

从土壤多样性到地多样性的研究进展^①

任圆圆^{1,2}, 张学雷^{1,2*}

(1 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001; 2 郑州大学自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001)

摘要: 根据 2016 年出版新著《地土壤学(Geopedology)》部分章节与相关文献, 综述了从土壤多样性到地多样性的相关概念、国内外研究方法、现状与进展, 着重总结了土壤多样性和地多样性的研究模式。首先, 介绍了从土壤多样性到地多样性概念的发展和提出; 然后, 阐述依据地学要素形态从面状到线状的方法论研究探索, 着重介绍空间分布面积指数(MSHDAI)和空间分布长度指数(MSHDLI)的适用性分析; 进而, 评述了国内外土壤多样性与主要地学要素(地形、母质、土地利用、水体和植被要素)地多样性的主要研究模式; 最后, 指出从土壤多样性到地多样性以及各要素间相关分析的国内外研究实践看, 符合土壤地理学的研究趋势与需求, 同时也充满挑战。

关键词: 土壤多样性; 地多样性; 地学要素; 研究模式; 现状与挑战

中图分类号: S154 **文献标识码:** A

自然资源各要素或者地学要素皆随着空间和时间而有所变异和动态演化。纵观几个世纪的历史, 自然科学家观察到在忽略这些研究对象性质的情况下, 某些景观具有更高的异质性(如生物物种、岩石、地形和土壤等)^[1]。土壤作为自然资源最重要的要素之一, 从地球系统观点看, 土壤是地球的皮肤, 是一个历史自然综合体; 从生态学角度剖析, 它是生态系统的枢纽, 也是受人类智慧和劳动影响的人工生态系统^[2]。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, 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^[3]。

20 世纪 90 年代初期, Ibáñez 等^[4-5]运用由生态学家发展而来的数学工具去研究土壤多样性并建立了一个全新的术语“pedodiversity”, 随后陆续发表了一些解释分析土壤多样性主要测度方法的文章, 从此真正开启了土壤多样性理论方法的探索。之后, 土壤多样性很快被引入到中国并一直在研究之中, 并取得了一定的研究成果^[6]。在国内外的相关研究中, 一般使用经典的和改进的仙农熵公式(Shannon entropy)探索多样性的格局及关联性。继 2013 年 4 月美国 CRC 出版的专著《土壤多样性(Pedodiversity)》之后, 2016 年德国斯普林格(Springer-Verlag)国际出版社新出专

著《地土壤学(Geopedology)》^[3], 邀请世界上有关领域代表性国家的学者, 结合地形地貌学和土壤学对土壤和景观进行研究, 目的是为了探索一种可能性, 加入土壤、地质地貌类别和生物群落用一个综合的和全面的方法去描述地表系统的结构和多样性。该书包含前言和 5 大部分(33 个章节), 涵盖了诸多学科领域包括地土壤学的基础知识、测度技术与方法以及在土地退化和土地利用规划方面的应用。这些学科领域由针对不同地学要素及有关内容的作者撰写且互相补充与关联。书中, 荷兰 J.A. Zinck 主要介绍了地土壤学的基础知识、与土壤及地形的关系、重点和目标、在土壤景观中的地位; 墨西哥 N. Barrera-Bassols 和西班牙 Juan José Ibáñez 等提出了用不同的方法来建立和分析土壤和景观多样性在空间和时间上的关系; 阿根廷 C. Angueira 和 D. J. Bedendo 等旨在处理土壤模式识别和制图的不同空间模型技术、土壤属性特点和土壤环境风险管理的相关性; 墨西哥 G. Bocco 和哥伦比亚 H. J. López Salgado 等致力于运用地貌和土壤分析结合空间分析模型和地球观测信息进行土地退化和地质灾害研究; 西班牙 P. Escribano 和委内瑞拉 P. García Montero 等主要研究了土地利用规划和土地分区问题。从该书的结构和分章内容可以看出, 土壤学研究已经开始从土壤本身向诸多地学要素综合及

