

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.05132

华北平原典型区域土壤凝结水观测 及其影响因素研究

冯欣, 高业新, 张亚哲

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

摘要: 为查明华北平原典型区凝结水发生情况, 采用称重法进行了土壤凝结水的初步观测, 结果显示: 每日 14 时至次日 10 时均可观测到凝结水的生成, 研究区凝结水大部分来自于大气中的水分, 极小部分来源于下层土壤, 其主要凝结集中在表层 0~5 cm 范围内, 共占观测深度总凝结水量的 50% 左右。根据土壤凝结水形成的影响因素分析结果, 较低的温度、较高的相对湿度和无风的条件有利于凝结水的生成。

关键词: 土壤凝结水; 华北平原; PVC 凝结器; 凝结时间; 凝结量; 温度; 相对湿度

中图分类号: S152; X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0132-04

Observation on Soil Condensation Water and Its Impact Factors in Typical Region of North China Plain

FENG Xin, GAO Yexin, ZHANG Yazhe

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Science, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: In order to ascertain the production of soil condensation water in the typical region of North China Plain, the weighing method was used to observe soil condensation water in the study area. The results indicated that the formation of soil condensation water can be observed from 2:00 pm to 10:00 am of the next day. Most of soil condensation water originated from the air vapor and only a small amount from soil water, of which about 50% of the total condensation water gathered in the range of 0 to 5 cm below the ground surface. According to the analysis results of impact factors for the formation of soil condensation water, high relative humidity, low atmospheric temperature, and low wind speed were favorable for the formation of the soil condensation water.

Key words: soil condensation water; North China Plain; PVC condenser; time of coagulation; condensation quantity; temperature; relative humidity

华北平原是我国最大的粮食主产区, 在地下水过度开采、降水减少、地表水逐渐枯竭及温室效应等因素的影响下, 区域内的水资源形势十分严峻, 威胁到了农业和社会生活的正常发展。华北平原属半湿润地区, 冬季干燥寒冷, 夏季高温多雨, 春季、秋季干旱少雨, 蒸发强烈。降水量年际变化大, 全年降水量的 70% 以上都集中在 6 月-8 月份。而凝结水作为一种长期稳定的水资源, 虽然其日凝结量较小, 但在干旱时期维持土壤湿度, 供给浅根性作物水分, 保持土壤生态系统稳定性等方面起着重要的作用。

国内外学者对凝结水的研究始于 20 世纪 40 年代, 前苏联学者提出了“凝结学说”, 甚至认为土壤凝结水是沙漠地区

浅层淡水的主要来源^[1]; 50 年代以后, 法国学者开始从不同角度进行研究, 探索了露水的形成^[2]; 70 年代, 随着遥感技术和同位素技术的应用, 凝结水研究从深度和广度上都得到了长足发展, Hillel R. 等^[3]对沙地水分开展了相关的数值模拟定量研究; “七五”期间, 我国学者于庆和^[4,5]在塔里木盆地北东缘群克地区开展了土壤凝结水的初步研究, 提出了土壤凝结水的存在证据, 并阐述了土壤凝结水的形成特征; Adrie F. G^[6]在地中海地区研究了干燥条件下的水汽运移情况, 讨论了在地表形成露水的条件及其对植被生长的积极影响, 指出年降露量在有些时候可超过年降水量; Seyoum 等^[7]使用微型测渗仪研究了黄土土壤凝结水的形成机理; 王哲等^[8]初步

收稿日期: 2013-04-23 修回日期: 2013-08-08 网络出版时间: 2013-08-22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130822.1706.012.html>

