

李小雁. 水文土壤学面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 557-562. [Li Xiaoyan. Opportunity and challenges for hydropedology [J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 557-562.]

水文土壤学面临的机遇与挑战*

李小雁^{1,2}

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要:水文土壤学是以土壤发生学、土壤物理学和水文学为主的新兴交叉学科, 综合研究不同时空尺度土壤与水的相互作用关系, 在地球表层系统科学综合集成研究中具有特殊地位和重要作用。阐述了水文土壤学形成背景与内涵、学科与理论基础及研究进展, 并展望未来面临的机遇与挑战。水文土壤学重点解决以下2个科学问题: ①土壤结构及土壤—景观分布格局在不同时空尺度上如何主导和影响水文过程以及与其相关的生物地球化学循环和生态系统演变; ②景观系统水文过程如何影响土壤发育、演变、异质性及其功能。水文土壤学面临研究方法和理论创新、多尺度综合观测网络体系构建及人才培养等方面的挑战。

关键词:水文土壤学; 土壤发生学; 土壤物理学; 水文学

中图分类号: S15; P33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8166(2012)05-0557-06

1 引言

水文土壤学(Hydropedology)是一门有关土壤学和水文学的新兴综合交叉学科^[1-3]。自2002年美国土壤学会、农学会和作物学会共同成立水文土壤学工作组以来, 水文土壤学在世界各地受到不同领域科学工作者的高度关注。2006年第18届世界土壤学大会和2008年第一届国际水文土壤学会议提升了水文土壤学在地球表层系统科学综合研究中的特殊地位和重要作用, 极大地推动了水文土壤学的迅速发展。2012年7月22~27日第二届国际水文土壤学会议将在德国莱比锡召开, 会议拟在水文土壤学新技术和新方法、土壤发生过程与空间结构量化、数据网络监测与模型模拟、土壤生态服务价值及学科综合交叉等方面取得新进展。

水文土壤学在我国的发展相对滞后, 目前处于概念引入和初步认识阶段。2007年10月中国土壤

学会土壤生态专业委员会主办了“水文土壤学研究和应用领域”国际讲学班, 2010年7月北京师范大学和中国农业大学共同主办了“水文土壤学与地球关键带前沿研究及应用”国际研讨会, 促进了水文土壤学在我国的引入与发展。《2010—2011土壤学学科发展报告》把水文土壤学列为未来土壤科学发展的一个重要学科方向^[4]。

然而, 国内外一些学者对水文土壤学具有不同看法。国际水学期刊 *Journal of Hydrology* 主编 Baveye^[5] 最近撰文就水文学分支学科问题展开讨论, 明确指出水文土壤学并没有真正解决水文学和土壤物理学未解决的问题, 对该学科存在的必要性提出质疑。水文土壤学的积极倡导者 Lin^[6] 就 Baveye 观点进行了反驳, 同时强调了水文土壤学的综合交叉特点及其在地球科学研究中的特殊位置。在当前新兴交叉学科不断涌现与大发展阶段, 如何正确认识和倡导健康有序的前沿交叉学科建设十分重

* 收稿日期: 2011-10-31; 修回日期: 2012-04-02.

* 基金项目: 国家杰出青年科学基金项目“半干旱区土壤水文过程与植被响应”(编号: 41025001); 国家自然科学基金重点项目“青海湖流域生态水文过程与水分收支研究”(编号: 41130640); 长江学者和创新团队计划“土壤水文与土壤侵蚀”(编号: IRT1108)资助。

作者简介: 李小雁(1970-), 男, 甘肃静宁人, 教授, 主要从事土壤水文与生态水文研究. E-mail: xyli@bnu.edu.cn

要。本文从水文土壤学的发展背景入手,阐述水文土壤学的内涵、理论与学科基础及关键科学问题,回顾近年来取得的进展,并展望未来面临的机遇与挑战,以期国内学者对水文土壤学有更深入的认识,并推动水文土壤学在我国取得进一步发展。

2 水文土壤学的背景与内涵

水文土壤学 (Hydropedology) 术语是由水文学 (Hydrology) 和土壤发生学 (Pedology) 2 个英语词条组合而成。Pedology 是研究土壤的形成演变过程及其与环境因子之间关系的科学,是理解土壤现状、历史演变和未来发展方向的基础。20 世纪 60 年代,捷克斯洛伐克学者 Kutilek 等^[7,8]认识到需要把土壤物理学理论和土壤发生学理论结合起来研究不同时空尺度的土壤—水分作用关系,并首次提出 Hydropedology 术语,描述土壤水分及其运移过程的土壤发生学特性。

