

土壤微形态研究进展综述及前瞻^①

庞奖励, 淮 态, 邱海燕, 文 青, 郭美娟

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘 要: 本文通过对国内外近年大量有关土壤微形态文献的分析, 从微形态观测技术、微结构单元的定量测量、微形态在相关研究领域的应用、描述术语等方面进行了初步总结和评述, 对未来研究作一前瞻。

关键词: 土壤微形态; 描述术语; 观测技术

中图分类号: S155

土壤微形态是土壤组构在微观-超微观尺度上的具体表现, 包含有大量在宏观上用肉眼无法观察到的细微现象, 因此长期以来被作为研究土壤发展演替的重要途径和土壤分类的重要依据。近 20 多年来, 以计算机为基础的新技术被不断引入这一研究领域, 使土壤微形态在基础和应用领域的研究均取得了很大的进展, 许多作者从不同的角度对这方面的成果进行了总结, 如《Catena》杂志第 54 卷(2003 年)刊登了土壤微形态专题^[1], 第 18 届国际土壤学大会上仅土壤形态和微形态学方面的论文就有 119 篇^[2]。本文拟对土壤微形态研究的最新成果进行初步总结, 并对该领域未来研究作一前瞻。

1 土壤微形态描述术语的规范化

土壤微形态主要研究粗颗粒、细物质、孔隙的特征以及它们在空间上的排列规律、微结构类型等。但是, 土壤本身是自然界一种多相的混合物, 不均匀性是其最重要的特征, 这使得在不同尺度上和不同角度去观察时土壤结构有显著差异, 这就注定了对土壤微形态的表述很难像物理或数学领域那样用统一的国际化标准术语来描述。因此, 自土壤微形态学产生以来, 出现了多种体系的描述术语, 例如: Kubiena^[3]出版的《Micropedology》, Brewer^[4]出版的《Fabric and Mineral Analysis of Soils》, 帕尔芬诺娃^[5]的《土壤微形态研究指南》, Jongerius 等^[6]出版的《Glossary of Soil Micromorphology》, 黄瑞采^[7]的《土壤微形态学发展及应用》, Bullock等^[8]的《Handbook for Thin Soil Section Description》和Stoops^[9]的《Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin sections》等。这些不同专著中, 作者以自己的研究成果和经验为基础,

建立了系统的微形态分类和描述术语, 但是由于不同作者所据资料的差异和专业特长的不同, 使得所提出的微形态术语和含义有一定的差异, 有些相差甚大, 致使不同来源的土壤微形态资料之间的对比较困难。Bullock等^[8]和Stoops^[9]的专著是土壤微形态研究领域目前最有影响力的研究成果, 其著作中倡导的土壤微形态分类和描述术语越来越多地被国内外学者所认同, 这初步改观了土壤微形态描述术语混乱的现象, 不仅向土壤微形态描述的标准化迈进了一大步, 而且大大增强了不同地区间资料的交流。但近 20 年来, 中国在这方面的研究几乎处于停滞的状态, 这一成果在国内的应用十分有限, 亟须推广和使用。

2 土壤微形态观察技术的改进

观察技术的改进使得对土壤微形态的研究在广度和深度上均取得了长足的进展, 体现在对传统观测方式的改进和新观察技术的应用。尽管光学显微镜技术至今仍是土壤微形态研究中最主要的手段, 但新光源的使用使得微形态观察内容在深度和广度上得到大大的提高。如阴极发光光源的使用^[10], 可实现从颜色、形态、晶形、内部细微结构等方面区分一些矿物(特别是碳酸盐矿物), 继而判断其形成期次、过程、阶段、时间、原因及影响因素等。利用荧光光源来研究土壤中微生物的形态、种类、数量、分布及变化等特征^[11]。粒子束技术和计算机相结合产生的诸如电子显微镜、电子探针、X 射线分析仪、激光微探针光谱仪等分析设备, 不仅能够超微观尺度上(远远高于光学显微镜的放大倍数)观察土壤结构, 也能够对微域的物质成分进行定量分析^[12-14]。例如, 有些专家利用这些技术在微观尺度上研究了中国冻土的发育过程、南疆平

