

土壤多样性：土壤地理学研究的契机^①

张学雷

(郑州大学自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001)

摘要：介绍了土壤多样性研究的起源、概念及学科意义，在此基础上系统论述了土壤多样性在国内外的主要研究进展和取得的主要成果，并对未来的应用前景进行了展望。首先，生物多样性的保护是以土壤多样性为基础的，保护土壤多样性意义重大，而事实证明广泛应用于生物学中的计量方法同样适用于土壤地理学和土壤资源有关研究中；其次，有关国家已经在土壤多样性的测度方法及其在土壤资源空间表达中作了很多尝试，诸多案例为土壤地理学研究提供了新的角度；最后，新近研究及发展方向主要集中在土壤多样性与土地利用多样性、土地利用类型(耕地、水体、植被等)多样性的关联分析中，已经取得显著进展。这一研究领域日趋活跃，将在土壤地理学及土壤资源相关研究中扮演重要角色并呈现良好的发展前景。

关键词：土壤多样性；土壤地理学；土地利用；研究进展；展望

中图分类号：S159-3

1 土壤多样性的概念及意义

多样性概念与分析方法被广泛应用于生物物种数量的计量和分析等生态学研究，而在土壤学和地学领域的应用是近十余年才开始并展开。从之前有关多样性的研究可以看出^[1]，多样性的概念应包括两个基本组分和两个不可避免的价值判断。基本组分为来源于不同对象但可以统计的性质，无论这些对象是不同颜色的球、不同蛋白质的DNA物质、较高系统分类等级类型或土壤类型、生态景观中的生境地块(habitat patches on a landscape)，都具备两个基本特征，一是在一个混合体或样区中存在不同对象的数目(如土壤类型)，二是不同类型对象的相对数量。价值判断则包括所选择的级别可否具备显著的不同，以此用来区分对象的类型，以及属于某一特定级别的对象是否足够地相似并可以归为一类。因此，只要能确定分级或分类就可以进行多样性的分析，所以地多样性(geodiversity)和土壤多样性(pedodiversity)的提出应该与生物多样性同样适合。然而，相比生物学与生态学中多样性测度十分普遍，测度地多样性(如地质构造单元、地形单元、沉积物、矿物、岩石、化石以及土壤等)却鲜有进展，多样性分析可望在地球的地质历史、发展过程及其模拟、气候与景观的变迁和生命

的起源等研究方面发挥作用，因此具有重要意义^[2-3]。毫无疑问，保护土壤多样性和地多样性是维持生态环境多样性，提升区域社会发展与资源环境协调关系的基础。

21世纪初，土壤多样性的理论方法由笔者等引入到中国，已经在基本计量方法的建立与空间变异分析、长江三角洲土壤多样性测度指标的集成与运用和以城市化快速扩张为背景的高强度人类活动对土壤多样性及土壤资源空间格局演变指示3个不同梯度展开渐进研究，有关研究结果已陆续在国内外产生积极而重要的影响。目前，正在上述研究的基础上，借鉴国际间最新研究经验，将我国东部长三角发达城市化地区和中部中原农业地区不同发展条件下各类土地利用动态变化对土壤资源多样性格局所产生的复杂影响作为研究主轴，着重分析对比由两地区不同发展阶段土地利用变化的区域差异性特点所导致的土壤多样性基本特征及空间变异，通过连接系数等手段探索土壤多样性与土地利用(方式)多样性的关联分析，尝试以新的角度探索不同土地利用变化对土壤多样性影响的科学表达并阐述由此带来的生态环境效应，使中部崛起发展中接受东部后城市化过程的经验与教训，在服务于区域间产业结构优化与调整过程中对土壤资源的可持续合理利用与生态环境建设将起

基金项目：国家自然科学基金项目(41171177)资助。

作者简介：张学雷(1960—)，男，江苏沛县人，博士，教授，主要从事运用数据库和3S对自然资源(土壤与土地资源为主)的分析与研究。
E-mail: zxlzsu@zzu.edu.cn

