Alluvial deposits	50 581	0.887
洪积物 Proluvial	30 555	0.877
黄土与红土 Loess and laterite	32 429	0.867
残积、坡积物 Residual and slope deposits	35 359	0.863
河湖相沉积物 River and lake sediments	11 831	0.773
风积物 Aeolian	1 060	0.591

表 7 河南省土类和土壤母质空间分布多样性的相关性

Table 7 Correlation matrix of soil groups with parent materials in spatial distribution diversity in Henan Province

土类 Soil group	河流冲积物 Alluvial deposits	洪积物 Proluvial	黄土与红土 Loess and laterite	残积、坡积物 Residual and slope deposits	河湖相沉积物 River and lake sediments	风积物 Aeolian
潮土	0.999	0.316	-	-	0.716	-
黄褐土	-	0.932	0.918	0.516	-	-
褐土	-	0.903	0.884	0.806	-	-

续表

土类 Soil group	河流冲积物 Alluvial deposits	洪积物 Proluvial	黄土与红土 Loess and laterite	残积、坡积物 Residual and slope deposits	河湖相沉积物 River and lake sediments	风积物 Aeolian
粗骨土	-	-	-	0.964	-	-
砂姜黑土	-	0.883	-	-	0.960	-
水稻土	0.165	-	0.908	0.673	0.611	-
石质土	-	-	-	0.910	-	-
黄棕壤	-	-	-	0.876	-	-
棕壤	-	-	0.375	0.871	-	-
红黏土	-	-	0.864	-	-	-
风砂土	-	-	-	-	-	1.000
紫色土	-	-	-	0.762	-	-
新积土	-	-	-	-	0.712	-
碱土	0.617	-	-	-	-	-
盐土	-	0.412	-	-	-	-

### 3 结 论

河南省共有 6 类成土母质，分别为残积、坡积物母质、洪积物、黄土与红土、河湖相沉积物、河流冲积物和风积物，且在 5 km × 5 km 网格尺度下河流冲积物是面积最大、空间分布离散性程度最高的母质，风积物母质是面积最小且空间分布离散性值最低的母质类型。与土壤分类系统相比，成土母质分类系统构成相对简单，虽其丰富度指数最小但构成组分多样性值高于土类，这与二者分类系统的分支率有关。在 6 大类母质类型中，每一类发育形成的土类丰富度不一，残积、坡积物母质发育的土壤类型最为复杂，15 种土类与不同成土母质间的对应关系可分为一对多，一对一和多对一类型，展现母质与土壤多样性特征的发生学基础。6 大类成土母质与 15 种土类间有不同程度的相关性，其中，潮土与河流冲积物母质、风砂土与风积物母质间的相关性最强，洪积物母质与潮土间的相关性最弱。综上，不同成土母质与各个土壤类型在发生关系上存在差异，各个母质上发育的土类丰富度和空间分布离散性程度不同，且母质空间分布多样性与土类空间分布多样性间存在相关性。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 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
- [ 2 ] 段金龙, 张学雷, 李卫东, 等. 土壤多样性理论与方法在中国的应用与发展. 地球科学进展, 2014, 29 ( 9 ): 995—1002  
Duan J L, Zhang X L, Li W D, et al. Application and development of studies on pedodiversity theory and methodology in China ( In Chinese ). Advances in Earth Science, 2014, 29 ( 9 ): 995—1002
- [ 3 ] Edoardo A C. Costantini EAC, L'Abate G. Giovanni L'Abate. Beyond the concept of dominant soil: Preserving pedodiversity in upscaling soil maps. Geoderma, 2016, 271, DOI: 10.1016/j. geoderma.2015.11.024
- [ 4 ] James G. Bockheim J G. Diversity of diagnostic horizons in soils of the contiguous USA: A case study. Catena, 2018, 168, DOI: 10.1016/j. catena.2017.10.016
- [ 5 ] Phillips J D, Marion D A. Soil geomorphic classification, soil taxonomy, and effects on soil richness assessments. Geoderma, 2007, 141: 89—97
- [ 6 ] Toomanian N, Esfandiarpour I. Challenges of pedodiversity in soil science. Eurasian Soils Science, 2010, 43: 1486—1502
- [ 7 ] Martín M A, Rey J M. On the role of Shannon's entropy

