

河南省多级地貌特征及与土壤多样性的关系^①

任圆圆^{1,2}, 张学雷^{1*}

(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)

摘要:从土壤多样性向地多样性发展符合土壤地理学的研究趋势, 选择河南省作为研究区, 将地貌这一主要的地学要素加入到土壤多样性的研究中, 并用改进的仙农熵公式对多级地貌空间分布多样性及其与土壤多样性的相关性进行探讨。首先, 对河南省 1:175 万地貌类型图进行矢量化得到地貌类型等级系统; 然后, 对地貌和土壤的构成组分多样性和 2 种不同分类体系的分支率进行计算并分析其特征; 最后, 在 3 km×3 km 网格尺度下分析地貌和土壤多样性间的相关性。研究表明: 河南省共有 3 个一级地貌, 12 个二级地貌和 37 个三级地貌; 随着土壤和地貌分类的等级细化, 其分类个数和构成组分多样性值均呈上升趋势, 即土壤和地貌所有分类单元在数量构成上的均匀程度越来越高; 两种分类系统中, 土壤分类较地貌分类有更详细的分类体系, 且分支率有较大范围的变化; 河南省一级地貌、二级地貌和三级地貌的空间分布多样性值和面积值均最大的类型分别是流水地貌、冲积平原和泛滥平坦地, 是不同级别的优势地貌类型; 一级地貌类型与土类、亚类和土属多样性间存在紧密的相关关系, 且以流水地貌与土壤多样性间的相关性最强。

关键词: 地貌; 土壤多样性; 河南省; 仙农熵; 关联性

中图分类号: K903; S151

文献标识码: A

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^[1]。土壤多样性自 20 世纪 90 年代初期由西班牙学者 Ibáñez 等^[2-3]提出发展至今其研究已经成为 21 世纪以来土壤地理学较为前沿的研究内容之一^[4-7]。土壤多样性的研究趋势正在从单一的土壤要素向影响土壤发生和演变的其他地学要素(土地利用、地形、水体、母质和植被等)扩展^[8-12]。2016 年德国斯普林格(Springer-Verlag)国际出版社新出专著《地土壤学(Geopedology)》^[8-12]提出的地-土壤学的方法使得这一重要方向的研究向前迈进了一步。地形地貌作为主要的地学要素, 是土壤五大主要成土因素综合作用中的重要一环, 其主要通过母质接受光、热条件的差异及降水和水分在地表的重新分配, 从而在成土过程中产生重要影响^[13]。

关于土壤和地貌要素之间的关系, Pavlopoulos 等^[14]指出可用地貌地图来研究土壤-地形间的关系; Toomanian 等^[15]研究了伊朗原始山谷的土壤多样性和成土作用间的关系; 檀满枝等^[16]和张学雷等^[17]在

不同的研究区以 SOTER 数据库为基础对不同地形上的土壤丰富度指数、土层厚度和土壤容重等指标进行了探索; 任圆圆和张学雷^[18]以河南省为例总结了土壤多样性研究的经典算法, 并用改进的仙农熵公式这一新的测度方法对不同地形下的土壤空间分布格局进行探索, 以期在方法论上得以提升。目前, 运用改进的仙农熵公式对多级地貌特征及其与土壤多样性关系的研究报道甚少。

为此, 本文在以上研究的基础上, 获取河南省多级地貌分类矢量化结果, 并用改进的仙农熵公式对地貌空间分布多样性、土壤和地貌要素的构成组分多样性、分支率及二者间的相关性进行分析, 以期用新的视角探索地貌和土壤要素多样性间的关联程度, 并为土壤多样性向地多样性的研究趋势打下基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河南省位于黄河中下游, 介于 110°21'~116°39'E, 31°23'~36°22'N, 是我国中原腹地的大省, 东西长

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571208)资助。

* 通讯作者(zxlzzu@zzu.edu.cn)

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

580 km², 南北宽 530 km², 面积有 16 万余 km²。河南省气候类型多样, 秦岭—淮河一线贯穿河南省, 该线以北的地区属于暖温带, 以南属于亚热带、湿润—半湿润气候。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。河南省横跨海河、黄河、淮河、长江四大水系。土壤类型众多, 共计有 7 个土纲, 11 个亚纲, 17 个土类, 42 个亚类, 133 个土属, 428 个土种^[13]。