基金项目: 国土资源部行业专项(200911004); 水文地质环境地质研究所基本科研业务费(SK201009)资助

作者简介: 冯欣(1986), 女, 河北邢台人, 研究实习员, 硕士, 主要从事水文地质、环境地质研究。E-mail: fxsadhu@163.com

通讯作者: 高业新(1971-), 男, 河北高阳人, 研究员, 博士, 主要从事水文地质、农业地质方面研究。E-mail: goofy2004@163.com

探明了鄂尔多斯风沙滩地区土壤凝结水的形成与转化的基本过程,并探讨了土壤凝结水的转化与气象因素之间的相关关系;韩双平等^[9]在天山北麓分析了影响凝结水量的主要因素,研究成果对西北干旱地区耐旱植被的研究和生态环境建设具有重要意义。

综合国内外干旱半干旱地区的凝结水研究成果,均认为凝结水是干旱及半干旱地区维持沙地表土稳定方面的一个非常重要的因子^[10-12]。不过,针对处于我国东部如华北平原半湿润地区内的凝结水研究还相对较少,因此查明华北平原凝结水发生情况,分析影响凝结水生成的因素,既可揭示水分迁移转化规律,又可为该地区的水资源合理利用提供科学依据。

1 观测试验与数据处理

1.1 试验场地

试验场地位于河北石家庄国土资源部地下水科学与工程野外试验基地——正定基地院内,距石家庄市15 km,交通便利。地下水位埋深28~30 m。试验区域位于北温带半湿润季风气候区,降水多集中在7月、8月,平均年降水量534 mm,年平均水面蒸发量1 800 mm,日平均气温13.1℃,最高气温42.8℃,最低气温-26.5℃,平均相对湿度62%。

1.2 试验设计

试验观测时间选择在降水较少的9月中下旬,监测区间设定以3日为一个连续观测的周期。监测时段均为晴天,避免了自然降雨对试验结果的影响。

土壤凝结水试验仪器为PVC凝结器(图1),由外部套筒及内部笼屉式试筒组成。外部套筒内径10 cm,内部试筒外径10 cm,内径9 cm。凝结器采用分体式结构,每组设置16层笼屉,单层笼屉高度均为1 cm,各层底部均由300目不锈钢筛网封底。为防止试筒内外壁缝隙的凝结水下渗至仪器底部影响试验结果,将第16层作为缓冲层,不计入试验研究结果。外部套筒设置两种形式,其中下底敞开式模拟了自然状态,在试验过程中保证了水汽能够透过整个仪器不受阻碍;下底封闭式以塑料薄膜封闭底部,使整个系统只接受来自空气的水分,隔绝下部土壤的水汽向上传输。观测中每隔2 h用精度万分之一的天平进行快速称重并记录数据,观测凝结水量时也对温度、湿度、气压、风速、土壤含水率等进行同步观测。

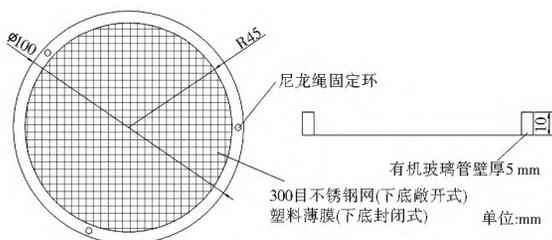


图1 PVC凝结器

Fig. 1 PVC condenser

1.3 凝结水量的计算

将以质量表示的土壤凝结水量转换为以高度表示的凝结水量^[13]。

$$\Delta h_i = \Delta M_i / (\rho \pi r^2) \quad (1)$$

式中: Δh_i 为水分厚度差; ΔM 为质量变化量(凝结时正值,蒸发时负值); ρ 为水密度 0.001 g/mm^3 ; r 为微型凝结器半径(mm)。

2 结果及分析

2.1 凝结水发生层位及生成量

图2为采用下底敞开式凝结器连续3日观测的数据计算统计结果,显示了不同层位凝结水日生成情况。可以看出,土壤凝结水的主要发生层位集中在上部0~5 cm深度范围内,尤其是表层的0~2 cm内,其凝结量远大于埋深3~15 cm的层位;同一凝结器中单日凝结量变化不大,下底敞开式凝结器中,总凝结量平均值为0.43 mm;0~5 cm日凝结水量平均值约为0.21 mm,5~10 cm为0.12 mm,10~15 cm为0.10 mm,分别占总凝结量的49.65%、26.55%和23.81%。在同步观测的下底封闭式凝结器中,这种表层凝结量较大的现象更加明显,各区间段凝结量分别占总凝结量(0.41 mm)的55.24%、15.19%和19.56%。