到重要的参考作用。

2 契机：国内外研究进展

从 20 世纪 90 年代起,以 Ibáñez 为首的一个西班牙研究小组提出了一种可能的途径,用生态学研究的方法系统地分析土壤圈层内土壤的类别多样性,建立与生物多样性相平行的概念,在陆续发表的文献[4-11]中详细阐述了生物多样性的计量方法用于土壤空间变异和分布格局分析的可行性,着重解释了用于确定土壤多样性及在数字化评价土壤圈中的主要手段与技术途径。Saldaña 和 Ibáñez^[12]基于西班牙中部埃纳雷斯河成阶地的土壤数据进行了相关研究,为了分析第四纪河谷的土被演化和丰度-面积关系,将丰富度、多样性指数和拟合概率分布模型综合应用于土壤年代序列研究中,并基于不同的分类级别(类、亚类和土族)和诊断层分类计算了土壤多样性指数。研究发现,土类和亚类的丰富度随阶地的增高而增加;分类分级越详细,土壤多样性的指数越高;土壤多样性随研究区面积的增加而增加;遗传土壤丰富度和遗传土壤多样性在该研究区中随地形表面景观年龄的增长而增加;土壤丰富度与面积之间的连接系数在中低阶地上符合对数函数曲线,在高阶地符合幂函数曲线,这与生态学中的物种丰富度与面积的连接性相似。Caniego 等^[13]使用多重分形方法对全球尺度下土壤分类单元分布的自相似性(self similarity)进行了研究,基于联合国粮农组织土壤数据库中 5 大洲和全球数据,计算了土壤分类单元丰度分布的自相似性和 Rényi 频谱(Rényi spectra),研究认为自相似性应为土壤丰度空间分布的共有性质,分析表明全球尺度下土壤多样性分布的复杂特征符合明确的多重分形特征。Saldaña 和 Ibáñez 等^[14]对土壤多样性、连接度(connectance)和土壤空间变异性之间的内在联系进行了研究,研究区基于马德里东北部埃纳雷斯河河谷阶地的土壤年代序列。研究使用丰富度指数和仙农多样性指数在不同的分类级别上计算了土壤多样性的数值。分类学土壤多样性(即土类的多样性)的值在高级别分类体系中随时间的变化(从低阶地到高阶地)而增加,但是在土族级别上并未发现明显的关系。分析表明从低阶地到中阶地,丰度-面积关系符合对数函数关系,而高阶地的数据符合指数函数关系。地质统计分析显示土壤性质的变异性大小随沉降物的变化(从年轻到古老)而逐渐下降。研究表明,就埃纳雷斯流域生境来说,土壤性质中的多样性和空间变异性是两个不同的概念。在土类和亚类这一分类级别上,