在全球环境变化问题日益突出的背景下,地球圈层和环境变化研究需要注重土壤与环境之间的多尺度联系以及不同时间尺度内土壤演变的定量描述,特别是人为活动对土壤变化的影响^[4]。土壤学科本身的纵向发展已经不能满足地球系统科学综合研究的需要,土壤学科与其他学科的联系越来越紧密,学科的交叉性与综合性成为一种发展趋势^[4]。土壤和水作为地球表层系统的重要组成部分,相互作用相互联系,前者为生物的生存发展提供了必要的养分、水分及适宜的物理条件,是连接各圈层的重要纽带,是许多生物物理化学过程进行的主要场所;后者是圈层间进行物质能量交换的主要驱动力之一,是物质与能量的主要载体。由于土壤演化与水分运移和循环密切相关,水土的整合研究成为当前地球表层系统研究的迫切需求,从而也促进了水文土壤学的产生和发展^[9]。

2003 年 Lin 提出 Hydropedology 为土壤学 (Soil Science) 和水文学 (Hydrology) 的一门新兴交叉学科,并定义为“以景观—土壤—水系统为研究对象,以土壤结构的自然属性和水的驱动特性为基础,综合研究不同时间和空间尺度上的土壤与水相互作用的物理、化学和生物过程及其反馈机制,包括水分和化学物质运移、能量转化以及土壤分布与水文过程和地貌过程的相互作用关系等,揭示水分在土壤中的运动规律及其对土壤发育和功能的内在影响机理”^[2, 10]。

水文土壤学旨在解决 2 个基本科学问题:①土

壤结构 (soil architecture) 及土壤—景观分布格局在不同时空尺度如何主导和影响水文过程以及与其相关的生物地球化学循环和生态系统演变;②景观系统水文过程如何影响土壤发育、演变、异质性及功能^[2, 6]。

水文土壤学强调不同系统间的相互联系及其界面间的通量和动态变化,可实现不同学科、空间尺度和数据资料间的融合和应用,解决土壤孔隙—土体—流域—区域甚至全球尺度的空间转换问题,有助于深入认识和解决当前生态、环境、农业、地质和自然资源领域的重要科学问题,可广泛应用于流域水文循环与水管理、土地退化与生态修复、全球变化及其响应、养分循环、土壤污染和精准农业等领域。

3 水文土壤学的学科与理论基础

近代土壤科学是在 19 世纪中后期植物营养学说和土壤发生学与地理学科兴起的基础上发展起来的。经过近 160 年的发展并随着地球科学、生命科学和技术科学的进步,土壤学形成了以物质形态、性质和功能为中心的独特理论和研究方法,成为 20 世纪以来资源、环境和生态科学的支撑性基础科学^[4]。按照中华人民共和国学科分类标准 (GBT 13745-2009),土壤学属于农学类的一级学科,包括 13 个二级学科,即土壤物理学、土壤化学、土壤地理学、土壤生物学、土壤生态学、土壤耕作学、土壤改良学、土壤肥料学、土壤分类学、土壤环境学、土壤调查与评价、土壤修复、土壤学其他学科。水文学是地球科学的一个重要组成部分,与土壤科学、大气科学、地质学、地理学密切相关。水文学是研究地球上水的性质、分布、循环、运动变化规律及其与地理环境、人类社会之间相互关系的科学^[11]。在新的学科分类体系中,它属于地球科学类的一级学科。水文学的二级学科包括水文物理学、水文化学、水文地理学、水文气象学、水文测量、水文图学、湖沼学、河流学与河口水文学、地下水文学、区域水文学、生态水文学和水文学其他学科。在以上学科分类体系中,土壤物理学是与水、土研究最密切的学科,主要研究土壤中固体、液体、气体三相体系的物理现象及其变化规律。内容包括:土壤水分的保持和移动及其对植物的有效性,土壤空气的组成与交换,热的传导与转化,土壤固相的组成与排列,土壤的力学性质和电、磁性质等。传统土壤物理学主要集中在微观实验研究方面,而土壤发生学主要借助于野外土壤剖面的观察和描述探究景观尺度土壤的形成、分类、分