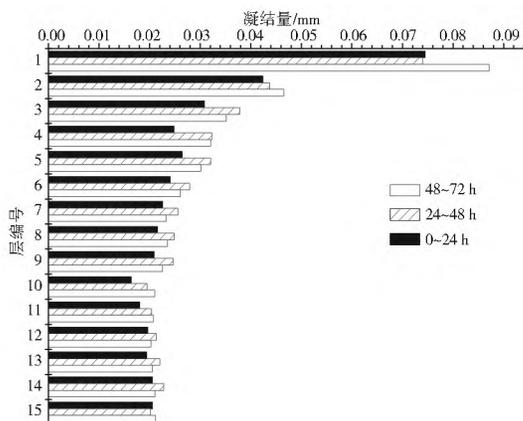


图2 分层凝结水日累积生成量

Fig. 2 Daily generation of soil condensation water in different layers

已有研究^[14-15]认为,在西北干旱半干旱地区研究中认为土壤凝结水主要贡献来自于深层土壤水汽。与此不同的是,华北平原土壤凝结水的主要贡献来自于大气中的水分,主要原因应该是由于华北平原长期的地下水超采,导致地下水埋深急剧下降,致使地下水无法经由深厚的包气带运移至地表以补充水分。

2.2 土壤凝结水发生时间及过程

观测试验之前,已将仪器放置在研究环境中超过24 h,以保证其中土壤与周围环境的一致性。图3为间隔2 h的下底敞开式与下底封闭式凝结器总凝结量变化曲线(此处只记录凝结部分)。研究区内可观测到凝结水的发生时间为每日下午14时起至次日早10时。全天凝结过程可分解为白天的三个阶段和晚上的两个阶段:初始6时至8时期间,在日照的影响下地表附近大气迅速升温,而地表土壤的升温速度相对较慢,此时近地面大气中的水汽仍然可以在温度梯度的作用下在地表凝结;8时至10时,在日光照下地表土壤层持续升温,其内部蕴含的水汽开始向上部大气扩散,部分进入到更下层的土壤中凝结,此时可以在凝结器的中下部观测

到凝结水的生成;10 时至 14 时是每日日照最为强烈的阶段,观测深度内的土壤温度达到每日最高,其中的水分进一步向外部蒸发扩散或向更深层的土壤中运移,因此无法观测到凝结水生成;14 时至 22 时,随着大气温度的逐渐降低,水分转移与热传导方向相同,以从土壤向大气运动为主,下部土壤的凝结水向上运移扩散。同时由于近地面的温差较大,水分在近地面水气交界面发生凝结,致使表层土壤中最先出现凝结水量增加的现象;22 时至次日 6 时,植物呼吸作用进入旺盛阶段,致使大气中的湿度进一步上升,同时土壤温度逐渐下降,水分的运移又转变为自大气向土壤,并且凝结过程较为强烈,因此夜间来自于大气的凝结水量较日间明显加大。