1.2 数据来源与处理

河南省的土壤数据来自第二次土壤普查全省数字化土壤图(河南省土肥站)。地貌分类数据来自利用 ArcGIS10.0 软件对 1:175 万河南省地貌类型图的矢量化, 该数据源较概略, 但尚能基本反映多级地貌单元的空间多样性分布特征, 下一步尝试获取更为详细的数据源。在以上获取到的地貌分类图和土壤分类图的基础上对两个要素的多样性特征及相关性进行分析, 具体步骤如下: 计算河南省地貌构成组分多样性(一级、二级和三级地貌)、土壤构成组分多样性(土类、亚类和土属)和两种分类系统下的分支率并研究其特征; 探索 3 km × 3 km 网格尺度下河南省的地貌空间分布多样性和土壤空间分布多样性特征; 分别计算一级地貌与土类、亚类和土属间公共斑块的空间分布多样性以便分析两要素间的相关关系。

1.3 研究方法

1.3.1 改进的仙农熵公式

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: 表土壤/地貌构成组分多样性时: S 为土壤/地貌个数, p_i 为第 i 个土壤/地貌占该土壤/地貌总面积的比例。在这里, 多样性指数 Y_h ^[19] 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^[20]。表土壤/地貌空间分布多样性时: S 为空间网格的数目, p_i 为第 i 个空间网格里某个土壤/地貌面积占该土壤/地貌总面积的比例, 多样性指数 Y_h 为在研究区内土壤/地貌空间分布的多样性特征, 用来描述土壤/地貌分布的离散程度和多样性格局。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。

1.3.2 关联分析法

为确定地貌和土壤多样性之间的相关关系, 使用以下关联系数:

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

式中: A 和 B 分别表示地貌类型和土壤类型(土类、亚类、土属级别), $r(A, B)$ ^[21] 表示地貌类型 A 和每类土壤类型 B 之间的关联系数, $Y_h(A)$ 和 $Y_h(B)$ 分别表示地貌和土壤的空间分布多样性指数, 应用式(1)进行计算, $Y_h(A, B)$ 表示地貌类型 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:

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

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

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

式中: $p_{(i,j)}$ 为联合分布概率, 表示第 i 个空间网格里地貌类型 A 和第 j 个空间网格里土壤类型 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貌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貌和土壤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 结果与分析

2.1 地貌分类结果

河南省地貌分类等级情况见表 1, 一级地貌有 3 个, 二级地貌有 12 个, 三级地貌有 37 个。且流水地貌内包含 6 个二级地貌、23 个三级地貌, 黄土地貌内包含 3 个二级地貌、7 个三级地貌, 岩溶地貌内包含 3 个二级地貌、7 个三级地貌。

河南省的地貌类型分布情况见图 1, 由该图可知: 一级地貌类型中以流水地貌为主, 且在河南省内几乎均有分布; 岩溶地貌主要集中分布在西北部和西南部; 黄土地貌主要分布在西部。二级地貌分布状况以冲积平原为主, 主要分布在中东部; 侵蚀剥蚀中山集中分布在西部; 洪积平原主要分布在西南部, 北部也有少许分布; 侵蚀剥蚀低山从东南部延伸到中西部。三级地貌分布中泛滥平坦地有较多分布, 低缓平原集中分布在东南部, 河谷平原主要分布在南阳盆地和黄河西段的南北部。

表 1 河南省地貌类型等级系统
Table 1 Geomorphic type system of Henan Province

一级地貌	二级地貌	三级地貌	一级地貌	二级地貌	三级地貌
流水地貌	侵蚀剥蚀中山	大起伏中山 中起伏中山	流水地貌	冲积平原	砂丘砂地 砂岗砂地
	侵蚀剥蚀低山	中起伏低山 小起伏低山			河谷平原 自然堤
	侵蚀剥蚀丘陵	高丘陵 低丘陵			低缓平原
	侵蚀剥蚀台地	基岩高台地 基岩低台地 早期堆积台地	黄土地貌	黄土覆盖的中山 黄土覆盖的低山	中起伏中山 中起伏低山 小起伏低山
洪积(山麓冲积)平原		洪积扇 起伏的洪积平原 倾斜的洪积平原		黄土台地丘陵	黄土塬 黄土平梁 黄土丘陵
	冲积平原	决口扇 洼地 黄河滩地 故河道高地 岗地 泛滥平坦地	岩溶地貌	溶蚀侵蚀中山 溶蚀侵蚀低山 溶蚀侵蚀丘陵	大起伏中山 中起伏中山 小起伏低山 高丘陵 低丘陵 残丘

2.2 土壤类型及空间分布

河南省土类、亚类和土属图见图 2 ,其中土类 15 个 ,亚类 39 个 ,土属 138 个 ,空间分布特征大致为 : 土类级别以潮土、褐土和黄褐土为主 ,分别集中分布在河南省的东部、西部和南部。此外 ,砂姜黑土有两个主要的分布区域 ,西南部的分布主要沿条带状的潮土形成 ,这与河流的冲积作用有关 ,东部偏南的位置也有分布。水稻土主要分布在东南部 ,位于信阳市境内 ; 亚类级别以分布在东部的潮土、西南部的黄褐土及西部的中性粗骨土和褐土性土为主 ,砂姜黑土也有较大面积的分布 ; 土属级别中以潮土、黄沙黄褐土和麻砂质粗骨土为主 ,分别分布在河南省的东部、中南部和西部。