布特征和土壤制图等,水文学则主要关注区域或流域尺度水文过程,通过定点观测、野外查勘和室内外实验等手段,获得水体时空分布和运动变化信息。以上学科都侧重于各自领域纵深研究,缺乏交叉渗透研究,在研究方法、尺度和资料对接方面存在很大的鸿沟,严重限制了地球系统科学和当前重大生态环境问题的系统深入^[3]。

水文学土壤学是一级学科土壤学和水文学的交叉学科,它是土壤学二级学科土壤发生学和土壤物理学为核心的综合交叉学科,还涉及到土壤学、水文学、地理学和地质学的其他分支学科,如土壤化学、土壤生物学、土壤力学、水文气象学、水文地质学、生态水文学、地貌学和自然地理学等,根据 Lin^[1] 水文学土壤学学科体系图和我国学科分类标准 (GBT 13745-2009),水文学土壤学与其他学科的关系可以概化为图 1 所示。

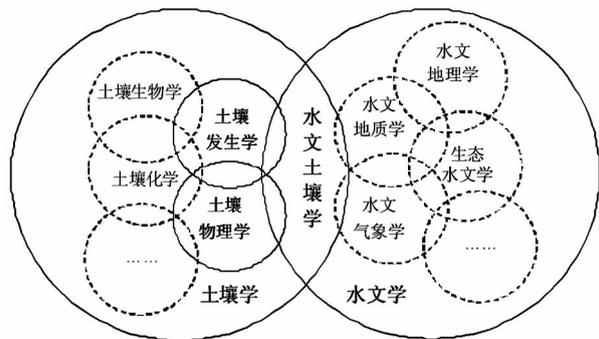


图 1 水文学土壤学与其他学科关系

Fig. 1 Relationships of hydropedology to other related disciplines

水文学土壤学的核心理论基础是道库恰耶夫的土壤形成因素学说,认为土壤是在气候、生物、母质、地形和时间综合作用下形成的独立自然体^[10]。水文学土壤学试图通过不同时空尺度土壤与水文过程相互作用过程与耦合机理整合研究,建立水土过程与环境因子及人类活动影响的定量关系。水文学土壤学的科学思想表现在以下几个方面:①水文学土壤学继承了土壤发生学思想,强调土壤的自然属性,认为土壤是具有一定土体结构、剖面形态和生命力的综合体,传统的土壤研究方法如土壤挖掘、筛分和研磨破坏了已有土壤结构,很难代表土壤真实情况, Lin^[12] 很形象地比喻目前的土壤研究方法就像“牛排”,而真实的土壤是有生命的“牛”,因此水文学土壤学需要改变传统土壤研究方法,建立其相应的理论与方法体系。②水文学土壤学是水文地质学 (Hydrogeology) 的

姊妹学科,研究土壤非饱和带(包气带)的土壤与水文过程之间的交互作用与特性,而水文地质学则研究土壤饱和带地下水与岩层相互作用关系。传统的土壤学主要侧重于从地表到植物根层(一般在 0~2 m 范围内)土壤性质的变化,常常忽略了根层以下到地下水以上深层包气带部位,而且土壤中的水分和物质迁移研究大多是在没有考虑生物因素影响条件下进行的,水文学土壤学弥补了土壤学在这方面研究的不足。③水文学土壤学拓宽了土壤物理学研究范围,强调土壤空间变异性及其对水分运移的影响。由于土壤结构的非均质性、时空变异性以及土壤与环境因子之间的非线性关系,这些建立在传统均匀介质/有效介质假设基础上的土壤物理学理论难以描述土壤中各种复杂的物质、能量交换过程^[13]。例如受土壤结构和理化性质、植被、地形、地质、地貌、土地利用等因素影响,土壤水分运动呈现空间异质性特征,传统土壤物理学的许多水分运移模型(例如达西定律,霍顿产流理论、理查德方程)都假设土壤为均质介质,不能真实反映和准确解释水分在异质性土壤中的流动速度、路径和动态变化过程(例如壤中流和优势流)。因此,土壤异质性及其水文参数定量表达是水文学土壤学研究的一个重点。④水文学土壤学为土壤发生学、土壤物理学和水文学的研究尺度对接和资料的融合应用提供桥梁纽带作用。通过实验监测、模型模拟和分类制图相联合的研究方法,在空间尺度上建立土壤孔隙—土体—坡面—流域、区域甚至全球的尺度转换理论和方法,实现土壤分类调查、土壤物理实验参数和水文测验资料的集成联合应用。⑤水文学土壤学强调综合集成研究,在“地球关键带”研究中扮演重要角色。地球关键带(Earth's Critical Zone)由美国国家科研委员会于 2001 年提出,是陆地生态系统中土壤圈及其与大气圈、生物圈、水圈和岩石圈物质迁移和能量交换的交汇区域,也是维系地球生态系统功能和人类生存的关键区域,被认为是 21 世纪基础科学研究的重点区域^[14]。地球关键带在垂直方向上包括从植被冠层到地下含水层底部的区域,水和土壤是其主要组成部分,在不同时空尺度上存在着复杂的相互作用关系。水文学土壤学在地球关键带研究中处于核心关键位置,更多联系了土壤与土壤水分以及水环境,可以联接生态水文学、生物地球化学等学科实现地球关键带的集成研究^[6, 15]。

