

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2017.06.005

真空蒸馏提取与原位采集对土壤水氢氧 稳定同位素值比值的影响

孙晓旭¹, 徐进¹, 苏治国²

(1. 南京工程学院环境工程学院, 江苏 南京 211167;

2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了研究不同采样方法对采集的土壤水氢氧稳定同位素比值的影响, 设计了室内降水入渗模拟试验, 收集土柱底部出流水、土壤溶液采样器原位采集 10 cm、40 cm、70 cm、100 cm 处的土壤水, 在相同层位采集土壤样品并采用真空蒸馏法提取土壤水。通过样品的氢氧稳定同位素比值对比分析可知, 降水入渗干燥的土壤过程中土颗粒优先吸附轻同位素, 第一个收集的水分具有最正的氢氧稳定同位素比值; 真空蒸馏法提取的土壤水是土壤吸湿水和入渗水分的混合, 土壤溶液采样器原位采集的土壤水代表土壤中流动的水分, 此水分是土壤中可被有效利用的水分。

关键词: 真空蒸馏提取; 原位采集; 氢氧稳定同位素比值; 土壤水

中图分类号: P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2017)06-0503-06

Effects of vacuum distillation extraction and in-situ collection methods on the ratio of hydrogen and oxygen isotope of soil water

SUN Xiaoxu¹, XU Jin¹, SU Zhiguo²

(1. School of Environmental Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the effects of different collection methods on hydrogen and oxygen isotope values of soil water, a laboratory experiment is designed to model the rainfall infiltration behavior, and the water outflow from the bottom of the soil column is collected. In this experiment, soil waters at depths of 10 cm, 40 cm, 70 cm and 100 cm are collected and this collection method is termed as in-situ collection method. On the other hand, soil samples at the same depths are taken out with the soil waters being collected using vacuum distillation extraction method. The comparison results between D and ¹⁸O values show that during the process of rainfall infiltration in the dry soil sample, the light isotopes are preferentially adsorbed by soil particles, and the outflow water collected first has the most positive hydrogen and oxygen isotope values. The soil water extracted by the vacuum distillation method is composed of moisture-absorbing water of the air-dried soil and the water infiltrated into the unsaturated zone. The soil water collected by the in-situ soil solution sampler represents the water flowing in the soil and could be effectively used.

Key words: vacuum distillation extraction; in-situ collection; ratio of hydrogen and oxygen isotopes; soil water

水分在包气带中的运移是一种非常复杂的物理和化学作用过程, 受多种应力和多种能量的控制和制约, 随着科学技术的快速发展, 越来越多的新方法用于研究包气带水分^[1]。氢氧稳定同位素(D和¹⁸O)是一种天然示踪剂^[2-4], 其随水流一起运动, 可以很好地表征包气带水分的运移特征, 很多学者利用土壤水中稳定同位素来追踪水在土壤中的输送过程, 提供有关水在包气带中的迁移信息^[5-10]。然而包气带土壤水的氢氧同位素特征受到降雨入渗、土壤蒸发、潜水蒸发等一系列过程的影响, 土壤水分蒸发和降水入渗过程与土壤颗粒

收稿日期: 2016-12-20

基金项目: 南京工程学院引进人才科研启动基金(YKJ201327)

作者简介: 孙晓旭(1983—), 女, 江苏徐州人, 讲师, 博士, 主要从事同位素水文学、水污染控制工程研究。E-mail: hjsunxiaoxu@njit.edu.cn

的性质有密切关系^[11-12]。

土壤水受降水入渗、蒸发作用等共同影响,对其同位素值的研究有助于了解水分入渗、蒸散发等一些水文循环过程。王仕琴等^[13]基于降水、土壤水和地下水的氢氧稳定同位素比值研究了华北平原降水的入渗过程,指出不同降水特征、土壤质地和植被条件下入渗过程是不同的。田日昌等^[14]通过土壤水的稳定性同位素值研究了湘西北红壤丘陵区土壤水的运移特征,同位素分析得出油茶林入渗率受降水量影响明显,大雨后2~3 d入渗率约为50~100 mm/d,之后入渗率明显减慢,50 cm土层常成为阻隔层,玉米地由于通透性差,入渗率更低。孙晓旭等^[15]通过室内试验模拟研究了蒸发和降水入渗过程水体的氢氧稳定同位素比值变化规律。国外方面,Hsieh等^[16]分析了夏威夷地区从干旱到湿润地区一个断面的土壤含水率及氧同位素值变化规律,指出由于降水的同位素值偏负于土壤水,在雨季土壤水从表层到深层同位素值不断增加,而在旱季土壤水同位素值随着深度的增加是不断偏负的,并且应用土壤含水率及氧同位素值计算了土壤的蒸散发量。CAREY等^[17]对比分析了汉诺威6个地区降水和土壤水中的 $\delta^{18}\text{O}$,发现在大部分土壤剖面中浅层土壤水(<20 cm)富集 $\delta^{18}\text{O}$,主要原因是地表水蒸发强烈,深部土壤水(>50 cm)同位素数据表明降水通过优势流方式入渗到土壤深部,成功地区分了土壤中的静水与动水。Kwang-Sik等^[18]研究了韩国济州岛一年之中降水和3个不同深度土壤水的氢氧稳定同位素比值,分析得出土壤水接受年降水的补给,并且即使在炎热夏季蒸发的影响也可以忽略。

