

# Advances in Research on Soil Moisture in Mongolian Plateau

Chao Liu<sup>1</sup>, Wulantuya<sup>1</sup>, Kesi Tang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

<sup>2</sup>Inner Mongolia Autonomous Region Alashan League Environmental Monitoring Station, Alashan League Inner Mongolia

Email: 1619064605@qq.com, mtuya1967@163.com, tangkesi\_vz@163.com

Received: Jul. 14<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 28<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 6<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

This paper reviews the research progress and current status of soil and soil moisture at home and abroad through literature review, and summarizes relevant scholars' research on Mongolian plateau. The study found that the study of soil moisture in the Mongolian plateau is mainly reflected in the remote sensing inversion, spatial and temporal distribution of soil moisture and the influencing factors. However, only short-term sequences, soil surface layers, and single factor studies lack long-term, large-scale, and multi-factorial in-depth studies. In the future research, long-term and multi-factor coupling of soil moisture in the Mongolian plateau should be considered, and various aspects of the Mongolian plateau should be improved to provide scientific guidance for the stability of the Mongolian plateau grassland ecosystem.

## Keywords

Soil Moisture, Model Establishment, Data Driven, Mongolian Plateau

# 蒙古高原土壤水分研究进展

刘超<sup>1</sup>, 乌兰图雅<sup>1</sup>, 唐克斯<sup>2</sup>

<sup>1</sup>内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特

<sup>2</sup>内蒙古自治区阿拉善盟环境监测站, 内蒙古 阿拉善盟

Email: 1619064605@qq.com, mtuya1967@163.com, tangkesi\_vz@163.com

收稿日期: 2018年7月14日; 录用日期: 2018年7月28日; 发布日期: 2018年8月6日

## 摘要

本文通过文献资料查阅从国内外土壤及土壤水分的研究进展、现状出发, 总结了有关学者对蒙古高原开

展的相关研究。研究发现对蒙古高原土壤水分的研究主要表现在土壤水分的遥感反演、时空分布以及影响因素的探讨。但是,仅仅是短时间序列、土壤表层、单一因素的研究,缺乏长时间、大尺度、多因素的深入研究。在今后的研究中应考虑长时间尺度、多因素耦合的蒙古高原土壤水分研究,完善蒙古高原各方面研究,对蒙古高原草原生态系统的稳定提供科学指导。

## 关键词

土壤水分, 模型建立, 数据驱动, 蒙古高原

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤是气候、水文、生物和母岩等综合作用产生,是动物、植物、微生物赖以生存的基本环境。土壤可以从不同时间尺度上反应和记录气候、生物和人类活动所引起的环境变化。土壤圈作为陆地表层系统的一个“关键带”[1]同时又是陆地表层系统中受人为干扰最严重的“脆弱带”。土壤水分作为土壤重要物质组成,是土壤肥力的重要因素,也是植物生长的必需条件,对植物的生长和生存、植物群落的分布、组成和结构等起着重要作用。土壤水不仅参与全球物质循环和能量流动,对全球气候变化和全球环境变迁有重要影响和响应。

蒙古高原地处欧亚大陆内部,远离海洋,是一个相对封闭的内陆高原。降水稀少且全年分配不均,属于典型的温带大陆性气候。由于受地形、气温、降水等因素的影响,造就了蒙古高原独特的地理单元及复杂的土壤类型。蒙古高原拥有大面积的温带草原,草地是干旱、半干旱地区的主要生态系统类型,草地对全球碳循环及区域生态系统的稳定起重要性作用。水资源作为干旱半干旱区的宝贵资源,它对于干旱半干旱区人类的生存和生态系统及区域发展等起主要的限制作用。土壤水作为蒙古高原重要的储水资源,对生态的发展起关键作用。但是蒙古高原位于干旱半干旱区,自然生态环境十分脆弱,对全球变化的响应极为敏感,因此对蒙古高原土壤水分的深入探讨显得尤为重要。