2.3 地貌、土壤构成组分多样性和分支率

图 3 是河南省地貌和土壤分类的构成组分多样性 ,由该图可知 : 随着地貌等级从一级地貌、二级地貌到三级地貌 ,其分类数量和构成组分多样性值均处于上升趋势且变化幅度较大(从 0.38 到 0.81) ,这说明随着不同等级分类变细 ,地貌从明显的区域性分布变为趋于均匀分布。河南省土壤构成组分多样性随着分类级别从土类、亚类到土属 ,其数量和多样性值均呈上升趋势 ,说明土壤所有分

类单元在数量构成上的均匀程度越来越高 ,且最小值为 0.74 ,这说明河南省土壤分布整体较均匀。从总体上看 ,土壤类型的个数整体大于地貌类型的个数 ,土壤构成组分多样性值与地貌构成组分多样性值相比也是如此。

从表 2 可以看出 ,两要素分类系统中土壤的分支率较地貌分支率有较大范围的变化 ,分类等级中有更丰富的分支 ,也有较为单一的分支 ,且土壤分类较地貌分类有更详细的分类体系。在地貌分支率中 ,流水地貌的分支较黄土和岩溶地貌来说较为丰富。

2.4 地貌空间分布多样性

表 3、4 和 5 分别是河南省一级地貌、二级地貌和三级地貌的空间分布多样性 ,3 个表均按照空间分布多样性值由大到小排序。

由表 3 可知 : 河南省一级地貌分类中的优势地貌是流水地貌 ,其空间分布多样性值、面积值和图斑个数均最大 ,且空间分布离散性值高达 0.99 ,这说明其空间分布极为均匀 ,从图 1 也可以直观看出。其次 ,地貌空间分布多样性值次高的是黄土地貌 ,其面积和多样性值与流水地貌相比差距较大 ,分布在西部。此外 ,黄土地貌和岩溶地貌在面积总量上有一定差别 ,但二者的空间分布离散性值较为接近。