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571208)资助。

* 通讯作者(zxlzsu@zzu.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

相关性分析扩展,土壤多样性研究也从中得到启迪,从单一土壤要素的多样性分析向着影响土壤发生和演变的其他地学要素,如地形、土地利用、水体、气候、母质和植被等之间多样性格局的关联分析与研究扩展,似乎可以确认如此学术思路的提升将从本质上改变传统土壤学、土壤多样性研究的模式,为更全面探索从土壤多样性到地多样性或者自然资源多样性的演化和生态可持续发展提供新的理论基础和研究方法。

1 从土壤多样性到地多样性概念的提出

多样性起源并最先应用在生态学领域^[7],在环境调查的很多方面,多样性的概念是最基本的。对其概念的阐述具有代表性的是 Huston^[8], Magurran^[9] 和 Ibáñez 等^[4,10],认为多样性在本质上有 3 个组成部分:

分类单元多样性(丰富度); 个体在分类单元内的分布方式(均匀度); 尝试用单一的值把和都包含的多样性指数。此外,丰富度分布模型提供了最适合观察对象的模式,比如等比数列、对数分布、对数正态系列、幂定律和丰度分布模型等。

土壤多样性受生物多样性的启发而建立^[6],尽管生物多样性研究已经被公认为是生态学领域的主要课题之一,且在过去的 60 多年内有大量的生物学著作和文献。但关于土壤多样性,第一个尝试在特定研究区分析土壤多样性的土壤学家是 Fridland^[11],遗憾的是其提议并没有得到重视且未得到其本人的深入报道。之后,Ibáñez 等^[4]引入数学方法(丰富度、仙农多样性指数、仙农均匀度)来研究空间土壤分布格局的多样性,对土壤多样性的研究兴趣才被唤醒。从土壤多样性研究至今,在国际间已经取得很大的进展,2013 年美国 CRC 出版著作《Pedodiversity》^[10],总结了土壤多样性的研究进展、发展与应用及前景与挑战。土壤多样性在 20 世纪 90 年代初在西班牙兴起之后,很快也被引入到中国^[12-14],早期涉及的主要内容有城市化对土壤多样性的影响^[15]、用经典的仙农熵指数对土壤多样性进行研究^[16]、土壤分类系统和生物分类系统的对比研究^[17]。而后,对土壤与土地利用^[18]、土壤与地表水体^[19]、土壤与景观指数的多样性^[20]等进行研究。目前,将生态学领域的空间粒度^[21]、空间分布长度指数(MSHDLI)^[22]引入到土壤多样性的研究中,且将土壤与更多的地学要素(地形、水体、母质、植被等)相结合来研究其特征和相关性。目前,土壤多样性的相关研究内容已经成为 21 世纪以来土壤地理学较为前沿性的研究内容之一^[23,12]。

1992 年里约峰会之后,以及后来由 Wilson 和 Peter^[24] 提议建立的新词汇“生物多样性(biodiversity)”在公众舆论形成影响后,澳大利亚土壤学家 McBratney^[25]建议使用新词“pedodiversity”,另一位澳大利亚地质学家 Sharples^[26]提出了“地多样性(geodiversity)”的概念。根据 Gray^[27]地多样性被定义如下:“地质的(岩石,矿物,化石),地貌的(地形,演化进程)和土壤性状的自然范围,它包含自身的组成、关系、性质和体系”,需要说明的是,地多样性中的“地”(geo)最初指地质地貌,但目前国内外的研究实践已经将范围扩展到与土壤发生密切相关的地学要素,包括地质地貌、地形、母质、水体和植被等。但是,尚未提出任何的指数或数学方法去量化在特定时间内多于一种自然资源要素的多样性。一定程度上,是由于缺乏国际间普遍的分类系统(universal classifications),这种分类结构的缺失妨碍了进行比较性的研究以便探索不同环境下的空间模式规律和定律。即使单独分析各个地学要素多样性,也较为容易地联想到这些要素之间发生上的联系,将彼此多样性格局进行关联分析与研究仍提供了新的角度来认识土壤及其影响要素多样性关系的机理,并展现出良好的前景。

