

土壤水资源研究进展及评述^{*}

邬春龙^{1,3}, 穆兴民^{1,2}, 高 鹏^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 通过分析土壤水的资源属性, 回顾土壤水资源研究的主要进展, 在此基础上探讨土壤水资源定义, 并对未来土壤水在水资源中的研究进行了展望。

关键词: 土壤水资源; 水资源定义; 研究进展

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)03-0255-03

A Review of Advances in Soil Water Research

WU Chunlong^{1,3}, MU Xingming^{1,2}, GAO Peng^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: By analyzing the property of resource about soil water resource, this paper presents an overview of current situation on soil water resources issues and conclude its attribute. Based on this issue, soil water resource definition is discussed, and the further research of soil water in water resources is presented.

Key words: soil water resource; water resource definition; research review

土壤水是指存在于地表以下包气带(地下水位以上的土层)中的水^[1], 是地表水、地下水以及大气水相互联系的纽带, 具有其它水资源共有的特性——循环再生性和可调控性^[2], 但是把土壤水作为一种资源研究起源于 20 世纪 80 年代。随着生态环境建设, 土壤水的资源属性越来越受到学者重视。然而对土壤水资源定义和评价理论还不够完善, 为此有必要从概念及理论上对其进行探讨。不仅丰富水资源内涵, 对加快区域生态环境建设有重要的意义。

1 土壤水与资源

1.1 资源的定义

资源《辞海》解释为“资财之源, 一般指天然的财源”。联合国环境规划署(UNEP)对资源的定义:“所谓自然资源, 是指在一定时间、地点的条件下能够产生经济价值的、以提高人类当前和将来福利的自然环境因素和条件的总称”。

1.2 土壤水定义

土壤学中土壤水是指在一个大气压下, 在 105℃ 条件下烘干 24 h 能从土壤中分离出来的水分。这是从土壤水研究形态学观点来定义, 而在水文地质上通常把存在于地面以下包气带中的水称为土壤水。它包括结合水和毛细水, 是地表水与地下水转换的中间环节。

1.3 土壤水的资源属性

无论是大气降水, 还是地下水, 只有转换为土壤水才可

以被植物直接吸收^[3], 由于植被能显著地保持水土和改善生态环境, 与此同时实现经济价值, 为西部大开发提供和谐的环境——提高了人类当前和将来的福利。从联合国环境规划署(UNEP)对资源的定义来看土壤水属于资源的范畴。

土壤能贮藏天然降水, 满足作物生长对水分的需求, 与地面水库的蓄水作用十分相似, 故把包气带的深厚土层看作是一种“土壤水库”^[4]。土壤水虽然不像地表水、地下水那样集中分布或聚集, 也不能由人工直接提取、运输和其他用途的运用, 但人们能够通过间接的开发利用^[5]。它是人类通过利用植物间接利用的天然财源, 属于《辞海》资源阐述范畴。

2 土壤水资源内涵

“土壤水资源”的概念最早有前苏联地理水文学李沃维奇提出。他认为: 土壤水是陆地水循环的重要环节, 积极参与水循环(水分循环角度), 不断得到补给和消耗, 在陆地生物和生命活动工程中起着积极作用; 土壤水是一种可恢复的淡水资源, 土壤水资源具有自然资源的特点和水量平衡的动态属性^[6]。20 世纪 80 年代水文学家布达果夫基亚对土壤水进行了全面的研究^[7-8], 从农业的角度概括了土壤水资源的两大特点, 一是土壤水资源在陆地水相互交换中的积极作用, 其蓄变量影响到地表水与地下水的形成; 二是土壤水资源是植被生长和发育的必要水分因素, 而植物产品是陆地生态系统营养链的首要环节。这充分说明土壤水是一种重要

^{*} 收稿日期: 2007 09 01

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2XB2-05-03); 水利部水土保持研究所前沿领域项目(SW05106)

作者简介: 邬春龙(1981-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 在读硕士, 主要从事生态水文研究。E-mail: wuchunlong05@mails.gucas.ac.cn

通信作者: 穆兴民(1961-), 男, 陕西省渭南市人, 博士, 研究员, 主要从事生态水文研究。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

