

DOI: 10.5846/stxb201610242164

王晶, 赵文武, 张骁. 地球关键带水文土壤学与自然资源可持续利用——2016 年水文土壤学国际会议述评. 生态学报, 2016, 36(22): - .  
作者. 题目. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): - .

# 地球关键带水文土壤学与自然资源可持续利用 ——2016 年水文土壤学国际会议述评

王 晶, 赵文武\*, 张 骁

北京师范大学 资源学院, 北京 100875

**摘要:** 第三届水文土壤学国际会议于 2016 年 8 月 16 日—19 日在北京师范大学举行, 会议吸引了来自 18 个国家 150 余名专家学者参加。本届会议围绕 7 个主题展开, 分别为: (1) 土壤结构及优势流; (2) 地球关键带科学的观测及模拟; (3) 土壤水文和生态水文的过程交叉; (4) 关键带科学与观测站; (5) 土壤生物物理学与生物化学复合; (6) 水文土壤学与生态水文学; (7) 土壤水分与其它土壤属性。对我国水文土壤学研究主要有以下启示: (1) 推进水文土壤学理论的发展和完善; (2) 注重新技术新方法在水文土壤学中的应用; (3) 加强学科融合, 培养具有多学科背景的人才; (4) 拓展水文土壤学研究的国际合作。

**关键词:** 水文土壤学; 地球关键带; 生态水文

题目

作者

单位

**Abstract:**

**Key Words:**

## 1 大会概况

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<sup>[1,2]</sup>。它是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土壤与水相互作用的物理、化学和生物过程及其反馈机制, 揭示水分在土壤中的运动规律及其对土壤发育和功能内在影响机理的学科<sup>[3]</sup>。地球关键带 (Earth's Critical Zone) 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<sup>[4]</sup>。水和土壤是地球关键带的主要组成部分, 因此对土壤水文的

研究可以解决地球关键带的相关科学问题<sup>[5,6]</sup>。水文土壤学自 2003 年提出以来, 受到学者们的积极关注<sup>[7-11]</sup>, 并于 2008 年、2012 年在美国宾夕法尼亚州、德国莱比锡城举办了第一届、第二届水文土壤学国际会议。为进一步推进水文土壤学的发展, 以地球关键带水文土壤学与自然资源可持续利用为主题的第三届水文土壤学国际会议 (The 3rd International Conference on Hydropedology: Hydropedology and Nature Resources in the Earth's Critical Zone for a Sustainable Utilization) 于 2016 年 8 月 16—19 日在北京举行。来自中国、美国、德国、澳大利亚、加拿大、新西兰等 18 个国家的 150 余名专家学者参加了本届会议。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0501604)

收稿日期: 2016-10-24; 修订日期: 2016-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoww@bnu.edu.cn

会议主要围绕“土壤结构及优势流”、“地球关键带科学的观测及模拟”、“土壤水文和生态水

文的过程交叉”等主题展开,涵盖了水文土壤学的众多前沿领域和热点问题。本文就此次会议中水文土壤学的新进展和热点问题介绍和评述,以期服务于我国水文土壤学的发展。

## 2 水文土壤学研究进展

会议期间,参会代表围绕水文土壤学相关领域的发展和挑战展开了热烈讨论,会议分为七个专题:(1)土壤结构及优势流;(2)地球关键带科学的观测及模拟;(3)土壤水文和生态水文的过程交叉;(4)关键带科学与观测站;(5)土壤生物物理学与生物化学复合;(6)水文土壤学与生态水文学;(7)土壤水分与其它土壤属性。

### 2.1 土壤结构及优势流

土壤结构是由固相土壤颗粒、团聚体和土壤孔隙组成的三维结构<sup>[12]</sup>。土壤结构是影响关键带过程和功能的主要因子。近二十年来,学者们应用层析技术等探索土壤三维微观结构的能力有了显著提高,尤其是x射线计算机断层扫描(X-ray Computed Tomography)技术。但是,要获得大于10 $\mu\text{m}$ 土壤孔隙的分布及它们形状、表面积、密度和连通性的可靠定量信息,土壤结构静态分析已远远不够,亟待进行土壤结构的动态分析。本次会议上,学者们提出了两个新技术,使得人们对土壤结构动力学的监测成为可能。第一,通过分析结构模式的运动来映射土壤样品在压缩过程中的形态变化特征;第二,通过增加砂粒铁含量追踪土壤结构实际状态使其能在CT扫描中被局部化,并将土壤结构周转率定为土壤结构的第四个维度。

优势流(Preferential Flow),又称优先流、非均匀流,是土壤中常见而又重要的水流运动和溶质运移形式<sup>[13,14]</sup>。优势流的概念和一些模型在上世纪90年代就已提出,但目前仍存在一些挑战,例如在更大尺度上准确地预测水流和溶质原状土的位移。会上学者提出他们正尝试用元分析(Meta-analyses)和非侵入性三维x光成像(Non-invasive 3-D X-ray imaging)来解决这一问题,并认为这两者的结合将提高人们对土壤优势流的认识。另外,与会学者还提出了一些其它新方法的应用,例如微波分析可将土