## 2. 国内外研究进展

### 2.1. 国外研究进展

16世纪以前,人类对土壤的认识是从土壤的直观认识包括土壤颜色、土壤粗细等和农业生产活动当中开始的。16~19世纪,土壤地理学以俄国土壤地理发生学派、西欧农业土壤学派、美国土壤诊断学派为主。随着18世纪的科学技术大发展,先后出现了三大学派:农业化学派、农业地质学派、发生土壤学派,对土壤的物质组成、土壤肥力、土壤形成进行了相关研究。21世纪,传统土壤研究与现代技术(3S)相结合,运用新技术、新方法、新手段、新思维在数据驱动的背景下,土壤研究更加透明。近20年,土壤在制图、发生、形态、分类、调查等方面进行了相关深入的研究。在计算机技术的发展和模型系统的建立以及数据处理的基础上,2005年IUSS设立了数字土壤制图工作组,并且在2009年美国哥伦比亚大学正式启动了“全球数字土壤制图计划”,标志着数字土壤制图取得了很大进步和发展[2]。土壤发生以流域为研究区,模拟土壤的生物地球化学循环形成过程;2014年,国际土壤联合会(IUSS)设立了数字化土壤形态DSMorph (Digital soil morphometrics)工作组,将数字化定量表达土壤推向高潮[3];在土壤分类

中,全球土壤学家将土壤光谱作为分类标准;传统的土壤调查正在向不同的平台、传感器获取高精度的土壤数据,认为被动微波遥感能够更好地反映土壤水分状况且不受天气条件限制,但是空间分辨率较低。综上所述,研究者对土壤的研究由定性到定量、定量到模拟、静态到动态的深入研究。

20世纪初,白金汉第一次提出了毛管势概念,并运用于土壤水的研究,开辟了利用能量观点进行土壤水运动研究的新途径,由定性描述转向能态的研究。50年代以后,土壤水能态研究运用数学物理方法定量研究水分运动,形成了一门独立的学科——土壤水动力学。1966年 Philip 提出了 SPAC (Soil-Plant-Atmosphere-Continuum)概念[4];1969年,首次运用雷达航空成像对土壤湿度进行监测试验。同时,各种模型的建立也运用到土壤及土壤水分的研究:Green-Ampt、Childs Collis-Georg (1950)、Marshall (1957, 1958)、Borer (1982)、Greminger (1884)、Vogelsanger (1986)、Millington-Quirk、Brooks-Corey、Mualem 和 Buldine。70年代,土壤特性空间变异性的研究也逐渐受到关注。80、90年代,计算机的应运涉及各个邻域,计算机数值模拟成为土壤水分研究的方法之一,使得土壤研究更加深入。近20年,各个国家对土壤水分开展了相关的研究,集中表现在卫星遥感数据的开发和验证、数据模型模拟和全球变化的相互作用。在 AMSRE, ASCAT, SMOS, AMSR2、Aquarius 和 SMAP 的土壤水分产品中, Sujay V. Kumar *et al.* [5]认为遥感反演中的测量误差显著大于地面土壤水分测量误差,比较而言 SMAP 反演效果会较好;但是用神经网络技术对 SMAP 观测值估算全球表层土壤水分,认为神经网络反演误差通常在密集植被地区和过渡区。也有研究者利用 2010、2011、2014 年日本中等分辨率成像光谱辐射计获取斯巴达实验站日均土壤含水量预测 2012 年土壤水分。在大数据的驱动下,研究者用粒子滤波和地统计模型对美国亚利桑那州的盐河流域进行卫星土壤水分的数据同化,使观测值不断向实测值靠拢。综上所述,随着科学的发展土壤水分从定性定量结合到数据获取再到数据处理,融合了各种模型、方法与技术,使得土壤水分的静态动态研究更加形象深刻。

## 2.2. 国内研究进展

20世纪30年代我国开始了一些土壤调查、制图和一般的分析试验。随后,50年代末和70年代末,我国分别开展了两次土壤普查。21世纪,国内研究学者对土壤相关方面的研究更加强调整理配置资源和可持续发展,数字信息化驱动土壤研究的快速发展。在土壤分类、土壤物质组成和循环、土壤理化性质、土壤肥力、土壤呼吸、土层厚度、土壤侵蚀、土壤退化及土壤水分等方面做了大量的研究。

20世纪50~60年代中期,以苏联 A. A. Pone 为代表的形态水分研究观点和方法全面、系统地介绍到中国,为我国土壤水分研究的发展起到了积极的推动作用。1977年,首次将土壤水分的能量概念介绍到国内[6],使得我国土壤水分研究步入一个崭新的阶段。20世纪80年代,沙坡头试验将我国沙地水分研究推向新的阶段。80年代中期,许多研究者开始用遥感监测土壤水分,并提出了很多干旱遥感监测指数。