2 从土壤多样性到地多样性的方法论研究

根据地学要素性状特征的不同,选取不同的改进型仙农熵指数来表达。在评价研究对象为土壤、地形、母质等面状要素时,测度方法使用空间分布面积指数 Y_h ,地表水体(河流)等线状要素使用空间分布长度指数(MSHDLI)。

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

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

式中: S 和 p_i 定义为:①表土壤、地形、母质构成组分多样性时: S 为土壤、地形、母质个数, p_i 为第 i 个土壤、地形、母质占该土壤、地形、母质总面积的比例。在这里,多样性指数 Y_h 表示在研究区内所有分类单元在数量构成上的均匀程度^[28],这时 Y_h 形同 Pielou 均匀度指数^[14];②表土壤、地形、母质空间分布多样性时: S 为空间网格的数目, p_i 为第 i 个空间网格里某个土壤、地形、母质面积占该土壤、地形、母质总面积的比例,多样性指数 Y_h 为在研究区内土壤、地形、母质空间分布的多样性特征,用来描述土

壤、地形、母质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。

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

$$I_L = \frac{-\sum_{i=1}^S L_i \ln L_i}{\ln S} \quad (2)$$

式中: I_L 为地表水体空间分布长度指数^[21], 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 个网格里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。

3 从土壤多样性到地多样性的研究模式

土壤是陆地生态系统的重要组成部分, 在历史上被看作是政府和私人利益的经济资源, 随着人们逐渐增长的关于土壤在全球生物化学和生态学上的作用而开始受到重视。2003 年美国加州大学伯克利分校的 Ronald Amundson^[29]及课题组相关成员研究了官方公布的 1.3 万个土系的相关信息, 根据多样性测度方法计算后得出结论: 有 4 500 余种“稀有土壤”, 其通常是独一无二的生物气候、地质地形及生态系统相互作用的产物。此外, 基于美国土壤地理数据库 (STATSGO) 探索了土壤多样性的量化特征, 研究指出美国的地方性土壤应当被重点保护, 这对整个生态系统的保护是有益的^[30]。土壤具有遗传特性并且可以按照它们的“文化价值”进行分类。土壤遗产, 类似地质遗产, 对于旅游业和娱乐业来说具有重要的科学和教育意义, 为环境影响分析提供了基础。在土地规划中应当评价并考虑到土壤遗产的丰富度和多样性, 其有利于延续和平衡特殊生态系统的土壤景观^[31]。

之前, Petersen 等^[32], Williams 和 Houseman^[33]以及 Ibáñez 和 Feoli^[34]有关土壤多样性和生物多样性间的对比分析引起人们关注。Ibáñez^[1]指出生物多样性和土壤多样性通常呈正相关关系, 并且有相似的空间模式。国内, 张学雷等^[17]利用中国土壤分类系统与生物系统分类进行对比, 结果表明二者具有很高的相似性, 主要表现在数学结构和多样性特征上。土壤多样性与其他地学要素或自然资源要素多样性间关系的研究, 包括土壤多样性与生物多样性、土地覆

盖多样性、水体多样性、气候多样性、地形多样性和岩性多样性(lithological diversity)也陆续有一些报道。

3.1 土壤多样性与地形

关于地形地貌学和土壤学之间的基本关系众所周知: 地形演变进程和已形成的地形类别促进了土壤的形成和分布, 反过来, 土壤的发展对地貌景观的演变有影响。然而, 尽管两大学科之间更密切的结合是一个明确的趋势, 现有的文献很少能够提供一些关于如何真正将土壤和地形相结合或综合分析的结论。