具有最高分类学土壤多样性的阶地却具有较低的土壤性质空间变异性和最低的连接度数值。

2003 年,美国将土壤多样性的理论与方法也在全国土壤多样性特点及土壤多样性与土地利用的关系等研究中进行了有意义的尝试^[15-16],利用美国农业部自然资源保护局(USDA-NRCS)的各州土壤地理数据库STATSGO(the State soil geographic database)进行了美国本土土壤多样性指数的计算、各分类级别上土壤单元与面积的关系、美国农业部自然资源保护局划分的美国本土各地理区域土壤多样性的对比以及土壤单元相对多度的可能机制的研究。研究表明,美国土壤多样性的特点可以归结为:基本计算。随着系统分类级别从土纲延伸到土系,由于土壤单元数目的急剧增加,Shannon 指数也随之增加。关于土壤均匀度,所有系统分类级别上土壤单元面积都不均等,较低的均匀度指数显示某些土壤单元十分稀少而另外一些单元具有较大的面积丰富度。多样性指数的计算表明,每一系统分类级别上 Shannon 多样性指数与 Shannon 层次多样性指数之间十分相似,两者皆可以用于土壤多样性的研究中。各地理区域的土壤多样性比较。运用 GIS 移动窗口方法横过 3 个研究区域发现,土壤多度指数随研究区域面积的增大而急剧增多。根据土壤单元与面积之间的幂律关系推断,全美(包括本土、Alaska、Hawaii 和 Puerto Rico)总面积约 9 243 474 km² 估算有 21 084 个土系,与美国农业部有记录的 21 000 个土系数目十分接近。土壤单元多度分布模型的建立。随着某土纲中系统分类级别的细分,土壤单元被续分为更多的层次和与之相适应的土壤成土因素以及变化与空间分布的各种土壤性质。比如,土纲 A 可能由于气候因素而划出亚纲 Ai, Ai 又可能由于植被因素而划出大土类 Aij, Aij 又由于海拔高度而划出亚类 Aijk, Aijk 又根据坡度划出土属 Aijkp,由高级到低级系统分类级别,土壤的形成过程受到越来越多因素或因素集合(factorial combinations)的影响,从而造成土壤单元多度分布趋向于对数分布。同时,着重讨论了美国土壤多样性与土地利用之间的关系、美国的特有及濒于消失的土壤。事实上,STATSGO 数据库包含的美国土壤系统分类本身与土地利用无关,除非极为特殊的情况下,农业土壤是作为自然土壤进行分类的。所以目前上图的土壤是扰动前的分布,然而,约 19% 的美国国土是集约耕作的土地。美国土地利用的分布十分不均衡,农业主要集中在中西部、大平原区、密西西比流域、Snake 河及 Palouse 区和加利福尼亚大峡谷地区;虽只有约 2%~3% 的美国国土已经城市化^[17],

但高速城市化由于造成原农用地的丧失而对土壤资源形成特有的威胁^[18]。多数地区，高产的土壤被用于农业和城市化过程，导致区域内某些土壤类型的急剧减少。

2006 年 7 月美国费城召开的第 18 届世界土壤学大会上，国际土壤学会在土壤地理委员会中设立了“土壤多样性：空间、社会和环境等领域”的专题分会场，土壤多样性研究被认为是土壤地理学科研究新的增长点而得到鼓励，土壤多样性有关的研究展现出良好的态势，国外除上述西班牙、美国，又陆续有许多国家跟进。澳大利亚 McBratney 和 Minasny^[19]及 Minasny 等^[20]讨论了土壤多样性的分类方法，认为分类学距离(taxonomic distance)的平均值，即 Rao 二次熵(Rao's quadratic entropy)在表达土壤多样性上具有良好效果。Minasny 等^[20]为了讨论分类学距离和土壤多样性的关系，讨论了 WRB 的分类学距离，计算了 1：2500 万比例尺下世界土壤图的土壤多样性指数，比较了传统的基于土壤个体丰富度的多样性与基于分类学距离的多样性特征。德国 Petersen 等^[21]基于南部非洲 16 个干旱地区(每个地区 1 km²)的田地和土壤实验室数据集，分析比较了土壤多样性的不同量化表达方法。意大利 Falcucci 等^[22]研究了意大利土地利用和土地覆盖的变化情况及它们与生物多样性保护之间的联系，使用 3 幅覆盖意大利半岛的土地利用和土地覆盖图(从 1960 年到 2000 年)，以此来分析土地利用和土地覆盖的变化模式，研究认为土地利用和土地覆盖变化是造成生物多样性损失的最重要因素，而地中海地区受人干扰影响很严重。意大利 Costantini 和 L'Abate^[23]基于地理数据库、地图和土壤多样性对意大利的土壤文化遗产进行了评价研究。研究认为土壤遗产类似于地质遗产，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。研究对意大利的土壤遗产进行了评价和分组，并开发出了相应软件收集管理这些信息，建立了独特的地理数据库，并建议可以应用于其他国家。研究认为土壤遗产包括：人为景观、决定全景舒适度的土壤景观、环境平衡破碎下的土壤景观、有利于特殊生态系统延续的土壤景观等，其中明显包含有生态环境效应分析的意义。日本 Yabuki 等^[24]对日本北海道 10 个城市的土壤多样性和土地利用多样性进行了相关研究，并建议利用信息论中的互熵(mutual entropy)概念来评价两者之间的关系。伊朗 Toomanian 等^[25]对伊朗中部扎因代河谷的土壤多样性和成土作用进行了研究，评价了该地区的土壤异质性程度，发现用仙农熵评价土壤和土壤景观演化具有良好效果。