①基金项目: 国家自然科学基金项目(40471119, 40571154)和陕西省自然科学基金项目(2006D01)资助。

作者简介: 庞奖励(1963—), 男, 陕西西安人, 博士, 教授, 主要从事资源开发与环境演变的研究。E-mail: jlpang@snnu.edu.cn

原干旱土的微形态特征、黄土中石英和锆石颗粒的形态和表面结构及表面附着物特征、农药污染对蚯蚓的群落结构和超微结构的影响、土壤中磁性矿物的形成机理等。随着数字摄像技术的发展,出现了高速和高像素摄像设备,将其和显微镜联用,实现了将光学显微镜下看到的景观全部地实时传输到显示屏上。在图像传输和显示过程中,土壤微形态图像也得到数字放大(放大倍数与视屏大小有关),这不仅便于对微形态的观察,更使图像的采集十分容易,也大大降低了观察时的工作强度。

3 土壤微形态单元的定量测量和三维数字模拟

自土壤微形态学产生以来,观察视域的有限性和对微形态单元的定量描述就一直困扰着研究者,数十年来一直未能很好地解决。随着计算机的普及,以此为基础的 GIS 技术和数字图像的发展并被引入土壤微形态研究后,使得上述问题得到了初步的解决,并取得了显著的成果^[14-20]。在 20 世纪 90 年代以前,对土壤微形态的研究仅停留在定性和半定量描述阶段,例如:在对土壤粗颗粒研究中,主要利用标准含量图谱比照、镜下用九宫格统计,甚至利用投影仪将图像放大后进行测量,这些方法均通过手工进行,速度很慢、精度有限,在内容上仅能获取粗颗粒总面积、密度、个数等有限的数,而且只能得到半定量结果。近 10 年来,数字成像技术和数字照片合成技术得到快速发展,其被引入土壤微形态研究中,大幅度提高了土壤微形态研究样本的代表性和数据可信度。此技术的关键就是在土壤微形态图像实时采集过程中,将相邻的多张数字图像无缝合并为一个大范围的照片(用于合成的相邻照片的数量仅受计算机硬件条件的制约,理论上无数量的限制),这实际上极大地扩大了可视范围,使视域扩大了数倍至数十倍。这一成果的应用可以说初步解决了长期以来显微镜下观察视域受限的问题,即高倍镜下观察时视域范围太小,而低倍镜下对象分辨率较低的问题。

GIS 中有关数字图像处理技术被移植到土壤微形态研究中,基本实现了对指定微结构单元的快速定量测量。例如:粗颗粒研究中,以灰度值为标准来识别颗粒对象,通过设定合理的灰度区间就能够迅速地将会全部颗粒识别并标记出来(如果有个别颗粒由于灰度异常误选或漏选,也可通过手动删加),然后对选定对象进行计算分析。这种方法不仅能够对描述单颗粒形态的有关参数(如颗粒的绝对长度、宽度、等圆直径、

周长、面积、圆度、长宽比、颗粒定向性等)进行定量测量,也能够对颗粒空间分布参数(视域内粗颗粒的个数、总面积、密度、C/F 值、指定粒径的颗粒分布等)的定量测量,用户还可以根据自己的需要定义一些复杂或特殊的参数,更重要的是这种技术的测量速度快(一次数据采集仅需要数分钟)和数据丰富。此种方法也同样能对土壤孔隙和土壤形成物分布进行测量和研究。利用此方法进行定量测量的关键是对拟研究的微形态单元的准确识别和标定。目前能够实现上述目的的软件很多,如 Qwin3.2、Quantiment500、Sisc IAS V8.0、NIS-E BR3.0、ArcGIS9.2、Mapinfo8.0 等。

微形态单元的上述测量基于二维图像上进行,而 GIS 中有关技术的引入,能够将二维图像转化为三维图像,初步实现对土壤微形态的三维还原和数字模拟。在 GIS 研究中,对地表三维形态的模拟原理是:先提取不同的地形等高线上的相关信息,然后通过图层叠加技术将不同等高线上的信息叠加在一起,最后实现自然地形在三维上的数字模拟(其模拟精度与采集的数据密度有关)。在土壤微形态研究中,通过对采集不同深度土壤微形态的有关信息(如粗颗粒、细物质和孔隙的大小、形态及空间分布等),再将不同深度的土壤微形态信息叠加在一起,即可将二维图像转换为三维图像,实现对土壤微形态的三维数字模拟。不同深度土壤微形态信息的提取和叠加需要利用 GIS 研究中的有关专业软件来实现(如 ArcGIS9.2、Mapinfo8.0、MapGIS6.7、Geoway3 等)。许多专家在这方面进行了有益的尝试,例如,贺秀斌等^[14]用 X 光-同步加速器透视技术,模拟了土壤显微结构的三维景观;李德成等^[15-16]采用新型固化剂和染料,借助 CT 断面扫描方法,以 3 cm 间隔对土壤断面进行彩色扫描,继而研究了土壤孔隙的三维分布特征;熊芳敏^[20]用电子显微镜对不同土壤断面进行扫描,将二维图像转化为土壤微结构三维图像。利用 GIS 的专业软件将土壤微形态的二维图像转换到三维图像尚处于尝试阶段,转换过程中的许多细节(如有关指标的设定、信息密度、数据的取舍、断面的间距等)尚需进一步研究。