土壤空间变异性一直被看作是理解生态模式的一个关键问题。Ibáñez 等^[35]和 Parsons^[36]指出土壤是主要的非生物生境异质性构成组分之一, 反映一些环境因素的影响, 地形作为景观要素, 其数据应该得到重视并分析。Ibáñez 等^[4-5, 37]研究的文献中土壤和地形多样性均受到注意。其中, Ibáñez 等^[4]在 1: 20 000 比例尺尺度下研究了西班牙中部山脉两个流域间盆地的土壤多样性-地区间的关系, 河流等级与盆地面积平均值呈正相关关系。同样地, 盆地面积-土壤丰富度间的关系符合幂律。但是, 很少有研究去分析更多要素间的关系, 如生物多样性与地形、岩性多样性与地形、生物多样性与地形之间的关系。Ibáñez 等^[38]和 Toomanian^[39]指出土壤多样性和地形多样性之间呈正相关关系, 土壤多样性和岩性多样性之间也是如此; Ibáñez 等^[5]指出地形、地质和土壤作为一种不可再生的自然资源, 其多样性的描述和量化在评估景观的生态价值时应该被考虑到。这强调了需要一个可检验的假设去论证阐述、量化和构建景观时空模型; Ibáñez 等^[4]根据生态学文献中描述的物种-面积的关系和多度分布模型(abundance distribution models)发现植物多样性、地形多样性和土壤多样性的模式有很大的相似之处, 这表明生物的和非生物构成成分的控制和结构有普遍的相似之处^[36]。此外, Pavlopoulos 等^[40]指出可用地貌地图来研究土壤-地形间的关系; Saldaña 等^[41]指出土壤和地形的平均密度是研究其空间异质性的一个可行性指标。

在国内, 檀满枝等^[42]在山东省 1: 100 万 SOTER 数据库的支持下, 运用经典的仙农熵测度方法对不同地形上的土壤类型多样性及分布模式进行研究; 张学雷等^[43]基于海南岛土壤-地形体数据库(SOTER), 对研究区不同地形上土壤发生层次、土层厚度和土壤容重等土壤性质的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数进行计算并探索分布模式; 本文作者近期尝试以地形为基础对河南省的土壤多样性格局进行分析, 并对河南省地形、土壤和地表水体多样性格局的特征及关

联分析进行研究^[44]。

因此,土壤多样性和地形地貌多样性似乎遵循类似的模式,其模式的统计随着时间和面积而增加,表明系统的复杂性在增加。实际上,生物多样性、地貌多样性和土壤多样性的模式有很大的相似之处。

3.2 土壤多样性与土地利用

城市规模的迅速扩张和城市人口的迅速增加在一定程度上破坏了全球的土壤多样性,且这种扩张带来的冲击在 50~100 a 中仍将继续,土壤多样性处于危险之中^[2,45-46]。Guo 等^[30]证明土地利用变化导致一些土系已经濒临灭绝。同样地,Lo Papa 等^[45]展示了在西西里岛过去的 53 a 间丧失的土壤多样性,并运用马尔科夫链和元胞自动机展示了引人注目的预测场景,Dazzi 等^[47]研究了农村地区农业工业化过程所引起的干扰。这些研究表明,随着城市化和工业化的发展,将有越来越多的自然土壤演变为城市土壤,在改变自然土壤类型的同时也使之丧失了固有的生产和生态功能。

Zhang 等^[46]研究了在中国经济高速发展过程中,土地利用变化对土壤多样性的影响及其产生的生态环境效应。段金龙和张学雷^[48]以南京市为例对土壤和土地利用多样性进行关联评价,并对中国中、东部典型区域的土壤与土地利用多样性的关联性进行对比研究。张学雷等^[20]对河南省中南部样区的土壤、土地利用多样性与相关景观指数的关联性进行研究。钟国敏等^[49]对郑州市的土壤多样性和土地利用多样性的关联性进行分析。