2001 年以来，土壤多样性理论被引入我国^[26-28]，使中国成为继西班牙之后较早从事土壤多样性研究的国家。开始的研究报道是利用山东省 1：100 万和海南岛 1：25 万 SOTER 数据库进行测度分析，涉及土壤类别、土壤性质多样性特点的多方位、多层次的分析研究^[29-35]，发现多样性方法在生态系统中生物物种数量关系分析与特定区域土壤类型空间可变性分析方面有诸多相似之处。如丰富度和多样性指数随样区面积扩大而增加的多样性-面积效应、对象多度分布符合对数正态分布模型的现象最为普遍等，与 Ibáñez 等人的研究结果基本相符。2005 年以来，受美国研究土地利用变化对土壤多样性影响的启发，中国科学院南京土壤研究所在国家基金和科学院创新方向性课题支持下，对长江三角洲地区城市化过程对土壤多样性的影响进行研究。运用土壤多样性计量方法研究发现^[36-40]，长江三角洲地区快速发展的城市化过程造成的土地利用变化已经不同程度地影响着自然界固有的土壤类型和面积构成，土壤资源的空间多样性组合发生很大变化，很多土壤类型甚至完全“消失”了。以苏州市为例，从 1984 年到 2003 年近 20 年当中，城市面积以平均每年 20.47% 的增长速度扩大，由 17 844 hm² 扩张到 90 892 hm²，净增 73 048 hm²，扩大了 3 倍多，31 种土壤(土属)中，有 25 种受到不同程度的损失，有些趋于濒临灭绝，其中黏壤质普通筒育滞水潜育土约 98% 被新增长的城镇所占用而濒临灭绝，而砂质石灰性斑纹湿润正常新成土被完全占用，已经“消失”，此状况还在持续且有逐年加重的严峻形势。2010 年 8 月澳大利亚第 19 届世界土壤学大会上，笔者关于运用嵌套子集方法对高速城市化背景下土壤多样性的影响研究的论文被录用为会议口头发言，在国际间产生了积极的影响^[41-42]。通过研究，揭示了南京、苏州等代表性城市不同时期高速城市化扩张带来的土壤多样性动态变化，指出应该进一步追踪高强度人类活动背景下区域土壤多样性动态特点、规律与发展趋势，及其对土壤资源空间格局演变的指示，以新的角度丰富土壤资源评价指标，更好地表达区域土壤资源空间格局演变，探索其地学、土壤学意义及其生态环境保护中的作用，有关研究也引起当地重要平面媒体的关注^[43]。

3 展望

2013 年 4 月，由美国 CRC 出版专著《土壤多样性(Pedodiversity)》^[44]，邀请当今世界上代表性国家有关学者，在介绍有关土壤多样性研究进展的基础上，对这一新兴学科的发展与应用前景进行了展望。

书中, 西班牙 Juan José Ibáñez、Javier Caniego 和 Asunción Saldaña 分别就土壤多样性的研究现状和未来挑战、土壤多样性和生物多样性的分形分析和土壤多样性与景观生态学等内容进行了论述; 意大利 Enrico Feol、Carmelo Dazzi 关于环境系统中多样性的测度和人为景观变化对土壤多样性的响应和土壤遗产保护的研究; 美国 Jonathan Phillips、James Bockheim 关于非线性变化及趋异进化(divergent evolution)与土壤多样性、土壤地方性及其对系统土壤多样性的重要性的研究; 伊朗 Norair Toomanian 对土壤多样性与地形的研究; 中国张学雷也介绍了我国土壤多样性的主要研究进展及其未来的机遇与挑战。