的自然资源。

我国学者也从不同层面上对土壤水资源进行了论证。水文学家施成熙、粟崇嵩认为:土壤水形成可以向根系持续不断补给的水源(土壤水资源存储量)。刘昌明对土壤水资源的概念做了详细论述,提出了区域多年平均土壤水评价模型^[9]。王浩从经济和生态环境两方面,立足于水循环过程对土壤水资源做了定义^[10],他定义土壤水资源为:赋存于土壤包气带中,具有更新能力,并能被人类生产和生活直接和间接利用的土壤水量和对维持天然生态环境良性循环具有一定作用的土壤水量。关于黄土高原土壤水资源杨文治在《黄土高原土壤水资源植树造林》和穆兴民《试论旱地区土壤水资源的地带性与非地带性》有所论述,将土壤水资源定义为:土壤中实际存储的水分数量,通常用自然储水深(如 mm)或土壤自然含水量(如体积%)表示^[11]。

3 土壤水资源是水资源的组成部分

国内和国际对水资源的含义存在不同看法。如 1894 年美国地质调查局(USGS)定义水资源是作为陆面地表水和地下水的总称,在 2002 年颁布的《中华人民共和国水法》也采用这一定义。水资源的可用性特征进一步被强调,如 1963 年的英国《水资源法》中,认为水资源是“具有足够数量的可用水”,但缺乏可操作性的、科学定量评价的理论和方法。联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)在 1988 年对水资源的定义为:作为水资源的水应当是可供利用或有可能被利用,具有足够数量和可用质量,并可适合某地对水的需求而能长期供应的水源。在我国,各家对水资源的看法明确强调了“有效性、可控性和可再生性”,如刘昌明定义为:“从自然资源的观念出发,水资源可定义为与人类生产与生活有关的天然水源”;陈梦熊定义水资源为:“一切具有利用价值,包括各种不同来源或不同形式的水,均属水资源范畴”;陈家琦定义为:“作为维持人类社会存在并发展的重要自然资源之一的水资源应当具有下列特性:可以按照社会的需要提供或有可能提供的水量;这个水量有可靠的来源,且这个来源可以通过自然界水文循环不断得到更新或补充;这个水量可以由人工加以控制;这个水量及其水质能够适应人类用水的要求”;贺伟程定义为:“水资源主要指与人类社会用水密切相关而又能不断更新的淡水,包括地表水、地下水和土壤水,其补给来源为大气降水”;王浩认为:“水资源是对人类社会经济发展和生态环境保护具有有效用的淡水资源,其来源为大气降水,赋存形态为地表水、土壤水和地下水。水资源在数量上为扣除降水期蒸发的总降水量,通过天然水循环不断得到补充和更新,同时受到开发利用的人工调控和人类活动的其他影响”。随着对水资源认识的提高,根据水资源的自然资源学属性,已经把土壤水资源作为水资源的一种重要形式。

4 土壤水资源研究进展

土壤水早已得到广大土壤、农学及生态学等学科的重视,但并未按照资源特性进行研究。在相当长的时期内,处于定性的描述或用各种经验的方法处理生产实践中不断遇

到的土壤水问题。自 1907 年美国 E. 白金汉提出毛管势理论,1931 年理查兹导出非饱和流方程,数学物理方法被逐步引入了土壤水的研究,使该领域的研究有了长足的进步,逐步由静止走向动态、定性描述走向定量、经验走向机理^[12]。20 世纪 50、60 年代出现 Green Ampt 模型、Philip 入渗公式、Gardner 解法致力于用解析法或者数学值法求解理查兹方程,得出不同类型土壤含水率、土壤水势和导水率的关系^[13]。罗戴 1951 年出版《土壤水》较系统地介绍了用水势观点研究土壤水,在国际潮流上掀起了用能态观点研究土壤水取代以形态学观点与方法研究土壤水的趋势。《土壤和水》^[14]、《土壤物理学的应用》^[15]、《土壤水动力学的计算模拟》等在 20 世纪 70—80 年代陆续发表,以及 90 年代《土壤水文学》^[16]专著问世,将土壤水研究逐步发展成较独立的学科分支。随着人们对土壤水研究的深入及土壤水作为一种资源的客观存在,土壤水逐渐被作为水资源的一个种类型进行研究。在 20 世纪末前苏联学者李沃维奇和水文学家布达果夫斯基对土壤水资源做了较为全面的研究,不仅提出了“土壤水资源”概念,从水资源循环角度阐述了土壤水资源是具有自然资源的特点和水量平衡的动态属性,并从农业的角度概括了土壤水资源的特点。国际地圈生物圈计划(IGBP)在强调界面过程研究中力图把全球物理气候总循环模型(GCMs)与全球水循环模型耦合,土壤水是其中的一部分。