- as a measure of heterogeneity. *Geoderma*, 2000, 98: 1—3
- [ 8 ] 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
- [ 9 ] Joseph A Z, Graciela M G B, Héctor F D V. *Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies*. Springer, 2016: 1—556
- [ 10 ] 任圆圆, 张学雷. 从土壤多样性到地多样性的研究进展. *土壤*, 2018, 50 ( 2 ): 225—230  
Ren Y Y, Zhang X L. Review of studies from pedodiversity to geodiversity ( In Chinese ). *Soils*, 2018, 50 ( 2 ): 225—230
- [ 11 ] Sharples C. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. Report to the Forestry Commission, Hobart, Tasmania, 1993
- [ 12 ] 任圆圆, 张学雷. 河南省地形、土壤和地表水体多样性格局特征. *土壤学报*, 2017, 54 ( 3 ): 590—600  
Ren Y Y, Zhang X L. Characteristics of the diversity of terrain, soil and surface water body of Henan Province in pattern ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 ( 3 ): 590—600
- [ 13 ] 任圆圆, 张学雷. 以地形为基础的河南省域土壤多样性的格局. *土壤通报*, 2017, 48 ( 1 ): 22—31  
Ren Y Y, Zhang X L. Pedodiversity patterns based on Terrain in Henan Province ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48 ( 1 ): 22—31
- [ 14 ] 毕如田, 杜佳莹, 柴亚飞. 基于 DEM 的涑水河流域土壤多样性研究. *土壤通报*, 2013, 44 ( 2 ): 266—270  
Bi R T, Du J Y, Chai Y F. A study on soil diversity in Sushui River based on the DEM ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44 ( 2 ): 266—270
- [ 15 ] 段金龙, 张学雷. 区域地表水体、归一化植被指数与热环境多样性格局的关联分析. *应用生态学报*, 2012, 23 ( 10 ): 2812—2820  
Duan J L, Zhang X L. Correlative analysis of the diversity patterns of regional surface water, NDVI and thermal environment ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23 ( 10 ): 2812—2820
- [ 16 ] 宋迪思, 盛浩, 周清, 等. 不同母质发育土壤的中红外吸收光谱特征. *土壤通报*, 2016, 47 ( 1 ): 1—7  
Song D S, Sheng H, Zhou Q, et al. Characteristics of middle-infrared absorption spectrum of soils derived from different parent materials ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47 ( 1 ): 1—7
- [ 17 ] 姜坤, 秦海龙, 卢瑛, 等. 广东省不同母质发育土壤颗粒分布的分形维数特征. *水土保持学报*, 2016, 30 ( 6 ): 319—324  
Jiang K, Qin H L, Lu Y, et al. Fractal dimension of particle-size distribution for soils derived from different parent materials in Guangdong Province ( In Chinese ). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30 ( 6 ): 319—324
- [ 18 ] 刘昭兵, 纪雄辉, 官迪, 等. 湖南两种母质发育土壤的稻米镉积累差异. *土壤通报*, 2018, 49 ( 1 ): 191—196  
Liu Z B, Ji X H, Guan D, et al. Differences of cadmium accumulation in paddy soil developed from two parent materials in Hunan Province ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2018, 49 ( 1 ): 191—196
- [ 19 ] 董玲玲, 何腾兵, 刘元生, 等. 喀斯特山区不同母质(岩)发育的土壤主要理化性质差异性分析. *土壤通报*, 2008, 39 ( 3 ): 471—474  
Dong L L, He T B, Liu Y S, et al. Changes of soil physical- chemical properties derived from different parent materials/rocks in Karst Mountain ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39 ( 3 ): 471—474
- [ 20 ] 张学雷, 陈杰, 张甘霖, 等. 海南岛成土母质的地形多样性分析. *土壤学报*, 2004, 41 ( 2 ): 170—175  
Zhang X L, Chen J, Zhang G L, et al. Soil parent material based geomorphic diversity in Hainan Island, China ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 ( 2 ): 170—175
- [ 21 ] 李超, 张凤荣, 张天柱, 等. 土壤的石灰反应强度估测 CaCO<sub>3</sub> 含量和 pH 研究——以山西省黄土性母质土壤为例. *土壤学报*, 2017, 54 ( 6 ): 1369—1376  
Li C, Zhang F R, Zhang T Z, et al. The study of lime soil reaction intensity estimates based on CaCO<sub>3</sub> content and pH—A case study of soil developed from loess parent material in Shanxi Province ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 ( 6 ): 1369—1376
- [ 22 ] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>, 2009-05-19
- [ 23 ] 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种的应用前景. *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
- [ 24 ] 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