土壤与土地利用之间存在密切联系, 土壤类型及属性的差异很大程度上决定了土地利用的方式, 同时土地利用方式的不同也间接改变着土壤类型、性质及功能多样性的格局, 考虑到我国自然条件的特点和悠久且不平衡的发展态势, 通过努力可望能在研究土地利用变化对土壤多样性影响的机理及其生态环境效应分析中逐渐积累研究成果并有所突破。新近, 段金龙、张学雷^[45-52]为探索水土资源的空间分布特征及其内在联系, 以中国中部河南省和东部江苏省的典型样区为例, 基于土壤多样性理论与方法, 对一种最新的土壤多样性计量方法进行改进, 将其引入以水土资源为主的资源分布特征评价中, 进行了不同资源类型(耕地、水体、植被等)多样性的关联分析, 已经取得显著进展。新近研究实践证明, 运用土壤多样性的理论与方法并将之扩展到土壤、土地与生态环境其他因子多样性格局的关联分析及其生态环境效应或许将成为土壤多样性研究领域具有生命力的发展方向。近年来, 国内外不断有学者在土壤多样性的基本理论、计量手段、不同分类体系中多样性结构分析进行探索^[53-62], 正是由于这些努力, 使得这一研究领域日趋活跃。

将于 2014 年在韩国济州岛召开的第 20 届世界土壤学大会的程序中, 已经在土壤地理委员会(1.2-Soil geography)下面设立了“土壤多样性与生态服务: 在土壤地理与土地利用之间架起桥梁”(Pedodiversity and ecological services-bridging soil geography and land use)研讨专题, 相信通过大会交流将进一步推动土壤多样性研究的深入发展, 并在土壤地理学及土壤资源相关研究中扮演更加重要的角色。

参考文献:

- [1] Rosenzweig ML. Species Diversity in Space and Time[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 1-436
- [2] Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities[J]. Nature, 2000, 403: 853-858
- [3] Daily GC, Söderqvist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich PR, Folke C, Jansson A, Jansson BO, Kautsky N, Levin S, Lubchenco J, Mäler KG, Simpson D, Starrett D, Tilman D, Walker B. The value of nature and the nature of value[J]. Science, 2000, 289: 395-396
- [4] Ibáñez JJ, Jiménez-Ballesta R, García-Álvarez A. Soil Landscapes and drainage basins in Mediterranean areas[J]. Catena, 1990, 17: 573-583
- [5] Ibáñez JJ. The background of pedodiversity and pedogeomorphic diversity[J]. Pedometron, 1995, 4: 2-4
- [6] Ibáñez JJ, De-Alba S, Bermúdez FE, García-Álvarez A. Pedodiversity concepts and tools[J]. Catena, 1995, 24: 214-232
- [7] Ibáñez JJ, De-Alba S, Lobo A, Zucarello V. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with Discussion)[J]. Geoderma, 1998, 83: 171-214
- [8] Ibáñez JJ, De-Alba S, Lobo A, Zucarello V. In discussion of: Ibáñez JJ, Alba S, Lobo A, Zucarello V. Pedodiversity and global soil pattern at coarse scales[J]. Geoderma, 1998, 83: 206-211
- [9] Ibáñez JJ, De-Alba S. On the concept of pedodiversity and its measurement: A reply[J]. Geoderma, 1999, 93: 339-344
- [10] Ibáñez JJ, Caniego J, San José F, Carrera C. Pedodiversity-area relationships for island[J]. Ecological Modelling, 2005, 182: 257-269
- [11] Ibáñez JJ, Pérez-Gómez R, San José F. The spatial distribution of soils across Europe: A fractal approach[J]. Ecological Complexity, 2009, 6: 294-301
- [12] Saldaña A, Ibáñez JJ. Pedodiversity analysis at large scales: An example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain) [J]. Geomorphology, 2004, 62: 123-138
- [13] Caniego J, Ibáñez JJ, San José F. Selfsimilarity of pedotaxa distributions at the planetary scale: A multifractal approach[J]. Geoderma, 2006, 134: 306-317
- [14] Saldaña A, Ibáñez JJ. Pedodiversity, connectance and spatial variability of soil properties, what is the relationship[J]? Ecological Modelling, 2007, 208: 342-352
- [15] Guo YY, Gong Peng, Amundson R. Pedodiversity in the United States of America[J]. Geoderma, 2003, 117(1/2): 99-115
- [16] Amundson R, Guo Y, Gong P. Soil diversity and land use in the united states. Ecosystems, 2003, 6: 470-482
- [17] Nizeyimana EL, Petersen GW, Imhoff ML, Sinclair Jr HR, Waltman SW, Reed-Margetan DS, Levine ER, Russo JM. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2001, 65: 391-402
- [18] Imhoff ML, Lawrence WT, Elvidge CD, Paul T, Levine E, Privalsky MV, Brown V. Using nighttime DMSP/OLS images of city lights for estimating the impacts of urban land use on soil resources in the United States[J]. Remote Sens. Environ., 1997, 59: 105-107
- [19] McBratney A, Minasny B. On measuring pedodiversity[J]. Geoderma, 2007, 141: 149-154
- [20] Minasny B, McBratney A, Hartemink AE. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the world reference base[J]. Geoderma, 2010, 155: 132-139