我国 20 世纪 50 年代以来,土壤水探讨主要围绕着农业发展和土壤普查等,研究相对较少。以前苏联罗戴为代表的形态学观点介绍到我国后,土壤水分研究有了积极的影响。1977 年在杭州举行的第一次土壤物理学术讨论会上,首次将土壤水分的能量概念介绍到国内,使得我国土壤水分研究步入一个崭新的阶段^[17]。进入 80 年代以后,我国对土壤水分的研究在理论、方法和手段方面都逐步与国际趋同,土壤水势理论已作为土壤水分定量化研究的理论基础,随着测定土壤水势的方法和仪器已日趋完善,土壤水分运动数值模拟得到了广泛应用。如雷志栋、杨诗秀等所撰写的《土壤水动力学》将有限差分法和有限元法引入;张蔚榛等所著的《地下水与土壤水动力学》是我国首先应用势能理论研究饱和和非饱和土壤水运动及溶质运移问题;荆恩春等著《土壤水分通量法实验研究》总结了零通量面的形成发育规律,从理论上、计算效果及误差分析上,深入研究了零通量面法、定位通量法以及二者的联合应用,揭示了土壤水势突变时定位通量法产生严重误差的机理,首次提出了“纠缠通量法”及其计算公式,解决了零通量面法及定位通量法失效期仍能计算土壤水分通量的难题,取得了突破性进展。邵明安“土壤—植物—大气连续体(SPAC)中水分运移规律”在我国率先较全面地开展了以植物根系吸水为中心的土壤水分有效性动力学研究,建立了根系吸水模式和土壤水分的效性动力学模式,提出了描述土壤—植物系统中水流运动的瞬态流通用模型,发展了传统的 Boltzmann 变换,提出了土壤导水特性的积分方法,获得了最具影响的 Van Genuchten 导水特性模型参数的解析表达式。康绍忠等所著《土壤—植物—大气连续体水分传输理论及其应用》;杨邦杰等所著《土壤水热运动模型及其

应用》创造了以信息技术为基础的现代耕作工程的分析设计方法;李韵珠、李保国编著的《土壤溶质 运移》都反映了我国学者近 10 多年来研究成果的丰硕。

黄土高原土壤水分研究,在新中国成立之前只有若干单项问题研究,没有较系统的研究成果。新中国成立之后,尤其是在 20 世纪 50 年代初期以中国科学院组织的黄河中游水土保持综合科学考察为出发点,关于黄土高原土壤水分研究工作逐步开展起来,包括农田土壤水分循环与平衡、林地和草地土壤水分生态条件。不同土地类型土壤水分条件,黄土高原主要土壤类型土壤水分物理特征等方面的研究工作取得了较系统的研究成果。但就其研究方法而言,多为形态学的定性研究,对土壤水分运动的定量动态研究较少。20 世纪 30 年代至 50 年代,随着水势能概念在土壤水分研究中的逐步完善和应用,特别是随着电子计算机的推广应用,黄土高原土壤水分运移机制,对植物根系吸收土壤水分和土壤水分有效性的动力学机制,对土壤水分的能量状况与之后滞后作用等问题开展了多方面的研究工作,土壤水以能量为基础的动力学研究取得了长足的进步,至此,黄土高原土壤水分的研究发生了由经验到理论、从定性研究到定量研究、或者定性与定量相结合的深刻变化。