## Diversities of Soil Forming Parent Materials and Spatial Distribution of Soils in Henan Province

REN Yuanyuan<sup>1,2</sup> ZHANG Xuelei<sup>1†</sup> LI Xiaoying<sup>1</sup> SUN Peng<sup>1</sup> DUAN Jinlong<sup>3</sup>

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

(2 Social Development Research Center of Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

(3 College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract** 【Objective】 According to the classical Dokuchaev soil genesis theory, soil is formed under the comprehensive effect of five environmental factors, i.e., parent material, climate, biology, topography, and time, among which parent material is the very fundamental one, very closely related to soils. Researchers have made certain progresses in the study on relationships of soils with the factors, but, apart from some early preliminary studies in this aspect, few in-depth reports are found in the literature on relationships of soil parent material with soil factors from the angle of diversity. So this study selected Henan Province for a case study to explore soil elements and composition and soil classes or types in various soil classification system in relation to diversity of soil forming parent materials, effects of soil forming parent material on dispersiveness of spatial distribution of soil great groups, and characteristics and correlations of spatial distribution diversity of the two on a 5 km×5 km grid scale with the classical and modified Shannon entropy methods, in an attempt to enrich steadily the knowledge about the trend of evolvement of the research on soil diversity to that on land diversity. 【Method】 Both the classical Shannon entropy formula and modified Shannon entropy formula were used to characterize the composition and spatial distribution diversities of soil forming parent materials and soils. First of all, data of soil forming parent materials were extracted from the data of soil parent materials on the soil genus level based on the soil parent material classification. And with the aid of the spatial data processing and analysis function of ArcGIS10.2 software, the soil farming parent materials in Henan Province were sorted into 6 groups. Then the richness index and composition diversity of the various parent materials and soil elements were calculated with the classical Shannon entropy formula. And number of soil types and bifurcation ratios relative to each group of parent materials and corresponding relationships of the two in occurrence were analyzed for further analysis of effects of parent material on the spatial distribution diversity of soil types with the modified Shannon entropy formula on a 5 km×5 km grid scale. In the end, spatial distribution diversities of parent materials and soils (soil group level) in Henan Province were worked out with the modified Shannon entropy formula and correlation of the two discussed. 【Result】 Results show that (1) although the parent materials in Henan are very limited in type, they are higher in composition diversity than the soils, which is related to bifurcation ratio of the two in classification. (2) Among the 6 types of parent materials, the type of eluvium and deluvium is the largest in area and the most complex in soil development. The richness index of soil types increases with soil classification going from group, subgroup to family in level. The 15 soil types are related to 6 types of parent materials in one to many, one to one and many to one patterns. (3) Soil types developed from different parent materials vary in dispersiveness of spatial distribution. Carbonati-Orthic Primosols is the dominant type of soil developed on eluvium and deluvium type of parent material, while Hapli aquic cambosol and Shajiang aquic vertosol are on river alluvium and lacustrine sediments, respectively. Yellow ustic argosol and Hapli ustic argosol are the two types of soils well developed on proluvium, loess and laterite types of parent materials. And sandy orthic primosol is the only one developed on the aeolian deposit type of parent material. (4) Hapli aquic cambosol and river alluvium type of parent material is the type of soil and the type of parent material the largest in area and the highest in spatial

distribution diversity, respectively, in Henan Province. And soil forming parent materials and soil types are related in spatial distribution diversity to a varying extent. The relationships of the river alluvium type of parent material with Hapli aquic cambosol soil and of the aeolian deposit type of parent material with sandy orthic primosol are the highest, while the relationship of the loess and laterite type of parent material with Shajiang aquic vertosol is near nil, which is reflected in the fact that the area of soil patches common to the two is very limited nearly nothing. **【Conclusion】** To sum up, viewing from the angle of diversity, the 6 types of soil forming parent materials and the 15 soil groups in Henan Province vary in composition diversity and spatial distribution dispersiveness. Moreover, the two are related in spatial distribution diversity to a varying extent.

**Key words** Soil forming parent material; Soil; Spatial distribution diversity; Henan Province

(责任编辑: 檀满枝)