综上,将多样性的理论运用到土壤和土地利用多样性间的关联评价上是切实可行的,人类活动带来的土地利用导致一些自然土壤的消失,对土壤多样性和土地利用多样性进行研究可以了解土地利用变化带来的土壤多样性的变化及二者之间相关性的变化。

3.3 土壤多样性与水体

关于土壤和地表水体多样性间的关系,国内外也有一些研究。Ibáñez^[4,38]运用多样性指数描述西班牙一定等级体系的流域盆地中土壤地貌景观的复杂性,也用相同的方法来分析河流切割地貌的演变,指出流水下切和流域的等级化通过时间过程导致了河网的地貌单元数量增加了大约 75%,土壤丰富度增加了 51.5%。Toomanian 和 Esfandiarpoor^[50]以及 Phillips^[51]发现土壤多样性-面积关系在河流阶地的年代序列上符合指数定律。Hupp^[52]指出随着河网的不断发展,地貌单元的数量和地表植物群的丰富度间为正相关。

段金龙等^[19,53]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和河南省典型样区地表水空间分布与土壤类别多样性的关联性,文中用空间分布面积指数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。任圆圆和张学雷^[21,22]将空间粒度方法引入到地表水体多样性的研究之中,并用空间分布长度指数探讨中国中、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。

3.4 土壤多样性与植被

在自然界中,土壤和植被相互依存,且有明显的协同进化关系,植被在土壤的形成及演变过程中起着主导作用,反过来,土壤使得植被得以存活,两者之间多样性关系对于彼此发生及演化有重要的指示意义。Westhoff 和 van der Maarel^[54]指出欧洲植物地理学院把植物社会学称为是一门专注于植物群落分类的学科,它有植物社会学命名的国际编码^[55]。综合分类系统划分植物自然植被单元考虑了所有影响植物群落多样性分布的环境变量,通过把他们添加到每一种综合分类的正式命名中。比如,在生物气候学领域,综合分类方法主要考虑了基于多种多样自然植被为基础的植物群落和气候因素去发展植物景观的分类^[56]。然而,Rivas-Martínez^[57]指出地植物学学派也考虑了土壤的、地貌的和岩性的异质性特征来分类植物-土壤在景观水平层面上的关系。在综合分类系统框架中,植物群落命名包括术语比如 climatophilous 气候群落(只取决于气候因素的植物群落),喜碱性群落(指生长在富含盐基营养成分、偏碱性土壤类别上的植物群落);硅质群落(指生长在营养成分贫乏、偏酸性土壤类别上的植物群落),另外还有与富含钙质土壤类别密切相关的喜钙性群落。总之,这些多因素中主要是气候,也包含土壤的、地貌的和岩性的,它们之间的多样性关系密切而有意义。在国内,段金龙等^[7]将多样性理论应用于区域热环境的空间离散性评价中,通过多样性的研究方法,将一定区域内地表水体、归一化植被指数和地表温度等要素结合起来,研究表明高的植被覆盖度往往伴随着较低的地表温度,更高的地表水体或植被覆盖空间分布多样性则意味着更好的环境质量。

4 结语

将地形、土地利用、水体和植被等地学要素加入到土壤多样性的研究中,有利于更深入地了解土壤多样性的格局和空间离散性分布及其成因。继土壤多样性研究实践以来,如何把握从土壤多样性到地多样性的研究跨越,并将它们之间的发生机理有机结合,具有

很大的应用前景和研究空间,从国内外研究实践来看也符合土壤地理学的研究趋势,尽管存在挑战性。一方面,土壤的变异是一个自然过程主导的,但土壤分类是人为定义的系统,对于地学的诸多自然要素,通过多样性各种指数的计算,能否把分类系统(人为刻画)和土壤变异(自然主导)两者区分开来分别研究土壤多样性与地多样性间的关系?另一方面,地多样性包含较多的自然要素,如何更好地整合土壤多样性与它们的关系,并将研究成果应用到社会发展、生态系统的可持续性等方面还都有待探索。