4 土壤微形态的应用

土壤微形态特征一直被作为土壤分类的重要依据,对深入理解土壤形成过程有重要的作用。近年来最大的进展就是将土壤微形态引入诸如土地利用、土壤侵蚀、环境演变、考古、环境等方面,以图解决一些实际应用问题。

4.1 在土地利用、土地退化和土壤侵蚀上的应用

土地利用变化作为全球变化的核心问题,通过土壤微形态来研究土地利用及相关问题,取得了显著的成果。例如,Donald 和Ian^[21]、贺秀斌等^[22]和Williams等^[23]研究了农业生态和土地退化与土壤微形态的关系,探讨了植物根系、蚯蚓、微生物、有机质等的微观特征与土壤生态功能的关系;Ampe和Langohr^[24]、仇荣亮等^[25]研究了滨海地区不同生态条件下土壤的微形态特征,发现植被更新可以促进土壤微形态的良性发育;张元明^[26]研究了荒漠地区土壤结皮的微结构与微生物的关系,为人工固定沙面提供一定的参考依据。一些科学家研究了不同土地利用和管理方式下土壤微形态特征,并探讨了其意义,例如,现代大棚土壤的微形态特征及影响因素^[27]、灌溉方式和时间对土壤微形态发展的影响和制约^[28]、人工葡萄园土壤的微形态特征^[29]、土地利用方式变化对含盐土壤微形态及理化性质的影响^[30]、水耕人为土的典型微形态特征、形成机理及与人类活动(耕作方式、淹水时间)和土壤肥力的关系^[31-32]、特定区域内不同耕作管理方式和时间下土壤的微形态特征及其影响因素^[32-34]、砂姜黑土的微形态特征对土地资源开发强度的响应及指示意义^[35]、自然土壤的微形态特征^[36-37]、土壤矿物组合和变化对草地生态系统发展演化的指示意义^[38-39]。一些研究者利用土壤微形态来评价土壤肥力、土地利用强度、土壤侵蚀等,并试图建立一些评价指标^[40-43]。如何毓蓉^[42]通过研究丘陵区退化土壤的微形态特征,并以此为依据探讨了土壤侵蚀机理及预防措施;东野光亮等^[43]将土壤微形态运用于土壤抗蚀性的研究,认为黄河三角洲土壤的微结构差,抗蚀性弱。

4.2 在环境演变和重建上的应用

土壤微形态的形成是一个逐渐的变化过程,往往需要比较稳定的作用时间,但其却是环境演变的最直接结果和最直观的表现,因此利用微形态重建较长时间环境演变过程取得的成果更令人瞩目。郭正堂等^[44]和李叙勇等^[45]对黄土高原晚更新世古土壤的微形态进行深入研究,较详细地解释了若干典型微形态单元对古环境的指示意义;庞奖励等^[46]对全新世土壤微形态进行研究,重建了黄河中游地区南部全新世时期的环境演变历史;薛详煦和赵景波^[47]对旬邑地区古土壤微形态的大量研究,恢复了第四纪以来的古气候演变历史;尹秋珍等^[48]通过土壤微形态研究初步解译了中国南方网纹红土与砖红壤发育期间的环境特征及差异。Scarciglia等^[49]对意大利南部古土壤微形态的研究,

重建了该地区在第四纪时期的气候变化历史;Khormali^[50]通过研究伊朗干旱-半干旱区高石灰质土壤中方解石微形态的研究,初步解译了其对气候的指示意义及起源问题;Mooney^[51]探讨了若干典型微形态单元的环境指标意义。