5 研究展望

水资源是基础的自然资源,是生态环境的控制性因素之一;同时又是战略性经济资源,是一个国家综合国力的有机组成部分。展望未来,水资源正日益影响全球的环境与发展,甚至可能导致国家间冲突。探讨 21 世纪水资源的国家战略及其相关科学问题,是世纪之交全球共同关注和各国政府的重点议题之一^[18]。国际地圈生物圈计划(IGBP)强调界面过程研究,力图把全球物理气候总循环模型(GCMs)与全球水循环模型耦合,土壤水亦是其中组成部分^[19];随着科学技术的进步,土壤水资源研究理论的不完善,期望对黄土高原区土壤水资源不断深入。如在黄土高原土壤水分是土壤、气候和地貌等自然因素综合作用的产物。降水和土壤蒸发是影响非灌溉地区土壤水资源可再生性的气候基础^[20,21],而坡度和坡向等地形通过影响降水入渗再分配和蒸发影响土壤水资源再生,是土壤水资源形成的重要因素^[21];土层厚度与土壤持水性等土壤性质是决定土壤水资源数量、有效性和判别土壤水资源转化的依据。但目前在土壤水资源的研究评价中,没有一个基本的参照标准,所做工作实际上是对不同植被或作物影响下的土壤储水量的评价研究,而并非土壤水的资源量;另外,研究区域主要集中在黄淮海平原、东北平原等土壤水体空间变异较小的平原地区。半干旱黄土丘陵区土壤水资源研究较少。为此,土壤水的研究在下列方面有待深入发展 ①土壤水资源与土壤的基本属性:气候、地貌、土壤理化性质的综合作用。②对黄土高原丘陵区土壤水分时空异质性研究需不断深入。

参考文献:

[1] 杨培岭. 土壤与水资源学基础[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 83.
[2] 王浩, 秦大庸. 水资源评价准则及其计算口径[J]. 水利

水电技术, 2004, 35(2): 1-4.
[3] 孟春红. 土壤水资源评价的理论与方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
[4] 孟春红, 夏军. “土壤水库”储水量的研究[J]. 节水灌溉, 2004(4): 8-9.
[5] 沈振荣, 汪林, 于福亮. 用好土壤水[J]. 当代生态农业, 2001(1): 107-108.
[6] Lvovich M I. Soil trend in hydrology[J]. Hydrological Sciences Bulletin, 1980, 25(1): 33-45.
[7] Budagovskii A I. Soil water resources and available water supply of vegetation cover[J]. Water Resources, 1985, 12(4): 317-325.
[8] Budagovskii A I, Busarova O E. Basis of methods to evaluate changes in soil water resources and river runoff for different climate change scenarios[J]. Water Resources, 1991, 18(2): 111-120.
[9] 刘昌明. 水量转换[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 222-243.
[10] 王浩, 杨贵羽, 贾仰文, 等. 土壤水资源的内涵及评价指标体系[J]. 水利学报, 2006, 37(4): 389-394.
[11] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 237-238.
[12] 雷志栋, 胡和平, 杨诗秀. 土壤水研究进展与评述[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 311-312.
[13] 侯宪东, 王志荣, 张建丰. 非饱和土壤水分运动数值模拟研究综述[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(4): 42-43.
[14] Hillel D. Soil and water physical principles and processes[M]. New York: Academic Press, 1971.
[15] Hillel D. Application of soil physics[M]. New York: Academic Press, 1980: 312.
[16] Kutilek M, Nielsen D R. Soil hydrology. Geor ecology textbook[M]. Catena Verlag Germany, 1994: 370.
[17] 马履一. 国内外土壤水分研究现状与进展[J]. 世界林业研究, 1997(5): 29-30.
[18] 汪群, 张阳, 丁睿. 面向 21 世纪经济社会可持续发展的水利战略使命和目标探讨[J]. 河海水利, 2001(6): 30-31.
[19] 焦峰. 基于 GIS 的黄土丘陵区土壤水库蓄水数量特征及其生态供水潜力评价[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2006.
[20] 徐学选, 刘文兆, 高鹏, 等. 黄土丘陵区土壤水分空间分布差异性探讨[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 52-55.
[21] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 237-244.
[22] 曹红霞, 康绍忠, 何华. 蒸发和灌水频率对土壤水分分布影响的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 1-4.
[23] 罗曼诺娃 E N. 基本要素的小气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 1981.