- [21] Petersen A, Gröngröft A, Miehlich G. Methods to quantify the pedodiversity of 1 km² areas—results from southern African drylands[J]. *Geoderma*, 2010, 155: 140–146
- [22] Falcucci A, Maiorano L, Boitani L. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation[J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22: 617–631
- [23] Costantini EAC, L'Abate G. The soil cultural heritage of Italy: Geodatabase, maps, and pedodiversity evaluation[J]. *Quaternary International*, 2009, 209: 142–153
- [24] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy[OL]. [2009-05-19]. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>
- [25] Toomanian N, Jalalian A, Khademi H, Papritz A. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran[J]. *Geomorphology*, 2006, 81: 376–393
- [26] 陈杰, 张学雷, 龚子同, 王军. 土壤多样性的概念及其争议[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 189–193
- [27] 张学雷, 陈杰, 檀满枝, 龚子同. 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
- [28] 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的应用前景[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 1 063–1 072
- [29] Tan MZ, Zhang XL, Chen J, Yang YJ. Pedodiversity: A case study based on 1 : 1 million scale SOTER of Shandong Province, China[J]. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 219–226
- [30] 张学雷, 杨玉建, 肖光平. 山东省 1 : 100 万 SOTER 数据库的建立与初步应用研究[J]. *山东农业大学学报*, 2001, 32(2): 136–142
- [31] 檀满枝, 张学雷, 陈杰. 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
- [32] Zhang XL, Chen J, Zhang GL, Tan MZ, Ibáñez JJ. Pedodiversity analysis in Hainan Island[J]. *The Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13(2): 181–186
- [33] 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
- [34] 张学雷, 陈杰, 张甘霖. 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
- [35] 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): 1 368–1 372
- [36] 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): 2 060–2 065
- [37] 孙燕瓷, 张学雷, 程训强, 王辉, 檀满枝, 陈杰. 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
- [38] Zhang XL, Chen J, Tan MZ, Sun YC. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing City using satellite images and digital soil databases[J]. *Catena*, 2007, 69(1): 16–30
- [39] 王辉, 张学雷, 张薇, 陈杰, 孙燕瓷. 南京市土壤集合组成及其嵌套性分析[J]. *生态学报*, 2007, 27(1): 220–227
- [40] 王辉, 张学雷, 陈杰, 孙燕瓷. 基于嵌套子集方法对南京市城镇化用地时空变化分析[J]. *土壤*, 2007, 39(3): 421–427
- [41] Zhang XL. Nestedness Analysis of Land Use Change on Pedodiversity Under the Intensive Urbanization Process[C]. Brisbane, Australia: 19th World Congress of Soil Science Proceedings, Soil Solutions for a Changing World, 2010: 24–27
- [42] 张学雷. 从第 19 届世界土壤学大会看土壤地理与生态学研究现状[J]. *土壤通报*, 2011, 42(2): 257–261
- [43] 王君, 于飞. 南京首次调查土壤“生存等级”——20 年消失 40% 的三种土壤[N]. *金陵晚报*, 2008–01–22
- [44] Ibáñez JJ, Bockheim JG. Pedodiversity[M]. Boca Raton, USA: CRC Press, 2013: 1–258
- [45] 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
- [46] Duan JL, Zhang XL. Correlative evaluation of pedodiversity and land use diversity based on Shannon entropy[A] // Dharmakeerthi RS. Proceedings of the 10th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies[C]. Colombo, Sri Lanka, 2011: 145–146
- [47] 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): 2 812–2 820
- [48] Duan JL, Zhang XL. Correlative comparison of pedodiversity and land use diversity between case areas from the developed east and less developed central China[J]. *The Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(6): 1 101–1 116
- [49] 段金龙, 张学雷. 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
- [50] 张学雷. 土壤多样性：研究意义、起源与进展[A]//张甘霖、史学正、黄标主编. *土壤地理回顾与展望——龚子同教授从事土壤地理研究 60 年论文集*[C]. 北京：科学出版社, 2012: 132–138
- [51] 段金龙, 张学雷. 我国中东部典型省会和县域土壤及土地利用多样性关联分析的对比研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(2): 195–202
- [52] 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): 110–115
- [53] Ibáñez JJ, Zinck JA, Dazzi C. Soil geography and diversity of the European biogeographical regions[J]. *Geoderma*, 2013, 192: 142–153
- [54] Ibáñez JJ, Krasilnikov PV, Saldaña A. Archive and refugia of soil organisms: Applying a pedodiversity framework for the conservation of biological and non-biological heritages[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2012, 49: 1 267–1 277
- [55] Toomanian N, Esfandiarpour I. Challenges of pedodiversity in soil science[J]. *Eurasian Soil Science*, 2010, 43(13): 1 486–1 502
- [56] 张学雷, 王辉, 张薇, 肖光平, 陈杰. 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