4.3 在考古学上的应用

通过文化遗址内沉积物的微形态特征来恢复历史时期人类的活动方式和环境特征是一种有效的考古手段,在近些年取得了大量的成果,特别在欧洲、中亚、中美洲等地的考古研究中做了许多土壤微形态研究工作。Courty等^[52]出版的《考古学中的土壤和微形态分析》,建立了一套相对独立的研究方法;靳桂云^[53]、Kooistra等^[54]对这方面的研究进行了初步的总结;Kemp等^[55]和Chatre等^[56]通过微形态研究,初步复原了古耕作土壤的特征和耕作方式;Wilson等^[57]和董广辉等^[58]从土壤微形态中提取了有关史前土壤管理的有关信息;庞奖励等^[19]对关中地区若干文化遗址区土壤微形态的研究,识别出古耕作土壤的若干特征;崔海亭等^[59]对文化遗址中碳屑显微结构研究,重建了历史时期研究区的自然景观。

5 土壤微形态研究的问题和展望

5.1 土壤微形态成果资料尚需不断积累

微形态仅仅是对土壤在“微小尺度”上的研究,现有成果主要基于对典型剖面研究所得的,其是否具有简单的线性关系而能可靠地应用到“大尺度”的土壤问题,尚需要通过研究大量同类剖面来进一步验证,目前积累的资料远远不够。因此,未来需要通过研究更多的同类剖面来提取一些共性规律,这样才能提高“微观尺度”研究成果的可靠性和应用价值。

5.2 进一步解译典型微形态单元的意义

尽管土壤微形态包含有土壤形成过程、土壤质量、土地利用和管理等方面的丰富信息,但是这些信息往往互相叠加在一起,如何将这些不同的信息准确分离和提取出来,一直是科学家期待解决但目前尚未彻底解决的问题,这仍将是未来土壤微形态研究不可回避的问题,建立微形态指标体系就是今后研究中一个急需解决的问题。

5.3 提高对微结构单元厘定的准确程度

图象识别是以灰度为基础进行的,具有识别和测量速度快的特点。矿物风化程度的差异对于研究土壤发育有利,但风化强度的差异又使得土壤矿物变异,使其干涉色不均匀,加之制片过程中的切割方向与矿

物光轴夹角的不同、薄片厚度不均等原因,使相同矿物或微形态单元干涉色往往是在一个颜色范围内。尽管这种现象不影响镜下的直接观察,但会显著影响计算机对微结构单元识别的准确率,这是今后研究中必需解决的问题。

5.4 加强 GIS 技术与土壤微形态结合的研究

GIS 技术是实现二维图像转换为三维图像的关键,要将针对于宏观对象开发的 GIS 技术移植到以微观对象为主的土壤微形态研究中,这一过程中仍有一些技术问题,需要进行大量的实例研究和验证。

5.5 加强有关基础工作研究

矿物种类和矿物组合的变化是土壤微形态研究的重要内容,在研究中应增强和丰富矿物学知识。交流语言的混乱直接影响着不同区域资料或不同研究者的资料之间交流,因此应加强通用微形态术语的推广和使用。本文认为在我国大力推广由 Bullock^[8]和 Stoops^[9]提出的已被世界多数学者接受的微形态术语体系尤为必要。但鉴于我国土壤微形态研究的现状,首先应该做好上述成果的翻译工作,由土壤学有关权威机构对上述成果进行翻译,这既能对文中所涉“土壤微形态术语”进行正确解译,也能对标准术语在我国的使用起示范作用。

参考文献:

- [1] Stoops G. Achievements in micromorphology. *Catena*, 2003, 54: 1-318
- [2] 赵其国. 第 18 届国际土壤学大会综述. *土壤*, 2007, 39 (1): 2-18
- [3] Kubiena WL 著(李连捷译). 土壤地理的微形态特征. 北京: 科学出版社, 1979
- [4] Brewer R. Fabric and Mineral Analysis of Soils. New York: John Wiley & Sons, 1964
- [5] 帕尔芬诺娃 EH 等著(曹升庚译). 土壤微形态研究指南. 北京: 农业出版社, 1987
- [6] Jongerius A, Rutherford GK. Glossary of Soil Micromorphology. Wageningen, The Netherlands: Centre of Publication and Documentation, 1979
- [7] 黄瑞采. 土壤微形态学发展及应用. 北京: 高等教育出版社, 1990
- [8] Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, Stoops G, Tursina T, Babel U. Handbook for Soil Thin Section Description. Wolverhampton, UK: WAINE Research Publications, 1985
- [9] Stoops G. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc., 2003
- [10] 王英华, 张绍平, 潘荣胜. 阴极发光技术在地质学中的应用. 北京: 地质出版社, 1990
- [11] Steven GD, Larry DM. Epi-fluorescence micromorphology of saprolite reveals evidence for colloid retention in microscale pore systems. *Geoderma*, 2004, 121(1/2): 143-152
- [12] 宋菲. 扫描电子显微镜及能谱分析技术在黄土微结构研究上的应用. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(3): 216-219
- [13] Holly EA, Edward NA. Use of scanning electron microscopy to investigate records of soil weathering preserved in lake sediment. *Holocene*, 2003, 13(1): 51-60
- [14] 贺秀斌, 冯桓, 冯兆东. 土壤显微结构的 X 光同步加速器计算机三维图像透视技术. *土壤学报*, 2005, 42(2): 328-330
- [15] 李德成, Velde B, 张桃林. 利用土壤切片的数字图像定量评价土壤孔隙变异度和复杂度. *土壤学报*, 2003, 40(5): 678-682
- [16] 李德成, 张桃林, Velde B. CT 分析技术在土壤科学研究中的应用. *土壤*, 2002, 34(6): 328-332
- [17] Aydemir S, Keskin S, Drees LR. Quantification of soil features using digital image processing (DIP) techniques. *Geoderma*, 2004, 119(1/2): 1-8
- [18] Lima HV, Silva AP, Santos MC, Cooper M, Romero RE. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceara (Brazil). *Geoderma*, 2006, 132 (3/4): 416-426
- [19] Pang JL, Hu XE, Huang CC, Zhang X. Micromorphological features of old cultivated and modern soils in Guanzhong areas, Shaanxi Province, China. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 6(5): 691-699
- [20] 熊芳敏. 土壤显微图像三维重建系统. *广东工业大学学报*, 2005, 22(3): 86-90
- [21] Donald AD, Ian CG. Relationships between biodiversity and soil structure and function: Evidence from laboratory and field experiments. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(2): 176-185
- [22] 贺秀斌, 唐克丽, 张成娥, 王益权. 农业生态与土地退化的土壤微形态研究. *土壤与环境*, 2001, 10(3): 234-237
- [23] Williams A, Xing BS, Veneman P. Effect of cultivation on soil organic matter and aggregate stability. *Pedosphere*, 2005, 15(2): 255-262
- [24] Ampe C, Langohr R. Morphological characterization of humus forms in recent coastal dune ecosystems in Belgium and northern France. *Catena*, 2003, 54: 363-383
- [25] 仇荣亮, 吴箐, 吕越娜, 梁振海. 不同生态条件下海涂土壤的微形态特征. *热带亚热带土壤科学*, 1994, 3(2): 105-109
- [26] 张元明. 荒漠地表生物土壤结皮的微结构及其早期发育特征. *科学通报*, 2005, 50(1): 42-47
- [27] 闫立梅, 王丽华. 不同龄温室土壤微形态结构与特征. *山东农业科学*, 2004(3): 60-61