参考文献：

- [1] Ibáñez J J. Diversity of soils // Warf B. ed. Oxford bibliographies in geography (article online)[M]. New York: Oxford University Press, 2014
- [2] 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
- [3] Zinck J A, Metternicht G, Valle H F D. Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies[M]. Springer, 2016: 1-556
- [4] Ibáñez J J, Jiménez-Ballesta R, García-Álvarez A. Soil landscapes and drainage basins in Mediterranean mountain areas[J]. Catena, 1990, 17: 573-583
- [5] Ibáñez J J, De-Alba S, Bermúdez F F, et al. Pedodiversity: Concepts and measures[J]. Catena, 1995, 24: 215-232
- [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] 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
- [8] Huston M A. Biological diversity: The coexistence of species on changing landscapes[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994
- [9] Magurran A E. Measuring biological diversity[M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2003
- [10] Ibáñez J J, Bockheim J. Pedodiversity[M]. USA: Science Publishers, CRC Press, 2013: 1-258
- [11] Fridland V M. Structure of the soil mantle[J]. Geoderma, 1974, 12: 35-41
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 孙燕瓷, 张学雷, 陈杰. 城市化对苏州地区土壤多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2060-2065
- [16] 檀满枝, 张学雷, 陈杰, 等. 山东省 1:100 万 SOTER 数据库支持下土壤多样性的初步测度[J]. 山东农业大学学报, 2002, 33(4): 422-427
- [17] 张学雷, 王辉, 张薇, 等. 土壤系统分类与生物系统分类体系中的多样性特征对比分析[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 1-8
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 张学雷, 屈永慧, 任圆圆, 等. 土壤、土地利用多样性及其与相关景观指数的关联分析[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 923-931
- [21] 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[J]. 农业机械学报, 2014, 46(4): 168-175
- [22] 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[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1237-1250
- [23] 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): 995-1002
- [24] Wilson E O, Peter F M. Biodiversity. Washington[M]. DC: National Academy Press, 1988
- [25] McBratney A B. On variation, uncertainty and informatics in environmental soil management[J]. Australian Journal of Soil Research, 1992, 30: 913-935
- [26] Sharples C. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes[R]. Report to the Forestry Commission, Hobart, Tasmania, 1993
- [27] Gray M. Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature[M]. Wiley, Chichester, 2004
- [28] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy[OL]. Eprint Arxiv, 2009. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>, 2009. 05. 19
- [29] Guo Y, Gong P, Amundson R. Pedodiversity in the units of America[J]. Geoderma, 2003, 117(1): 99-115
- [30] Amundson R, Guo Y, Gong P. Soil diversity and land use in the United States[J]. Ecosystems, 2003, 6: 470-482
- [31] Guo Y Y, Amundson R, Gong P, et al. Taxonomic structure, distribution, and abundance of the soils in the USA[J]. Soil Science Society of America, 2003, 67: 1507-1516
- [32] Petersen A, Gröngroft A, Miehlich G. Methods to quantify the pedodiversity of 1 km² areas. Results from southern African drylands[J]. Geoderma, 2010, 155: 140-146
- [33] Williams B M, Houseman G R. Experimental evidence that soil heterogeneity enhances plant diversity during community assembly[J]. J. Plant Ecol., 2013, 7: 461-469
- [34] Ibáñez J J, Feoli E. Global relationships of pedodiversity and biodiversity[J]. Vadose Zone Journal, 2013, 12, 3. <https://www.researchgate.net/publication/287490423>
- [35] Ibáñez J J, Caniego J, San-José F, et al. Pedodiversity-area relationships for islands[J]. Ecological Modelling, 2005, 182: 257-269
- [36] Parsons H. An analysis of landscape diversity on the Floodplain of a Scottish Wandering Gravel-bed River(PhD Thesis) [D]. Scotland: University of Stirling, 2000