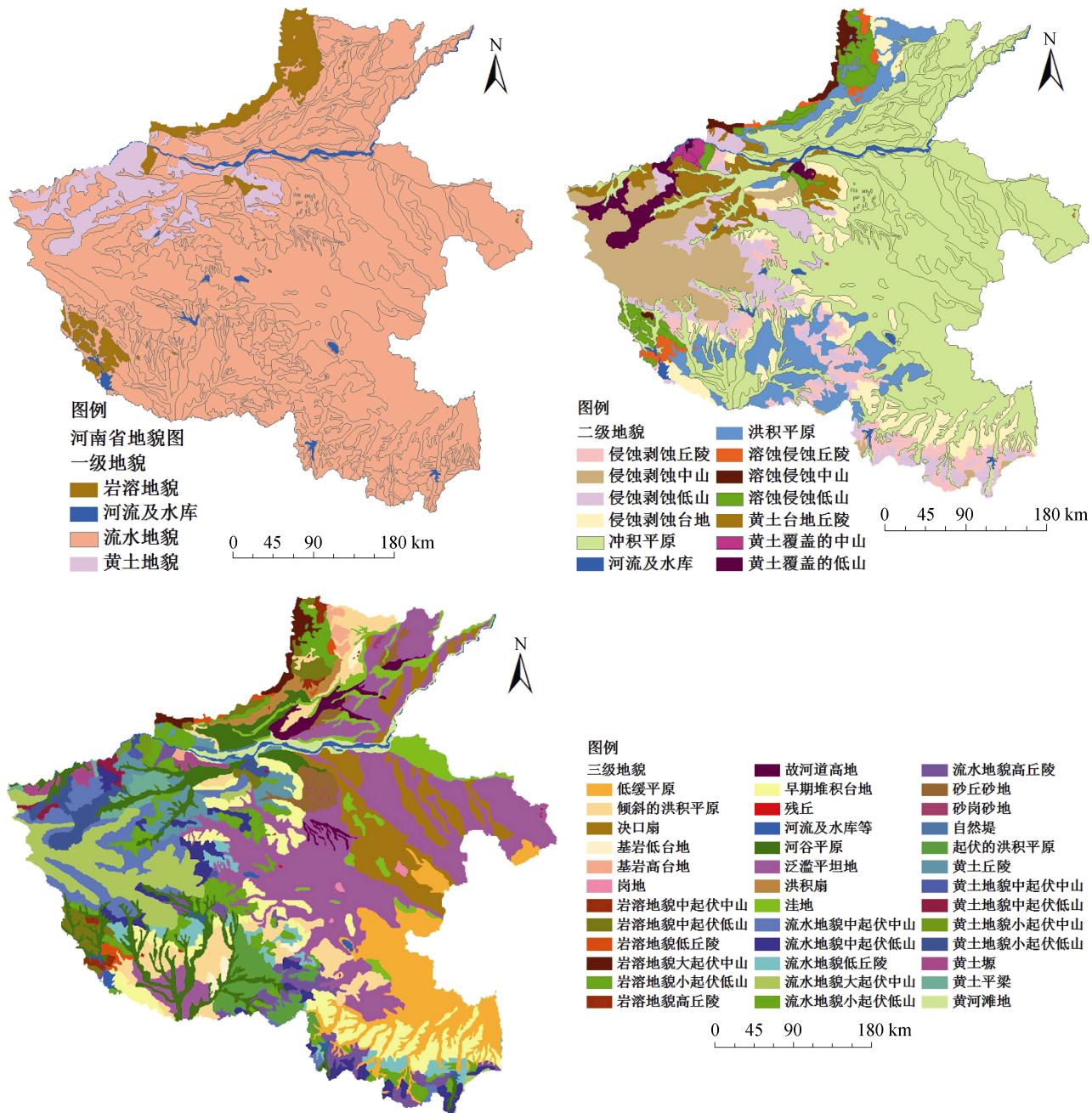


图 1 河南省一级、二级和三级地貌图
Fig. 1 Geomorphic type map of Henan Province

由表 4 知：冲积平原的空间分布离散性值最高(0.94)、面积最大($85\ 269.11\ km^2$)，且图斑个数最多，是二级地貌分类中的优势地貌；12 个二级地貌中多样性值由大到小排序后前 6 个类型均属于流水地貌，这也在一定程度上说明了流水地貌与各自然要素有着更多的发生学影响与联系；黄土覆盖的中山其空间分布离散性最低(0.45)，且面积最小($630.79\ km^2$)，是二级地貌分类中的稀有地貌类型。

由表 5 可以看出：泛滥平坦地(所属二级地貌

为冲积平原)空间分布离散性值最高(0.86)，面积最大($35\ 665.91\ km^2$)，是三级地貌分类中的优势地貌类型；岩溶地貌中的中起伏中山(所属二级地貌是溶蚀侵蚀中山)多样性值最低(0.26)，且面积最小($84.97\ km^2$)，是该分类中的稀有地貌类型；37 个二级地貌中多样性值由大到小排序后前 12 个类型均属于流水地貌。