- [28] Ricks DP, Ransom MD, Kluitenberg GJ, Finnell PR. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 1916–1926
- [29] Costantini EAC, Pellegrini S, Vignozzi N, Barbetti R. Micromorphological characterization and monitoring of internal drainage in soils of vineyards and olive groves in central Italy. *Geoderma*, 2006, 131(3/4): 388–403
- [30] Sveistrup TE, Haraldsen TK, Langohr R, Marcelino V, Kværner J. Impact of land use and seasonal freezing on morphological and physical properties of silty Norwegian soils. *Soil and Tillage Research*, 2005, 81(1): 39–56
- [31] 张甘霖, 龚子同. 水耕人为土某些氧化还原形态特征的微结构和形成机理. *土壤学报*, 2001, 38(1): 10–16
- [32] 何毓蓉, 黄成敏, 周红艺. 成都平原水耕人为土诊断层的微形态特征与土壤基层分类. *山地学报*, 2002, 20(2): 157–163
- [33] Uson A, Poch RM. Effects of tillage and management practices on soil crust morphology under a mediterranean environment. *Soil & Tillage Research*, 2000, 54 (3/4): 191–196
- [34] Heenan DP, Chan KY, Knight PG. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil & Tillage Research*, 2004, 76: 59–68
- [35] 东野光亮, 史衍玺, 李贻学. 从微形态特征看砂姜黑土土地资源的利用改良. *土壤通报*, 2000, 31(2): 52–55
- [36] 谢萍若, 左敬兰, 国际翔. 我国辽西几种褐土的微形态研究. *土壤学报*, 1985, 22(2): 177–181
- [37] Golovanov DL, Lebedeva-Verba MP, Dorokhova MF. Micromorphological and microbiological characterization of elementary soil-forming processes in desert soils of Mongolia. *Eurasian Soil Science*, 2005, 38 (12): 1290–1300
- [38] Pustovoytov KE. Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 177(1/2): 199–214
- [39] Wakindiki IC, Ben-Hur M. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 66 (3): 897–905
- [40] Dorronsoro C. Micromorphological index for the evaluation of soil evolution in central Spain. *Geoderma*, 1994, 61: 237–250
- [41] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义. *土壤学报*, 1994, 31(1): 18–25
- [42] 何毓蓉. 四川盆地丘陵区紫色土侵蚀的微形态特征及水土保持意义. *中国水土保持*, 1985 (3): 1–5
- [43] 东野光亮, 齐伟, 王瑗玲. 黄河三角洲土壤抗蚀性的微观研究. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 100–103
- [44] 郭正堂, Fedoroff N, 刘东生. 130 ka 来黄土—古土壤序列的典型微形态特征与古气候事件. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(5): 392–398
- [45] 李叙勇, 李保国, 石元春. 土壤发育指数及其在黄土—古土壤序列中的应用. *土壤学报*, 2001, 38(2): 153–159
- [46] 庞奖励, 黄春长, 陈宝群. 黄土高原南部全新世土壤微结构形成机理探讨. *地理研究*, 2002, 21(4): 487–494
- [47] 薛祥煦, 赵景波. 陕西旬邑新近纪红粘土微形态特征及其意义. *沉积学报*, 2003, 21(3): 448–452
- [48] 尹秋珍, 郭正堂, 方小敏. 海南砖红壤的微形态特征以及南方网纹红土与砖红壤环境意义的差异. *土壤学报*, 2006, 43(3): 353–361
- [49] Scarcigliaa F, Terribileb F, Colombo C. Micromorphological evidence of paleoenvironmental changes in northern Cilento (south Italy) during the Late Quaternary. *Catena*, 2003, 54: 515–536
- [50] Khormali F, Abtahi A, Stoops G. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars province, southern Iran. *Geoderma*, 2006, 132(1/2): 31–46
- [51] Mooney SJ. Using micromorphology to understand the rewetting mechanisms in milled peat. *Catena*, 2003, 54: 665–678
- [52] Courty MA, Goldberg P, Macphail RI. *Soil Micromorphology in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989
- [53] 靳桂云. 土壤微形态分析及其在考古学中的应用. *地球科学进展*, 1999, 14(2): 197–200
- [54] Kooistra MJ, Kooistra LI. Integrated research in archaeology using soil micromorphology and palynology. *Catena*, 2003, 54(3): 603–617
- [55] Kemp R, Branch N, Silva B, Meddens F, Williams A, Kendall A, Vivanco C. Pedosedimentary, cultural and environmental significance of paleosols within pre-hispanic agricultural terraces in the southern Peruvian Andes. *Quaternary International*, 2006, 158(1): 13–22
- [56] Chatre LM, Bresson LM, Valentin C, Norton LD. Micromorphological indications of anthropogenically induced soil structural degradation // *Transactions of 15th World Congress of Soil Science*. Acapulco, Mexico, 1994(6a): 206–228
- [57] Wilson C, Simpson IA, Currie EJ. Soil management in pre-hispanic raised field systems: Micromorphological evidence from Hacienda Zuleta, Ecuador. *Geoarchaeology*, 2002, 17 (3): 261–283
- [58] 董广辉, 夏正楷, 刘德成. 青海喇家遗址内外的土壤微形态初步分析. *水土保持研究*, 2005, 12(4): 5–6
- [59] 崔海亭, 李宜垠, 胡金明, 腰希申, 李旸. 利用碳屑显微结构复原青铜时代的植被. *科学通报*, 2002, 47(19): 1504–1507

On Advances in and Prospects of Soil Micromorphology

PANG Jiang-li, HUAI Tai, QIU Hai-yan, WEN Qing, GUO Mei-juan

(*College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China*)

Abstract: This paper, based on the analyses of various literatures, summarized and reviewed the advances in and prospects of soil micromorphology from the observation method, quantitative measurement of micromorphological unit, describing term and appliance.

Key words: Soil micromorphology, Describing term, Observation method