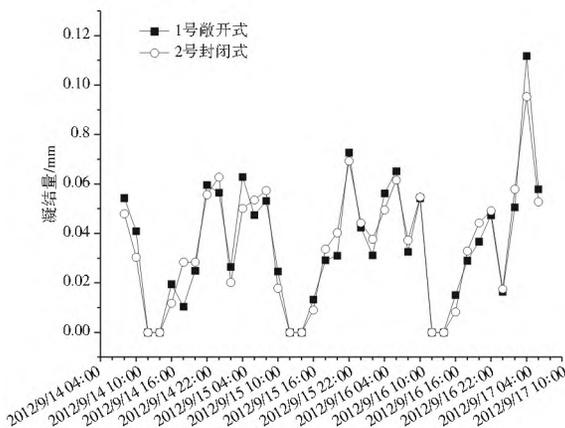


图 3 总凝结水量变化曲线

Fig. 3 Variation curve of total soil condensation water

图 3 还显示,下底敞开放式与下底封闭式凝结器的数值相差不多,且凝结时间及曲线形式基本相同,因此可知 15 cm 以上的凝结水大致来自两个方面:其一,绝大部分凝结水来自于大气中水汽的贡献,包括近地面空气中的水汽、周边地面蒸发的水汽及植被夜晚呼吸作用产生的水汽;其二来自于下部土壤中留存的水汽,白天地表温度高于地表以下土壤温度,下部土壤中赋存的水汽在温度梯度的作用下自下而上的运输,夜晚气温降低会引起地表及地表以下土壤温度的下降,但地表降温幅度远大于地下更深处土壤的降温幅度,这就导致了水汽自上而下的运移。

2.3 凝结水影响因素

以往研究经验表明,影响凝结水的外界条件主要有气象因素、灌溉因素等,而本试验主要在裸地开展研究,且土壤含水率观测结果显示变化不大,因此仅就相对湿度、温度、风速等气象因子进行相关分析。

图 4 为土壤凝结水观测期内的相对湿度与土壤凝结量的对比曲线。在可观测到凝结水的时间段,近地表相对湿度平均值为 74.18%,土壤凝结水量的变化趋势与相对湿度变化基本一致。在一个凝结周期内可观测到两个凝结水的高峰值,其中 20 时至次日 0 时,气温与地温的温差较大,空气中的水分在地表附近凝结,相对湿度较日间显著增大,致使土壤凝结水量增加明显;每日 2 时总可观察到凝结水量和相对湿度一个低峰值,这可能是由于在经过一段较长时间的热量传递后,此时气温与地温温度逐渐接近,影响了大气中的水分在地表的集聚,导致观测到的凝结量有所下降;每日 4

时的凝结量又有一个明显的提升,此时近地表的相对湿度较大,地表温度降低至每日的最低值,导致了凝结量的再次增加。因此可知相对湿度越大越利于土壤凝结水的生成。

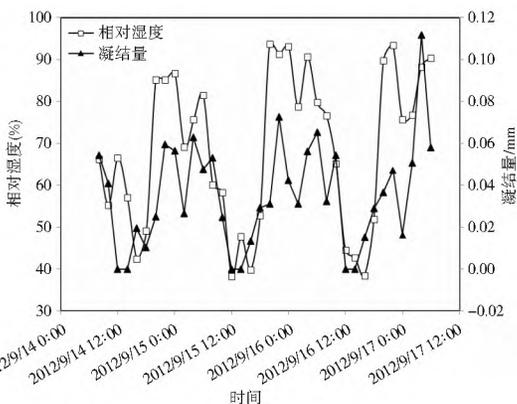


图 4 相对湿度对土壤凝结量的影响

Fig. 4 Impacts of relative humidity on soil condensation water

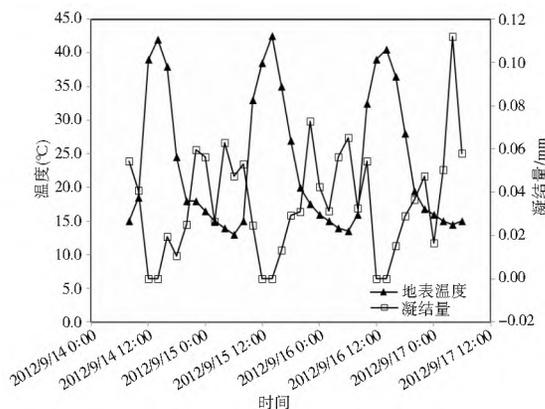


图 5 温度与凝结量变化曲线

Fig. 5 Variation curves of temperature and soil condensation water

温度是影响凝结水形成及生成量大小的重要因素。图 5 为 9 月 14 至 9 月 17 日整个试验区间内地面温度与凝结量的对比曲线。由图可以看出,3 个观测周期内的地面气温变化趋势基本相同,气温高低与凝结水的生成量变化趋势相反,即高温会降低凝结水的生成量,因为高温时地表土壤中水分容易蒸发且地表附近的空气湿度较低,不利于水分凝结。