综上，流水地貌分布占主导优势，该地貌类型对于土壤的发育和形成有一定程度的影响。

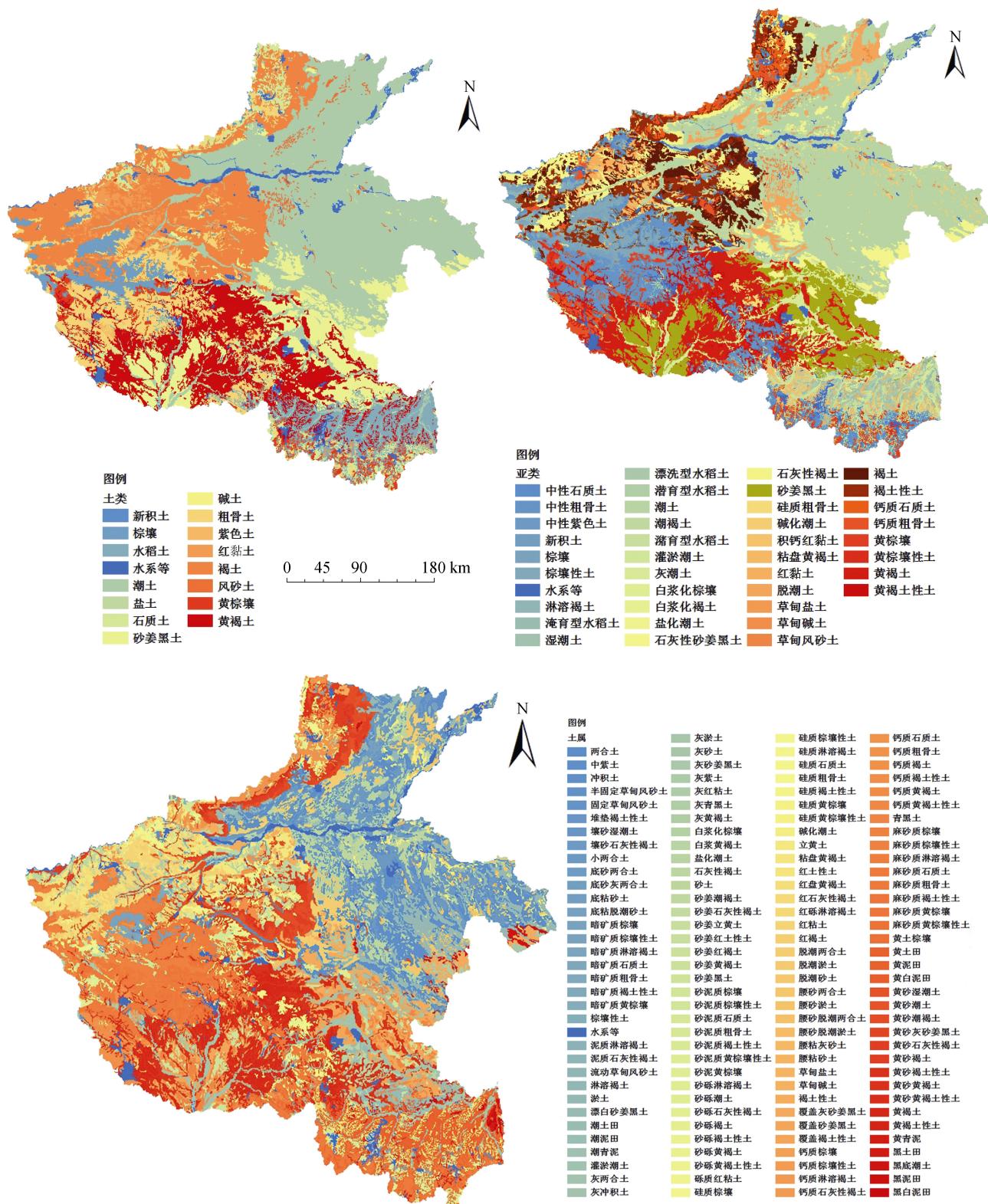


图 2 河南省土类、亚类和土属图

Fig. 2 Maps of soil group, subgroup and families of Henan Province

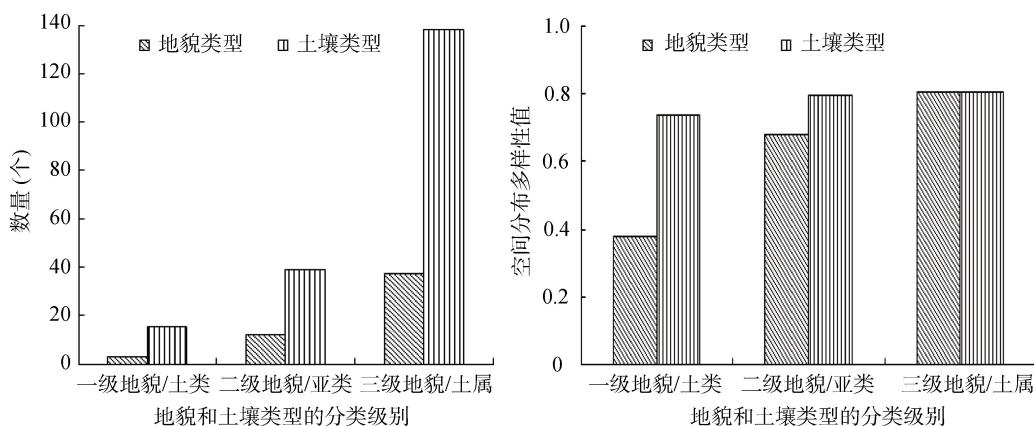


图3 河南省地貌和土壤分类构成组分多样性
Fig. 3 Diversities of geomorphology and soil composition of Henan Province

表2 河南省土壤和地貌分类的分支率
Table 2 Bifurcation ratios(BR) for soil and geomorphic classification systems in Henan province

数据集	N_1/N_2	N_2/N_3	N_3/N_4	数据集	N_1/N_2	N_2/N_3	N_3/N_4
整个土壤系统分类	3.54	2.60	15.00	整个地貌系统分类	3.08	4.00	3.00
潮土	4.00	7.00		流水地貌	3.83	6.00	
粗骨土	1.67	3.00		黄土地貌	2.33	3.00	
风砂土	3.00	1.00		岩溶地貌	2.33	3.00	
褐土	7.40	5.00					
红黏土	1.50	2.00					
黄褐土	3.25	4.00					
黄棕壤	3.50	2.00					
碱土	1.00	1.00					
砂姜黑土	4.00	2.00					
石质土	2.50	2.00					
水稻土	2.50	4.00					
新积土	2.00	1.00					
盐土	1.00	1.00					
紫色土	2.00	1.00					
棕壤	4.33	3.00					

注：分支率 $BR = N_i/N_{i+1}$ ， N_i 表示土属或三级地貌， N_2 表示亚类或二级地貌； N_3 表示土类或一级地貌； N_4 表示整个土壤/地貌系统分类。