壤水分信号分解为具有不同频率的几部分,从而分析土壤孔隙几何特征与水流的关系。

### 2.2 地球关键带科学的观测及模拟

与会学者对地球关键带科学观测及模拟的探讨主要集中在微观尺度上,大多利用一些测量技术进行点上监测。例如肯尼亚地区降雨减少,导致当地鳄梨树减产,为了使其免于干旱的影响,需提出相应改进措施来减轻干旱。有学者提出安装热脉冲液流监测设备,监测鳄梨树水分利用变化与分配模式细节,通过这些测量可获得详细的关于根对水分吸收及其动力学模型的空间记录,进而有助于采取相应措施来使树木免于干旱的影响;再如将热力时域反射技术(Thermal-TDR)用于原位测定土壤容重和体积含水量等。另外,还有学者在野外使用辛德勒干燥技术(Wind-Schindler Drying Technique)和冷镜式露点仪(Chilled Mirror Hygrometer)来测定土壤体积含水量与土壤水势,可使野外实验和室内实验实现有机结合等。

### 2.3 土壤水文和生态水文的过程交叉

土壤水文和生态水文关系密切,它们既相互影响又相互制约。例如研究不同植被覆盖类型对土壤侵蚀的影响,影响降雨径流和土壤侵蚀常用的具有代表性的指标是降雨量、降雨强度和时间间隔,但是这些指标并不能完全表达降雨信息。对此,有关学者提出用雨强峰值区域(Peak Zone of Rainfall Intensity)和降雨时间内的间歇性降雨(Intra-event Intermittency of Rainfall)来监测中国黄土高原不同覆盖类型降雨模式对径流和土壤侵蚀的影响。此外,与会学者也讨论了在水文学模型中增加土壤参数、用绝对含水量和土壤自由水等指标描述土壤水分特征、典型区域土壤水的空间异质性及其对降雨等影响因子的响应机制等方面的议题。

### 2.4 关键带科学与观测站

对于关键带科学与观测站专题,与会学者们分别从土壤干层、土壤厚度、土壤模型等方面进行了探讨。土壤干层是由气候干旱和不合理土地利用导致土壤干旱的一个重要现象。因此,土壤干层会限制中国黄土高原以及世界其他干旱和半干旱地区生态恢复的可持续发展<sup>[15]</sup>。有学者提出使用SWCCV模型(Soil Water Carrying Capacity for Vegetation Model),可分析土壤水分消耗过程与植被生长、最优

植物密度与生物量的关系,进而优化黄土高原植被结构、控制土壤干层。土壤厚度是土壤表层风化的深度,准确估算其空间分布对水文研究越来越重要,目前建立的模型参数须进行大量采样才可获得,大大限制了对土壤深度的推断和预测。与会学者通过对高分辨率 DEM 图像中地形因子的分析,建立了以地形过程为基础的模型参数估测体系,以更好地估算土壤厚度。此外,关于土壤模型的优化与发展,学者们还建立了国际土壤模型共同体(International Soil Modeling Consortium)网站(<https://soil-modeling.org>)。

### 2.5 土壤生物物理学与生物化学复合

土壤生物物理学与生物化学复合研究可以解决实际生活中所面临的挑战。随着世界人口持续不断增长,需提高作物产量来满足人类的需求。相关研究发现,使用塑料薄膜可提高作物水分利用率,并可尽量减少土壤蒸发、地表径流和深层排水等无意义失水。与会学者认为,使用塑料薄膜不仅可以减少失水还可以改变近地表土壤微环境,如果利用 HYDRUS 2D/3D 模型协助指导农田覆膜可进一步增强农作物用水和提高农作物产量。同时,也可以将非饱和土壤关键带(包气带)中的生物物理和生物化学过程结合起来评估新兴污染物的环境和生态影响。

### 2.6 水文学与生态水文学

土壤表面蒸发是干旱地区水损失的一个重要途径,但当前缺乏有效的技术对其进行连续测量。针对该问题,有学者采用土壤热平衡法和基于表面温度的方法,进行干旱环境下蒸发量的持续监测。在全球变化研究中,估算蒸散量及其组分蒸发和蒸腾的准确性非常重要;对此,与会学者提出用双源变化数据同化(TVDA)系统来更好地测定蒸散量。此外,还有学者提出用直接蒸汽平衡法和微波萃取技术对土壤稳定同位素进行获取与测定。

### 2.7 土壤水分与其它土壤属性

在本专题中,与会学者主要对土壤水分运动和土壤表面热通量进行了探讨。在土壤水分的研究中,学者们认为可以使用宇宙射线中子探测器(Cosmic-ray Neutron Rover)识别土壤水分空间分布的主要影响因素,也可以通过多数据源的融合创建高分辨率区域土壤湿度图,识别潜在的地下水补给。

为了揭示不同空间尺度下土壤水分运动对养分流失的影响,与会学者提出用 5m (Monitoring, Mechanism, Mapping, Modeling and Management) 模式来调查土壤水分运动的机制,计算相应潜流的数量,确定潜流在土体和坡面尺度的氮负荷。土壤表面热通量往往是由表面以下一定深度的土壤总热通量和一定深度以上的热存储率的变化决定。由于获取这些指标非常困难,相关学者提出用多针热脉冲探头(Multi-needle HPP)来测定水稻田土壤表层热通量,进而准确地获得土壤表面热通量。