除相对湿度、温度以外,风速也是影响凝结水生成量的因素之一,基本无风的条件下最利于土壤凝结水的生成,这是由于风速增大会促使地表附近的空气纵向及横向交换,加快地表水汽扩散的速率,降低地表附近空气的相对湿度,从而影响水分在土壤中的凝结量。

3 结论

华北平原在每日 14 时至次日 10 时均可观测到土壤凝结水的生成,日均凝结量约为 0.43 mm,凝结量的 50% 以上集中在地表至地下 0~5 cm 范围内;研究区内的凝结水来源与西北地区相比有很大区别,绝大部分由大气水分提供,极少部分来自于下部土壤空隙中的水分;较低的温度、较高的相对湿度和无风的条件有利于凝结水的生成。研究表明,华北平原土壤凝结水的生成量虽然较小而无法作为固定的水资源,但在干旱缺水的时期可以为浅根性农作物提供少量的

水资源,以维持和补给土壤水分。

参考文献(References):

- [1] 曾亦健, 万力, 王旭升, 等. 浅层包气带地温与含水量昼夜动态的实验研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 52-57. (ZENG Yi jian, WAN Li, WANG Xu sheng, et al. An Experimental Study of Day and Night Trends of Soil Temperature and Moisture in the Shallow Unsaturated Zone[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(1): 52-57. (in Chinese))
- [2] Monteith J L. Dew[J]. QJR Meteorol. Soc. 1956, 42: 572-580.
- [3] Hillel R, Pinder G F. Approximate Analysis of Upcoming[J]. Advance of Water Resource, 1977, 1: 97-101.
- [4] 于庆和. 塔里木盆地北东缘群克地区土壤凝结水的初步研究[J]. 干旱区地理, 1992, 15(3): 77-84. (YU Qing he. Preliminary Study on Soil Coagulation Water at Qongkol Region in Northeastern Fringe of Tarim Basin, Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 1992, 15(3): 77-84. (in Chinese))
- [5] 于庆和. 塔里木盆地北东缘潜水蒸发研究[J]. 新疆地质, 1993, 11(3): 246-254. (YU Qing he. Study of the Evaporation of Phreatic Water in the Northeastern margin of Tarim Basin[J]. Xinjiang Geology, 1993, 11(03): 246-254. (in Chinese))
- [6] Adrie F, G Jacobs. A Simple Model for Potential Dewfall in an Arid Region[J]. Atmospheric Research, 2002, 64: 285-295.
- [7] Seyoum leta. Enhancing Biological Nitrogen Removal form Tannery Effluent by Using the Efficient Brachyomonas Denitrificans in Pilot Plant Operations[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2005, 21: 545-552.
- [8] 王哲, 梁煦枫, 王德建, 等. 鄂尔多斯风沙滩地区土壤凝结水试验研究[J]. 地下水, 2006, 28(6): 28-31. (WANG Zhe, LIANG Xu feng, WANG De jian, et al. Experiment Research on Soil Dew of in the Windy Beach Area of Ordos[J]. Ground water, 2006, 28(6): 28-31. (in Chinese))
- [9] 韩双平, 荆继红, 荆磊, 等. 温度场与凝结水的观测研究[J]. 地球学报, 2007, 28(5): 482-487. (HAN Shuang ping, JING Ji hong, JING Lei, et al. Observation and rResearch on Tempera
- ture Field and Coagulating Water[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(5): 482-487. (in Chinese))
- [10] Jacobs A FG, Heusinkveld B G, Berkowicz SM. Dew Deposition and Drying in a Desert System: a Simple Simulation Model[J]. Journal of Arid Environments, 1999, 42:211-22.
- [11] 曹文炳, 万力, 周训, 等. 西北地区沙丘凝结水形成机制及对生态环境影响初步探讨[J]. 水文地质工程地质, 2003, (2): 6-10. (CAO Wen bing, WAN Li, ZHOU Xun, et al. A Preliminary Study of the Formation Mechanism of Condensation Water and Its Effects on the Ecological Environment in Northwest China[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003, (2): 6-10. (in Chinese))
- [12] 李玉灵, 朱帆, 张国盛, 等. 毛乌素沙地凝结水动态变化及其影响因子的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 61-66. (LI Yu ling, ZHU Fan, ZHANG Guo sheng, et al. Dynamics of Dew Condensation and Its Controlling Factors in Mu Us Desert[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(8): 61-66. (in Chinese))
- [13] 郭斌, 陈亚宁, 郝兴明, 等. 不同下垫面土壤凝结水特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1963-1974. (GU O Bin, CHEN Ya ning, HAO Xing ming, et al. Characteristics of Soil Condensation Water and Its Influencing Factors on Different Underlying Surfaces in the Lower Reaches of the Tarim River[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(11): 1963-1974. (in Chinese))
- [14] 李洪波, 白爱宁, 张国盛, 等. 毛乌素沙地土壤凝结水来源分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 241-246. (LI Hong bo, BAI Ai ning, ZHANG Guo sheng, et al. Analysis on Soil Condensation Water Source in Mu Us Sandland[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(2): 241-246. (in Chinese))
- [15] 白爱宁, 余建, 边春雷, 等. 土壤吸湿凝结水研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(01): 50-53. (BAI Ai ning, YU Jian, BIAN Chun lei, et al. Research Progress on Soil Absorption and Condensation Water[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2010, 36(01): 50-53. (in Chinese))