表3 河南省一级地貌空间分布多样性
Table 3 Diversity of 1st level landform in the study area

地貌	Y_h	面积(km ²)	图斑个数
流水地貌	0.99	145 449.63	369
黄土地貌	0.73	10 161.28	38
岩溶地貌	0.70	7 703.42	47

2.5 地貌和土壤空间分布多样性的关联性

利用式(3)和(4)分别计算地貌和土壤的空间分布多样性，利用式(5)计算一级地貌和土类、亚类和土属公共斑块的空间分布多样性，并用式(2)对二者的关联系数进行计算(表6和表7)，探索地貌和土壤在空间分布上的交互关系。关联系数越大说明地貌和土壤之间的关系越复杂，在空间上的重叠程度越高，反之越低。

表4 河南省二级地貌空间分布多样性

Table 4 Diversity of 2nd level landform in the study area

地貌	Y_h	面积(km ²)	图斑个数
冲积平原	0.94	85 269.11	137
侵蚀剥蚀中山	0.77	15 979.35	20
洪积平原	0.77	13 934.77	39
侵蚀剥蚀台地	0.76	12 033.98	54
侵蚀剥蚀低山	0.75	11 055.11	69
侵蚀剥蚀丘陵	0.71	7 177.31	50
黄土台地丘陵	0.69	6 347.64	28
溶蚀侵蚀低山	0.66	4 696.20	18
黄土覆盖的低山	0.62	3 182.86	7
溶蚀侵蚀丘陵	0.56	1 503.89	26
溶蚀侵蚀中山	0.55	1 503.34	3
黄土覆盖的中山	0.45	630.79	3

表 5 河南省三级地貌空间分布多样性
Table 5 Diversity of 3rd level landform in the study area

地貌	Y_h	面积(km ²)	图斑个数	地貌	Y_h	面积(km ²)	图斑个数
泛滥平原地	0.86	35 665.91	33	砂丘砂地	0.59	2 372.28	5
河谷平原	0.76	11 491.83	15	岩溶地貌小起伏低山	0.58	2 132.55	6
低缓平原	0.76	13 745.84	8	岩溶地貌大起伏中山	0.54	1 418.37	2
早期堆积台地	0.74	10 507.64	45	黄土平梁	0.54	1 407.86	6
决口扇	0.74	11 219.22	16	洪积扇	0.54	1 395.89	2
倾斜的洪积平原	0.72	8 807.97	27	黄土塬	0.52	1 186.39	5
流水地貌大起伏中山	0.72	9 272.95	6	岩溶地貌低丘陵	0.49	775.84	6
流水地貌小起伏低山	0.70	6 944.37	46	基岩高台地	0.48	783.53	4
洼地	0.70	6 111.31	21	基岩低台地	0.48	742.81	5
流水地貌中起伏中山	0.69	6 706.40	14	岩溶地貌高丘陵	0.46	640.05	6
流水地貌中起伏低山	0.65	4 110.75	23	黄土地貌中起伏低山	0.46	575.31	3
流水地貌高丘陵	0.65	3 792.12	22	黄土地貌小起伏中山	0.43	493.31	2
黄土丘陵	0.64	3 753.38	17	砂岗砂地	0.40	170.13	21
流水地貌低丘陵	0.64	3 385.20	28	自然堤	0.37	220.21	3
起伏的洪积平原	0.63	3 730.91	10	岗地	0.36	216.01	3
岩溶地貌中起伏低山	0.60	2 563.65	12	残丘	0.36	87.99	14
黄河滩地	0.60	1 930.11	5	黄土地貌中起伏中山	0.30	137.48	1
黄土地貌小起伏低山	0.60	2 607.55	4	岩溶地貌中起伏中山	0.26	84.97	1
故河道高地	0.59	2 126.26	7				

表 6 不同土类与一级地貌分类的相关系数
Table 6 Correlation coefficients between 1st level landforms and soil groups

土类	一级地貌		
	黄土地貌	流水地貌	岩溶地貌
新积土	0.14	0.62	0.17
棕壤	0.54	0.81	0.48
水稻土	-	0.87	-
潮土	0.46	0.95	0.42
盐土	-	0.40	-
石质土	0.64	0.79	0.86
砂姜黑土	0.25	0.89	0.26
碱土	-	0.57	-
粗骨土	0.64	0.88	0.81
紫色土	0.46	0.69	0.50
红黏土	0.86	0.74	0.63
褐土	0.91	0.88	0.83
风砂土	0.21	0.76	-
黄棕壤	0.21	0.81	0.43
黄褐土	-	0.91	0.68