4 水文学土壤学的主要进展

水文学土壤学自 2003 年提出以来,在理论和方法

研究方面取得了较快的发展,2006—2011 年分别在 *Geoderma*, *Geophysical Research Letters*, *Catena*, *Hydrology and Earth System Science*, *Journal of Hydrology* 和 *Vadose Zone Journal* 国际期刊出版有关水文学土壤学特刊 5 期,并将在 2012 年出版水文学土壤学学术专著“Hydropedology: Architecture and Function of Complex Geoderma”和“Hydropedology: Synergistic Integration of Soil Science and Hydrology”。在理论研究方面 Lin^[16] 利用物理学熵变理论提出了主导土壤时空演变的 3 个基本原理和土壤优势流空间网络结构理论^[17]。在流域尺度上,已开展了将土壤发生学分类体系结合水文响应单元构建流域水文学土壤图研究^[18,19]。在土壤微结构和水分运移研究方面,非接触性观测和多参数的同步定位测定技术已开始广泛应用于土壤孔隙、结构和优势流研究。如 CT 技术应用于土壤结构、孔隙的观测和结皮形成的研究,便携式 CT 已开始应用于田间土壤、水分和植物的观测研究。TDR、FDR、TDT 和热脉冲—TDR 等多功能探头实现了土壤含水量、电导率、温度、导热率、热容量的连续定位测定,并可间接获得土壤容重、孔隙度等特性的动态,为深入研究土壤中水、热和溶质的耦合机理提供了条件^[13]。

另外,水文学土壤学借助于国际地球关键带观测网络体系(Critical Zone Observatory, CZO)初步形成了水文学土壤学监测与研究联盟。以美国国家科学基金会和欧盟为主导的 CZO 观测站主要分布在美国(6 个)、德国(TERENO, 4 个)、瑞典(Damma Glacier, 1 个)、希腊(Koiliaris River, 1 个)、捷克斯洛伐克(Lysina, 1 个)和澳大利亚(Fuchsenbigl, 1 个)^[20]。CZO 是一个整合了不同学科的大型研究计划,包含了水文学土壤学的主要研究内容。我国建立了比较完备的国家生态系统观测研究网络,但在不同尺度水文学土壤学参数监测方面还远远不够。

5 水文学土壤学面临的挑战

全球突出的生态环境问题如土地退化、粮食安全、环境污染等都和水土密切相关,而且目前土壤学中与土壤水文相关的悬而未决的问题限制了其他学科的发展,土壤学科成为最后一个学科“前沿领域(the final frontier)”^[21,22]。地球系统科学多学科交叉综合与集成研究的需要也为水文学土壤学提供了难得的发展机遇。水文学土壤学需要解决的关键难点科学问题包括:土壤结构的定量化及其对土壤水分和溶质运移的影响机理、不同时空尺度土壤演变与水

文过程相互作用机制及控制因子识别、尺度转换的理论与方法、人类活动对土壤与水文过程的影响、水文学土壤学综合观测技术等^[3]。由于水文学土壤学的发展时间较短,缺乏具备交叉学科背景的研究人员,以及受观测技术的限制等,目前水文学土壤学面临着以下的困境和挑战。