我国学者在土壤水分的时空变化和影响因素开展了有关研究。张军红等[7]按照土壤水分垂直变化分为:土壤水分敏感层、土壤水分活跃层和土壤水分稳定层,按照季节变化分为:积累期、消耗期、稳定期。邹慧等[8]认为降水、土壤表面渗透蒸发、根系吸水、叶片蒸腾等过程对草地与土壤水分的关系具有重要意义。但是地形对土壤水分的影响会被植被类型的影响所掩盖。研究者发现土壤含水量与地上生物量、凋落物质量呈显著正相关,也有学者认为土壤含水量随植被覆盖变化规律呈显著的二次抛物线性过程。Buda Su *et al.* [9]发现塔里木河流域土壤水分的变化受降水的控制,温度对土壤水分变化的控制作用较弱。近些年许多研究者运用遥感卫星产品建立模型进行大面积的土壤水分遥感反演。

## 3. 蒙古高原研究进展

### 3.1. 研究整体情况

蒙古高原深居内陆欧亚大陆腹地,东倚大兴安岭,西达阿尔泰山,南至阴山及周缘地区,北抵肯特

山、萨彦岭、雅布洛诺夫山，整体部分处在中温带。蒙古高原属典型干旱半干旱气候区，冬季受强大的蒙古西伯利亚高压控制，寒冷多大风，夏季由于距海较远仅东南部受东南季风的影响。因此，水资源地区分布极不平衡且水资源严重匮乏。

近年来，研究者对蒙古高原的植被、气候、土壤、景观格局、生态环境问题、土地沙漠化、沙尘暴强度及移动路径、草原火灾等方面做了大量研究。植被表现在植被覆盖(NDVI)的时空变化、对全球气候变化的响应和植被物种丰富度的研究。胡云峰等[10]认为地形因子趋向于在宏观尺度上制约植被的空间分布。气候表现在对蒙古高原古气候的重建和近几十年的气候变化；研究者通过湖相风成记录、古土壤、孢粉以及树轮来建立蒙古高原全新世气候环境变化过程。土壤方面主要表现在土壤的理化性质：刘庆生等[11]认为蒙古国境内土壤全氮极贫乏而中国内蒙古境内土壤全氮相对丰富；且不同放牧方式对蒙古高原典型草原土壤种子库会产生很大的不同的影响。微地貌、微气候、微土壤等的不同组合形成了独特的非地带性规律研究者基于地理分区曾对蒙古国进行了景观格局的分类。表明虽然蒙古高原作为一个独立的地理单元，但其内部由于不同的水热组合和人类活动方式不同带来的影响也不同，对此有关学者认为受人类活动的影响内蒙古生态环境问题、土地沙漠化比蒙古国较严重，在此提出了相应的草原生态环境保护建议。蒙古高原是我国华北平原乃至东北亚地区主要的沙源地，同时也是草原火灾频发的一个地区，土壤水的存在，不仅可以稳定生态系统减少自然灾害带来的损失，还可以维护边疆稳定，建设亮丽风景线，推进一带一路的建设。

### 3.2. 土壤水分研究和关注

由于蒙古高原生态环境的脆弱性，对气候变化和干扰的高度敏感性以及有限的水资源，蒙古高原在全球气候系统中发挥着独特的作用。土壤水不仅是植物生长的关键物质，而且还参与水循环中四水(地表水、地下水、大气水、土壤水)转化的关键纽带。尤其在干旱少雨的干旱半干旱蒙古高原，对水资源的需求量会更大，合理开发和利用水资源迫在眉睫。但是，研究者对此蒙古高原土壤水分的研究工作开展甚少，缺乏长时间、大尺度的对土壤水分的研究以及多因子关系耦合的研究。郭利彪[12]用 MODIS-TVDI、AMSR-E 数据对蒙古高原土壤湿度进行遥感反演，旨在构建一个适于蒙古高原土壤湿度的定量监测；魏宝成等[13]探讨了蒙古高原土壤水分对气候因子及植被的响应程度；Erdenebayar Munkhtsetseg *et al.* [14]对 Bayan-Unjuul 地区研究了裸沙土土壤水分与沙尘排放量的关系，表明土壤水分会控制沙尘事件。综上所述，研究者对蒙古高原土壤水分的研究仅仅表现在遥感数据的获取及反演，虽然省时，获取方便且面积广，但是存在反演信息量较低和误差。因此，对蒙古高原土壤水分的长时间、水平垂直大尺度、多因子耦合的准确研究显得十分重要。