从表 6 可以看出：所有土类与流水地貌均相关，且有 93% 的关联系数大于 0.6，这说明二者发生关系复杂且有紧密联系。其中，相关性最强的是潮土(0.95)，表明流水地貌更适宜潮土的发育；相关性最弱的是盐土(0.40)，但盐土仅分布在流水地貌上，黄土地貌和岩溶地貌上均无该土类。此外，碱土(0.57)和水稻土(0.87)也是仅分布在流水地貌上的土壤类型，与一级地貌中的其他类型不相关。15 个土类中与黄土地貌、岩溶地貌相关的类型均有 11 个，相关性最强的分别是褐土(0.91)和石质土(0.86)，相关性最弱的分别是新积土(0.14)和新积土(0.17)。除水稻土、盐土、碱土、风砂土和黄褐土外，其他土类与一级地貌、二级地貌和三级地貌均相关，且 70% 的土类与流水地貌的相关性最强。

考虑到亚类与一级地貌和土属与一级地貌的相关系数计算数据量大、表格内容过多，故对其相关系数的情况进行整理与归纳，结果见表 7。由表 7 可知：39 个亚类与不同一级地貌分类的相关性中，流水地貌与所有亚类均相关，且相关系数在 0.5~0.8 之间的

表 7 不同亚类、土属与一级地貌分类间的相关性
Table 7 Correlation coefficients between 1st level landforms and soil subgroups, families

因子	相关				不相关	强相关	弱相关
	0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.8	0.8 ~ 1.0	总计			
黄土地貌-亚类	12	6	4	22	17	石灰性褐土(0.89)	脱潮土(0.08)
流水地貌-亚类	2	29	8	39	0	潮土(0.94)	草甸盐土(0.08)
岩溶地貌-亚类	11	10	3	24	15	钙质石质土(0.90)	碱化潮土(0.09)
黄土地貌-土属	41	17	4	62	76	石灰性褐土和红土性土(0.86)	固定草甸风砂土(0.02)
流水地貌-土属	37	88	10	135	3	两合土(0.89)	钙质褐土(0.08)
岩溶地貌-土属	45	19	3	67	71	钙质石质土(0.90)	冲积土(0.01)

注：表中括号内数据为相关系数。

居多，占总相关系数的 74%；56% 的亚类与黄土地貌相关，且在所有相关的系数中，其值在 0 ~ 0.5 之间的居多；62% 的亚类与岩溶地貌相关。138 个土属与不同的一级地貌分类中，99% 的土属与流水地貌相关，且相关性值在 0.5 ~ 0.8 之间的居多；45% 土属与黄土地貌相关，相关性值多在 0 ~ 0.5 之间；49% 的土属与岩溶地貌相关。

综合分析表 6 和表 7 可知：与黄土地貌相关性最强的土类、亚类和土属分别是褐土、石灰性褐土和红土性土，相关性最弱的分别是新积土、脱潮土和固定草甸风砂土。在暖温带半湿润的山地和丘陵地区，干、湿、冷、暖交替的气候条件为褐土形成中土体物质的分解及上下运行提供了条件。由于褐土发育的地貌和母质母岩较为复杂，在黄土质低山、洪积扇的中上部和丘陵的塬头分布有碳酸盐褐土又称石灰性褐土。石灰性褐土上层为黄色，下层为红色，若受外力作用影响后红色物质裸露在外则形成红土性土。相关性较弱的土壤类型在黄土地貌上有零星分布。与流水地貌相关性最强的土类、亚类和土属分别是潮土、潮土和两合土，相关性最弱的分别是盐土、草甸盐土和钙质褐土。潮土和两合土主要发育在河流沉积母质上，河南省分布有黄河、淮河和卫河等河流，该冲积区域内沉积物质深厚，地下水位埋深在 3 m 左右，地势开阔平坦，比降小，在暖温带和亚热带半湿润生物气候条件下，受区域性水文地质、成土母质、人类开垦和耕作等因素综合作用而形成的。但同时潮土的分布受地貌格局的影响，在大面积的潮土分布区域内，在地势低洼的较干旱区域，地下水位埋深浅，则可能形成盐土和碱土，多以斑块状或条带状间插其中，而钙质褐土在流水地貌区域内有零星分布。与岩溶地貌相关性最强的土类、亚类和土属分别是石质土、钙

质石质土和钙质石质土，相关性最弱的分别是新积土、碱化潮土和冲积土。石质土是以各种类型的岩石为母岩，进行初期发育的始成土类。由于植被稀少，水土流失严重，土体中未有物质的淋溶与沉淀，土层薄，在河南省不同石质山地均可见到。其中，在石灰岩为主的岩石风化母质上形成了钙质石质土，其土层仅有 10 cm 左右，含大量的砾石，其下的基岩为石灰岩类，不少面积为裸岩，土体有石灰反应。相关性较弱的土壤类型在岩溶地貌上有零星的分布。