- [57] Zhang XL, Wang H, Xiao GP. Comparison of diversity characteristics between pedological and biological taxonomies[A]// The Association of American Geographers (AAG). USA Session Food Security and Agricultural Geography. 2007 Annual Meeting Abstracts[C]. San Francisco, California, 2007: 715
- [58] Ibáñez JJ, Ruiz-Ra M. A mathematical comparison of classification structures: The case of the USDA *Soil Taxonomy*[J]. *Eurasian Soil Science*, 2006, 7: 795–803
- [59] Ibáñez JJ, Ruiz-Ramos M, Tarquis AM. Mathematical structures of biological and pedological taxonomies[J]. *Geoderma*, 2006, 134: 360–372
- [60] Phillips JD, Marion DA. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas[J]. *Geoderma*, 2005, 124: 73–89
- [61] Phillips JD, Marion DA. Soil geomorphic classification, soil taxonomy, and effects on soil richness assessments[J]. *Geoderma*, 2007, 141: 89–97
- [62] 王子芳, 屈双荣, 李阳兵, 高明, 杨剑红, 谢德体, 魏朝富. 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, 196

Pedodiversity: An Opportunity for Soil Geographic Studies

ZHANG Xue-lei

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

Abstract: The origin, concept and significance of pedodiversity are introduced before the related research progress and publications home and abroad are briefly discussed. Firstly, biodiversity is based on pedodiversity which is very important to be conserved by using all the methods widely applied in traditional biological studies. Secondly, a new studying opportunity should be found from all the publications in which many efforts have been made to express the spatial distribution patterns of soils resources. Finally, the mostly recent research reports focus on correlative analysis of pedodiversity and land use type diversity inclusive of arable land, water and vegetation resulting in some new findings already. Pedodiversity analysis has been developed nicely and will play a more active role in the future soil geographical and soil resource studies.

Key words: Pedodiversity, Soil geography, Land use, Progress, Future