(上接第 81 页)

- [19] 陈铁林, 沈珠江, 周成. 用大变形有限元对土体静力触探的数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2004, 6(2): 1-6. (CHEN Tie lin, SHEN Zhu r jiang, ZHOU Cheng. Numerical Simulation of Cone Penetration Process by Large strain Finite Element Method[J]. Hydror science and Engineering, 2004, 6(2): 1-6. (in Chinese))
- [20] 安岚. 孔压静力触探测试土的固结系数机理研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2005. (AN Lan. The Mechanism Study of the Consolidation Coefficient of Doils Determined by Piezocone Penetration Test [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2005. (in Chinese))
- [21] 李波. 孔扩张理论研究及其在静力触探技术中的应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2006. (LI Bo. Study on Cavity Expansion and Its Applications to Cone Penetration Test[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006. (in Chinese))
- [22] 蒋明镜. 用于触探试验分析的粒状材料本构模型之展望[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(9): 1281-1288. JIANG Ming jing. Main features of Future Constitutive Models for Granular Materials in Penetration Analysis[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(9): 1281-1288. (in Chinese))
- [23] 常士骝, 张苏民. 工程地质手册(第四版)[K]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007. (CHANG Shi piao, ZHANG Su min. The Engineering Geology Manual (Fourth Edition) [K]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007. (in Chinese))
- [24] 周景宏, 汪圻. 静探试验成果与伊通河阶地砂土密实度关系浅析[J]. 东北水利水电, 2007, 25(6): 65-66. (ZHOU Jing hong, WANG Xi. The Analysis on the Relationship between YiTong River Terrace Sandy Soil Compactness and Static Penetration Test Results[J]. Northeast Water Conservancy and Hydropower, 2007, 25(6): 65-66. (in Chinese))
- [25] 陈维家, 姚锋杰. 砂土比贯入阻力与相对密度的关系[J]. 水文地质工程地质, 2003, (1): 36-38. (CHEN Wei jia, YAO Feng jie. The Relationship between Relative Density and Specific Penetration Resistance of Sand[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003, (1): 36-38. (in Chinese))