综上，地貌和土壤空间分布多样性之间存在紧密的相关关系，且流水地貌与土壤多样性间的关系最为紧密。

3 结论

河南省有 3 个一级地貌、12 个二级地貌和 37 个三级地貌类型，土壤类型有 15 个土类、39 个亚类和 138 个土属。不同级别的优势地貌类型分别为流水地貌、冲积平原和泛滥平坦地，其空间分布多样性和面积值在同等级的分类中均为最大值。随着地貌和土壤分类等级细化，其分类个数和构成组分多样性值呈上升趋势，即所有分类单元在数量构成上的均匀程度越来越高，且两个分类系统中，与地貌分类系统相比，土壤分类是更详细的分类体系，且分支率变化范围较大。

流水地貌与 15 个土类和 39 个亚类均相关，相关性最强的土类为潮土，这说明该地貌类型适宜潮土的发育和形成，且 99% 的土属也与流水地貌相关。15 个土类中与黄土地貌、岩溶地貌相关的均有 11 个，相关性最强的分别是褐土(0.91)和石质土(0.86)；亚类中有 56% 以上的类型与黄土地貌和岩溶地貌相关，且相关系数在 0 ~ 0.5 之间的居多；45% 以上的土属与

黄土地貌和岩溶地貌相关。

综上，地貌和土壤多样性间关系密切，尤以流水地貌与土类、亚类和土属多样性之间的相关性最强。

参考文献：

- [1] Zinck J Al, Metternicht G, Del Valle H F. Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies[M]. Springer, 2016: 1–556
- [2] Ibáñez J J, Jiménez-Ballesta R, García-Álvarez A. Soil landscapes and drainage basins in Mediterranean mountain areas[J]. Catena, 1990, 17: 573–583
- [3] Ibáñez J J, De-Alba S, Bermúdez F F, et al. Pedodiversity: Concepts and measures[J]. Catena, 1995, 24: 215–232
- [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] 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[J]. 地球科学进展, 2014, 29(9): 995–1 002
- [6] 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
- [7] 龚子同, 陈鸿昭, 张甘霖. 寂静的土壤[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 1–133
- [8] 任圆圆, 张学雷. 从土壤多样性到地多样性的研究进展[J]. 土壤, 2018, 50(2): 225–230
- [9] 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]. 地理科学, 2013, 33(2): 195–202
- [10] 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[J]. 水科学进展, 2012, 23(5): 635–641
- [11] 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[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2812–2820
- [12] 段金龙, 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
- [13] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004
- [14] Pavlopoulos K, Evelpidou N, Vassilopoulos A. Mapping geomorphological environment[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2009: 5–47
- [15] Toomanian N A, Jalalian H, Khademi M K, et al. Pedodiversity and pedogeogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran[J]. Geomorphology, 2006, 81: 376–393
- [16] 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[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 85–89
- [17] 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
- [18] 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[J]. 土壤通报, 2017, 48(1): 22–31
- [19] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy[OL]. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>, (2009-05-19)
- [20] 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
- [21] 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]. 地理科学, 2013, 33(2): 195–202

Multi-class Geomorphic Diversity and Its Relationship with Pedodiversity in Henan Province

REN Yuanyuan^{1,2}, ZHANG Xuelei^{1*}

(1 School of Hydraulic and Environmental Engineering, Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2 Social Development Research Center of Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The development from pedodiversity to geodiversity conforms to the trend of soil geography research. Henan Province was selected for applying modified Shannon entropy equation to the geomorphic types as the main geological factor added to the soils in the study of diversity. Multi-class geomorphic spatial diversity and its correlation with soil diversity were discussed. Firstly, the 1 : 1 750 000 landscape type map was vectorized to get the geomorphic type system of Henan Province. Then, geomorphic and soil composition diversity and bifurcation ratios(BR) are calculated for soil and geomorphic classification systems. Lastly, the correlation between geomorphic diversity and pedodiversity at a resolution of 1 km × 1 km is discussed. Results showed that the richness of 1st , 2nd and 3rd level landform are numbered from 3, 12 to 37. As soil and geomorphic classification levels are getting finer and the classification number and form composition diversity values are accordingly on the rise trend. That is to say, soil and geomorphic tyeps are both growing higher either in richness number or diversity values. Soil classification is a more detailed classification system than geomorphic classification system with its larger range change of the bifurcation ratios. The largest spatial distribution and area of 1st level landform are water flowing plain , 2nd level landform alluvial and 3rd level landform flood plain, dominating types respectively to the different levels. Between 1st level landform and soil group, soil subgroup and soil family there exists the closest tie while the correlation between landform water flowing plain and diversity of soil group is the strongest.

Key words: Geomorphic; Pedodiversity; Henan Province; Shannon entropy; Relationship