## 4. 结论

### 4.1. 研究特点

综合土壤相关方面的研究可以看出，在模型建立和数据驱动下土壤的研究更加深入，涉及范围更广。由定性到定量，由静态到动态，由观测到数值模拟，新方法，新手段，新理念的融合，土壤研究成为热点。土壤水分由先前的形态观点到能态观点再到数值模拟，土壤水分主要从时空变化和影响因素来研究。土壤水分时空变化包括时间和空间变化，主要影响因素包括地形、植被、气温、降水等。蒙古高原气候大陆性强，降水变率大，全球变化影响土壤水分，同时土壤水分对全球变化有很大的响应。但是，对蒙古高原土壤水分长时间、多尺度的研究和关注甚少。因此，对蒙古高原土壤水分的深入研究十分重要。

### 4.2. 展望

蒙古高原独特的气候条件和景观格局使得研究者的目光聚焦于此。干旱少雨的蒙古高原拥有大面积的温带草原，多年生、一年生草本植物多，同时草原生态系统也是陆地生态系统中对降水格局变化非常敏感的系

统。那么草原植被的枯枝落叶就会对土壤水分产生一定的影响，枯落物的组成结构、持水能力、厚度、蓄积量等因素不仅影响土壤侵蚀，而且凋落物聚集区对土壤呼吸也会产生直观的影响[15]。因此，土壤水分对研究生态系统脆弱的蒙古高原十分重要，但是相关方面的研究不多，甚至是空白。因此，探究蒙古高原枯落物与土壤水分之间的关系对蒙古高原生态系统有个全面的认识与了解，促进中蒙俄的经济生态文明建设。

综上所述，在未来的蒙古高原的研究当中，因考虑长时间、多尺度以及多因子耦合的研究，尤其加以考虑枯枝落叶层对土壤水分的影响。

## 参考文献

- [1] 朱永官, 李刚, 张甘霖, 等. 土壤安全: 从地球关键带到生态系统服务[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1859-1869.
- [2] Sanchez, P.A., Ahamed, S., Carré, F., *et al.* (2009) Digital Soil Map of the World. *Science*, **325**, 680-681. <https://doi.org/10.1126/science.1175084>
- [3] Wang, Q.B., Hartemink, A.E., Jiang, Z.D., *et al.* (2017) Digital Soil Morphometrics of Krotovinas in a Deep Alfisol Derived from Loess in Shenyang, China. *Geoderma*, **301**, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.010>
- [4] 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): 26-31.
- [5] Kumar, S.V., Dirmeyer, P.A., Peters-Lidard, C.D., Bindlish, R. and Bolten, J. (2018) Information Theoretic Evaluation of Satellite Soil Moisture Retrievals. *Remote Sensing of Environment*, **204**, 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.016>
- [6] 朱祖祥. 土壤水分的能量概念及其意义[J]. 土壤学进展, 1979(1): 1-21.
- [7] 张军红, 吴波. 干旱、半干旱地区土壤水分研究进展[J]. 中国水土保持, 2012(2): 40-43.
- [8] 邹慧, 高光耀, 傅伯杰. 干旱半干旱草地生态系统与土壤水分关系研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3127-3136.
- [9] Su, B.D., Wang, A.Q., Wang, G.J., Wang, Y.J. and Jiang, T. (2016) Spatiotemporal Variations of Soil Moisture in the Tarim River Basin, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **48**, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.06.012>
- [10] 胡云锋, 徐芝英. 蒙古高原地形与植被指数的特征尺度及多尺度耦合关系[J]. 地理科学, 2014, 34(12): 1511-1517.
- [11] 刘庆生, 刘高焕, 黄翀, 等. 蒙古高原乌兰巴托-丰镇草地样带植被与土壤属性的空间分布[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 982-993. <https://doi.org/10.18402/resci.2016.05.17>
- [12] 郭利彪. 用 MODIS-TVDI 方法及 AMSR-E 数据分析蒙古高原土壤湿度[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2010.
- [13] 魏宝成, 玉山, 贾旭, 包玉海, 那日苏, 银山. 基于 AMSR-2 蒙古高原土壤水分反演及对气象因子响应分析[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(6): 837-845.
- [14] Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Gillies, J.A., Kimura, R., King, J. and Nikolich, G. (2016) Relationships between Soil Moisture and Dust Emissions in a Bare Sandy Soil of Mongolia. *Particuology*, **28**, 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2016.03.001>
- [15] Boone, R.D., Nadelhoffer, K.J., Canary, J.D. and Kaye, J.P. (1998) Roots Exert a Strong Influence on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration. *Nature*, **396**, 570-572. <https://doi.org/10.1038/25119>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2168-5762，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[gser@hanspub.org](mailto:gser@hanspub.org)