## 3 会议启示

本届会议对我国未来水文学发展启示如下:

### (1) 推进水文学理论的发展和完善

我国在推进水文学的发展过程中,应该加强理论研究与测量、机理、制图、建模和管理的紧密结合,注重多过程机理模型的综合研究,如地表水-地下水-大气水转化、生态-水文等耦合过程,以便更好地定量预测气候变化和人类活动对土壤结构和功能的影响。

### (2) 注重新技术新方法在水文学中的应用

近年来,在水文学研究中涌现了许多的新技术新方法。但是,相对而言,中国在应用发展新技术新方法方面相对滞后。例如,在水文学监测研究中,进行点上监测可用传感器技术和测量技术,进行大面积面上监测可用遥感技术。遥感技术提供了大范围土壤水文快速监测的途径,如中小范围的土壤水分反演可以使用主动微波遥感技术,在大范围的植被状况、陆面温度、土壤水分等参数的估算可以使用被动微波遥感技术等。由于 RS 在数据获取方面具有宏观和快速的特点,今后我国有待加强对 RS 的运用,以便准确快速地获取相关数据。此外,我国还应该加强对新技术设备的运用,例如安装热脉冲液流监测设备,尤其是在干旱及半干旱地区,有助于获得树木水分利用变化与分配模式细节,从而采取相应措施来使树木免于干旱的影响。

### (3) 加强学科融合,培养具有多学科背景的人才

水文学不仅涉及水文学与土壤学,而且还涉及地理学、土壤生物学、生态水文学、自然地理学等相关学科<sup>[16]</sup>。在推动水文学的发展中,亟待

加强多学科融合。为了实现多学科融合,需要培养具有多学科知识背景的人才,尤其是既具备土壤和水文知识,又具备数学、物理和计算机知识的人才。

#### (4) 拓展水文土壤学研究的国际合作

近年来,我国在水文土壤学研究领域取得了很大进步,但和国外相比仍有一定距离。今后应进一步加强国际学术交流与合作,应用与发展新的水文土壤学理论与方法,结合本国实际,积极提升我国水文土壤学的国际影响力。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Lin H. Hydropedology: Bridging disciplines, scales, and data. *Vadose Zone Journal*, 2003, 2(1): 1-11.
- [ 2 ] Li X Y, Yang Z P, Li Y T, Lin H. Connecting ecohydrology and hydropedology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2009, 13(7): 1133-1144.
- [ 3 ] Lin H, Bouma J, Wilding L, Richardson J L, Kutilek M, Nielsen D R. Advances in hydropedology. *Advances in hydropedology*, 2005, 85: 1-89.
- [ 4 ] Bui E N. Data-driven Critical Zone science: A new paradigm. *Science of the Total Environment*, 2016, 568: 587-593.
- [ 5 ] Hayden E C. California faces arid future. *Nature*, 2015, 526(7571): 14-15.
- [ 6 ] Berdugo M, Soliveres S, Maestre F T. Vascular Plants and Biocrusts Modulate How Abiotic Factors Affect Wetting and Drying Events in Drylands. *Ecosystems*, 2014, 17(7): 1242-1256.
- [ 7 ] Sugden A, Stone R, Ash C. Ecology in the underworld. *Science*, 2004, 304(5677): 1613.
- [ 8 ] Rahn T. Hydrology - Tropical rain recycling. *Nature*, 2007, 445(7127): 495-496.
- [ 9 ] Willett K M, Gillett N P, Jones P D, Thorne P W. Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature*, 2007, 449(7163): 710-716.
- [ 10 ] Tetzlaff D, Birkel C, Dick J, Geris J, Soulsby C. Storage dynamics in hydropedological units control hillslope connectivity, runoff generation, and the evolution of catchment transit time distributions. *Water Resources Research*, 2014, 50(2): 969-985.
- [ 11 ] Bowen G. The diversified economics of soil water. *Nature*, 2015, 525(7567): 43-44.
- [ 12 ] Kim, S. Time series modeling of soil moisture dynamics on a steep mountainous hillside. *Journal of hydrology*, 2016, 536: 37-49.
- [ 13 ] Mooney S J, Morris C. Morphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray computed tomography. *Catena*, 2008, 73(2): 204-211.
- [ 14 ] Liu YJ, Yang J, Hu JM, Tang CJ, Zheng HJ. Characteristics of the surface-subsurface flow generation and sediment yield to the rainfall regime and land-cover by long-term in-situ observation in the red soil region, Southern China. *Journal of hydrology*, 2016, 539: 457-467.
- [ 15 ] Geris J, Tetzlaff D, Soulsby C. Resistance and resilience to droughts; hydropedological controls on catchment storage and run-off response. *Hydrological Processes*, 2015, 29(21): 4579-4593.
- [ 16 ] 张骁, 赵文武. 2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评. *生态学报*, 2014, 34(3): 774-777.