- [37] Ibáñez J J. An introduction to pedodiversity analysis[R]. European Society for Soil Conservation, Newsletter1,1996
- [38] Ibáñez J J, Pérez-González A, Jiménez-Ballesta R, et al. Evolution of fluvial dissection landscapes in Mediterranean environments: Quantitative estimates and geomorphological, pedological and phytocenotic repercussions[J]. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1994, 37: 105–119
- [39] Toomanian N. Pedodiversity and landforms // Ibáñez J J, Bockheim J G. ed. *Pedodiversity*[M]. Boca Raton: CRC Press, 2013: 133–152
- [40] Pavlopoulos K, Evelpidou N, Vassilopoulos A. Mapping geomorphological environment[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2009: 5–47
- [41] 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[J]. *Central Spain. Geomorphology*, 2011, 135: 284–294
- [42] 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
- [43] 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
- [44] 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[J]. *土壤学报*, 2017, 54(3): 590–600
- [45] Lo Papa G, Palermo V, Dazzi C. Is land-use change a cause of loss of pedodiversity? The case of the Mazzarrone study area, Sicily[J]. *Geomorphology*, 2011, 135: 332–342
- [46] Zhang X L, Chen J, Tan M Z, et al. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases[J]. *Catena*, 2007, 69: 16–30
- [47] Dazzi C, Lo Papa G, Palermo V. Proposal for a new diagnostic horizon for WRB Anthrosols[J]. *Geoderma*, 2009, 151: 16–21
- [48] 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
- [49] 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): 513–520
- [50] Toomanian N, Esfandiarpour I. Challenges of pedodiversity in soil science[J]. *Eurasian Soils Science*, 2010, 43: 1486–1502
- [51] Phillips J D. Divergent evolution and spatial structure of soil landscape variability[J]. *Catena*, 2001, 43: 101–113
- [52] Hupp C R. Vegetation patterns in relation to basin hydrogeomorphology//Thornes J B. *Vegetation and erosion. Processes and environments*[M]. New York, USA: Willey, 1990: 217–237
- [53] 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
- [54] Westhoff V, van der Maarel E. The Braun-BBlanquet approach // Whittaker R H. Ed. *Classification of plant communities*[M]. 2nd ed. The Hague: Dr W Junk, 1978: 287–399
- [55] Weber H E, Moravec J, Theurillat J P. International code of phytosociological nomenclature[J]. *J. Veg. Sci.*, 2000, 11: 739–768
- [56] Loidi J, Fernández-González F. Potential natural vegetation: Reburying or reboring? [J] *J. Veg. Sci.*, 2012, 23: 596–604
- [57] Rivas-Martínez S. Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science[J]. *Plant Biosyst.*, 2005, 139: 135–144

Review of Studies from Pedodiversity to Geodiversity

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

(1 *School of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;*

2 *Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China*)

Abstract: Based on some chapters of the monograph ‘Geopedology’ published in 2016 and other related references, a review was presented in this paper of the concepts, methods, study status quo and future challenges from pedodiversity to geodiversity, with emphasis on study modes on pedodiversity and geodiversity. Firstly, the emergence and evolution of the concept from pedodiversity to geodiversity were introduced; Secondly, the study and exploration of the methodology from planar to linear based on the forms of geological factors were expounded, particularly of the feasibilities of Modified Shannon diversity area index (MSHDAI) and Modified Shannon diversity length index (MSHDLI); Thirdly, the major study models in pedodiversity and the geodiversity of main geo-factors (terrain, land use, parent material, water body and even vegetation) were analyzed; Finally, it was pointed out that from pedodiversity to geodiversity and the correlation analysis between geo-factors is growing well in accordance with the development trend and demand of soil geography study, but also face lots of challenges.

Key words: Pedodiversity; Geodiversity; Geo-factors; Research patterns; Status and challenge