5.1 研究方法和理论创新

现代土壤科学是建立在 19 世纪中期德国化学家李比希的“植物矿质营养学说”,19 世纪末至 20 世纪初俄国的道库恰耶夫的土壤发生学基础上发展起来的,形成了以土壤营养元素化验分析和土壤质地为主的土壤肥力与土壤发生分类等研究体系。在土壤水分研究方面,1907 年 Buckingham 首次提出用能量观点进行土壤水研究,1920 年 Gardner 将土壤水含量和土壤水能量联系起来,1928 年 Richards 提出了土壤总水势的概念,并在 1931 年提出著名的描述土壤水分运动的 Richards 方程,标志着现代土壤物理学的诞生,这些理论和方法上的创新促进了土壤水分定量研究的大发展^[13]。土壤物理学经过近一个世纪的发展,在点尺度均质土壤的过程机制、模型模拟方面已经建立起比较完善的体系,但在异质性土壤的非平衡水流和溶质迁移研究方面进展缓慢^[4]。在土壤物理学研究基础上,水文学土壤学需要在“真实”土壤结构定量描述与模拟方面取得进展,要借鉴“人体”生命科学研究的新技术和方法对土壤进行精量化研究,解析土壤发生过程中的水文与土壤环境要素及空间关系,实现道库恰耶夫土壤形成理论和达西定律土壤水分运动理论的融合应用,建立土壤自组织空间分布网络结构与水分运移理论。同时,利用物理学等其他学科理论(如耗散结构理论)研究土壤的时空演变规律。在研究方法上,水文学土壤学要突破传统破坏土壤结构的取样和分析方法,进一步全面发展非接触性观测技术和多参数测定技术;同时还要借助先进的数学和计算机模拟技术(如分形数学、混沌模型和最优算法等),进行水文学土壤参数估计。在宏观尺度上,还需利用 3S(GIS、GPS 和 RS)技术,实现土壤物理过程从微观尺度向大尺度转变。

5.2 多尺度水文学土壤学综合观测网络体系

土壤是一个具有多样生物学组分和非线性物理学特征的系统,而具有这种特征的根本原因,是纳米尺度到区域尺度的异质性^[13]。地表空间异质性及其土壤水文参数的多尺度定量表达是水文学土壤学面临的一个主要挑战,关键是对不同空间尺度(土

壤孔隙—土体—坡面—流域—区域)的土壤与水文作用过程、机理和控制因子缺乏系统深入理解,缺乏多要素、多尺度的土壤—水文过程耦合与综合观测系统和研究体系,没有准确可靠的尺度转换理论和方法,无法实现不同尺度上土壤和水文信息的转换。在多尺度的土壤体系中,主要是在等级框架概念下,利用不同等级水平的相关性将各尺度联系起来,但各等级间的不连续性使尺度转换过程存在极大不确定性。在水文尺度研究方面,目前主要基于“上推”和“下推”的基本假定,即中小尺度上原理和等式同样适用于描述大尺度过程,将中小尺度的水文观测因子代入大尺度的水文模型中,忽略了不同尺度上水文及其他地表过程的时空异质性,在模拟真实水文动态变化中存在极大的不确定性。近年发展较快的分布式水文模型尽管考虑了空间异质性,但没有从空间异质性自身内在规律上根本解决尺度转换问题,在划分水文单元时缺乏对土壤异质性考虑。在水文观测尺度中,如何确定不同水文过程的阈值尺度以使类内差异最小、类间差异最大是实现尺度转换中有效真实数据获取的关键,而该阈值的大小又与土壤结构功能单元有关。因此需要建立多尺度水文土壤学综合观测网络体系,为解决土壤和水文的时空尺度转换问题提供实验基础。

Lin^[9]提出了3M(Mapping-Monitoring-Modeling)模式,即通过在全球建立长期定位水文土壤学监测网络体系,获取可靠的、连续的土壤—水文时间序列数据,从而为不同尺度模型建立提供大量的数据资料,并作为最终模型优劣度的评判标准;基于该量化模型,可实现区域尺度上土壤水文功能单元的分区制图,用于实际水土资源管理及风险评价的参考依据。

5.3 人才培养

水文土壤学研究需要具有土壤学、水文学及地质和生态学相关专业背景的综合知识人才,但目前土壤学和水文学专业培养的人才知识面相对单一,掌握的知识主要局限于土壤学或水文学各自专业领域,缺乏同时具备土壤和水文知识,又具有很好数学、物理和计算机知识和技能的人才。美国宾夕法尼亚大学 Henry Lin 已经开设水文土壤学研究生课程,培养相关人才。我国需要重视水文和土壤交叉学科人才的培养,扩大国际交流与合作,缩短与国外的研究差距。

参考文献(References):

[1] Lin H S. Hydropedology: Bridging disciplines, scales, and data

- [J]. *Vadose Zone Journal*, 2003, 2(1): 1-11.
- [2] Lin H S, Bouma J, Wilding L, et al. Advances in hydropedology [J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 85: 1-89.
- [3] Li Xiaoyan, Ma Yujun. Hydropedology: A new interdisciplinary field related to soil science and hydrology [J]. *Science & Technology Review*, 2008, 26(9): 78-82. [李小雁, 马育军. 水文土壤学: 一门新兴的交叉学科 [J]. 科技导报, 2008, 26(9): 78-82.]
- [4] China Association for Science and Technology, Soil Science Society of China. 2010-2011 Report on Advance in Soil Science [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2011. [中国科学技术协会主编, 中国土壤学会编著. 2010—2011 土壤学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.]
- [5] Baveye P C. Hydropedology, biohydrology, and the compartmentalization of hydrology into sub-disciplines: Necessary evolution or dispersal of efforts? [J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 406(3/4): 137-140.
- [6] Lin H. Hydropedology: Towards new insights into interactive pedologic and hydrologic processes across scales [J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 406(3/4): 141-145.
- [7] Kutflek M. Soil Science in Water Management [M]. Prague: State Publisher of Technical Literature (In Czech: Vodoohospodarska Pedologie), 1966.
- [8] Kutflek M, Nielsen D R. Soil Hydrology [M]. Germany: Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, 1994.
- [9] Lin H. Earth's Critical Zone and hydropedology: Concepts, characteristics, and advances [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2010, 14(1): 25-45.
- [10] Dokuchaev V V. The Russian Steppes and Study of Soil in Russia, It is Past and Present [M]. Crawford J M ed. Petersburg: Ministry of Crown Domains, 1893.
- [11] Huang Xiquan. Hydrology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993. [黄锡荃. 水文学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.]
- [12] Lin H S. Cattle vs. ground beef: What is the difference? [J]. *Soil Survey Horizons*, 2007, 48: 9-10.
- [13] Li Baoguo, Ren Tusheng, Zhang Jiabao. Current status, challenges, and missions in soil physics [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 810-816. [李保国, 任图生, 张佳宝. 土壤物理学研究的现状、挑战与任务 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 810-816.]
- [14] National Research Council (NRC). Basic Research Opportunities in Earth Science [M]. Washington DC: National Academy Press, 2001.
- [15] Li X Y, Yang Z P, Li Y T, et al. Connecting ecohydrology and hydropedology in desert shrubs: Stemflow as a source of preferential flow in soils [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2009, 13(7): 1 133-1 144.
- [16] Lin H. Three principles of soil change and pedogenesis in time and space [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75: 2 049-2 070.
- [17] Lin H. Linking principles of soil formation and flow regimes [J].

- Journal of Hydrology*, 2010, 393(1/2):3-19.
- [18] Bouma J, Droogers P, Sonneveld M P W, *et al.* Hydropedological insights when considering catchment classification[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15(6): 1 909-1 919.
- [19] Vidacek Z, Bogunovic M, Husnjak S. Hydropedological map of the republic of Croatia[J]. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2008, 73:67-74.
- [20] Lin H, Hopmans J W, Richter D D. Interdisciplinary sciences in a global network of critical zone observatories [J]. *Vadose Zone Journal*, 2011, 10(3): 781-785.
- [21] Sugden A, Stone R, Ash C. Ecology in the underworld[J]. *Science*, 2004, 304(5 677): 1 613.
- [22] Baveye P C, Rangel D, Jacobson A R, *et al.* From dust bowl to dust bowl: Soils are still very much a frontier of science[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75(6): 2 037-2 048.

Opportunity and Challenges for Hydropedology

Li Xiaoyan^{1,2}

- (1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China;
2. College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Hydropedology is a new interdisciplinary science between pedology, soil physics and hydrology, which studies the interface between the pedosphere and the hydrosphere, with an emphasis on interactive pedologic and hydrologic processes across scales. Hydropedology plays a prominent and important role in the integrated studies of the near-surface terrestrial system science. This paper reviewed background, disciplinary and theoretical basis, recent advance and key scientific issues of hydropedology, and discussed opportunity and challenges for hydropedology in the near future. Hydropedology aims to holistically address the following two basic questions: ①How do soil architecture and the distribution of soils over the landscape exert a first-order control on hydrologic processes and associated biogeochemical and ecological dynamics across spatio-temporal scales? ②How do landscape hydrologic processes and the associated transport of energy, sediment, chemicals, and biomaterials by flowing water influence soil genesis, evolution, variability, and functions? Future challenges for hydropedology include innovation of method and theory, observatory networks across scales and researcher training.

Key words: Hydropedology; Pedology; Soil physics; Hydrology.