然而土壤水同位素研究最重要的前提条件之一是土壤水的提取问题,提取的精度对于结果有重要影响,必须保证在提取过程中不能改变土体水分的同位素值。提取土壤水的方法主要包括:真空蒸馏法、共沸蒸馏法、吸式蒸渗仪法、离心过滤法等。1995年,Araguás-Araguás等^[19]系统研究了真空蒸馏法提取非饱和带土壤水,试验表明,如果98%以上的土壤水分被提取出来,提取水分的同位素值就能够代表土壤水的值,对于砂样,加热温度为100℃时需提取7 h才能保证试验精度。Landoni等^[20]对比分析3种方法提取出的砂质土壤水的氢氧稳定同位素比值,得出3种方法提取的水分占土壤总水分的比例不同的结论,并且得出第2种方法提取出的水分同位素含量能代表补给到地下的那部分土壤水的同位素值。Figuerola-Johnson等^[21]对比了吸式蒸渗仪法、离心过滤法和共沸蒸馏法提取出的土壤水的氧同位素含量,得出:对于砂土离心过滤和共沸蒸馏法提取出的水分氧同位素值比吸式蒸渗仪法偏负0.025%,对于结构好的土壤氧同位素偏负约0.2%~0.7%,这3种方法有不同的适用范围。国内方面,耿清国等^[22]对土壤中不同状态的水分采用离心分离法所需的时间长短和化学组成进行了研究。王涛等^[23]对共沸蒸馏、真空蒸馏、离心分离、锌的微量蒸馏4种土壤水提取技术进行了简要介绍,并主要分析了真空蒸馏技术提取土壤水时需要的温度和时间。目前,真空蒸馏技术被广泛用来提取土壤水。土壤溶液取样器也叫吸力测渗仪,用于在土壤剖面原位收集土壤溶液样品。取样器的核心技术是取样头部分采用了多孔滤膜,可自动湿润,它不产生吸附,也能避免交叉污染。取样器被安放在土壤的适宜深度,在最小扰动土壤的情况下进行周期性取样测定。基本的取样器含有一个多孔陶瓷头和一个样品收集管。用真空管或注射器抽出真空后,将采样器放置在真空下即可进行采样。这种取样器具有使用简单方便、能耗低、不扰动土壤等一系列优点。郝汉舟等^[24]采用土壤溶液采样器(Rhizon-SMS)原位采集了河南平原耕地土壤溶液,研究了重金属的土水分配行为。张守仁等^[25]对比研究了果树根际土壤取样分析技术,指出土壤溶液取样器适合于动态研究溶质运移过程,但采集样品量有限,并且要求较高的土壤含水量。时祥顺等^[26]通过设计室内土柱试验,模拟了土壤水入渗情况,采用土壤溶液采样器原位采集不同层位的土壤水样品,研究降水入渗过程中土壤水盐分的变化规律。本文就目前广泛采用的2种土壤水提取技术(真空蒸馏提取、土壤溶液取样器原位采集)进行研究,对比分析不同的取样方法对土壤水氢氧稳定同位素比值的影响。

1 试验设计与测试分析

1.1 试验材料

试验选用高110 cm,内径10 cm的有机玻璃柱作为容器,为了便于破开土柱采集土壤样品进行真空蒸馏法收集土壤水,设计将110 cm长的有机玻璃柱分成4段,从下往上每一段的长度分别为20 cm、30 cm、30 cm、30 cm,每两段之间通过法兰连接。柱子底部是多孔板,使得水分能顺利流出。试验装置如图1所示。

土样采自南京工程学院校园绿化带内,采样深度距表层10~20 cm,自然风干后,磨碎,经2 mm的筛子筛

分,均匀混合装袋备用。根据 GBJ 145—1990《土的分类标准》,试验所用土样为粉质亚黏土。

1.2 试验设计和样品采集

在距有机玻璃柱顶部 10 cm、40 cm、70 cm、100 cm 处四周开采样孔,采样孔直径约 1.5 cm。柱子的 30 cm、60 cm 和 90 cm 处是法兰连接处。处理后的土样均匀充填土柱,水分入渗前采集孔全部用塞子塞住,柱子充填完成后,土壤表层距有机玻璃柱顶部 5 cm。土壤溶液采样器 (Rhizon-SMS, 图 2) 通过采样孔插入土柱中,原位采集土壤水样品,采样器型号为 19. 21. 01, 5 cm 多孔材料插入土壤中,另外一端连接注射器,可以人工抽取土壤水。土柱顶部连续降雨,待土柱底部有水流出时,按照出流顺序,依次收集重力出流水样品 7 个,封存。入渗结束后,在 10 cm、40 cm、70 cm、100 cm 这 4 个层位原位采集土壤水,为了保持水样的均匀性,每个层位在 2 个采样孔同时采样,然后混合一起装入瓶中备用。原位采样结束后,土柱静置 48 h,打开法兰,分别在土柱原位采样的 4 个层位处采集土壤样品并封存,以备真空蒸馏法提取土壤水。

1.3 真空蒸馏法提取土壤水

真空蒸馏法提取土壤水装置如图 3 所示,土壤水在负压情况下变成水蒸气从土壤中挥发出来,采用液氮冷凝水蒸气。为了便于控制温度采用水浴加热(水体沸腾),提取过程中温度保持不变,经过 4 次条件试验(真空蒸馏提取土壤水后的土壤样品放在 105℃烘箱中烘干 8 h,土壤质量没有损失)得出,水浴加热情况下,提取 120 min,土壤水被完全提取干净^[15]。提取完全后关闭阀 A 和阀 B,取下液氮,收集的水分常温下在冷阱慢慢融化,等全部融化后倒入样品瓶中,封存后放入冰箱。



图 3 真空蒸馏法提取土壤水装置
Fig. 3 Soil water extracting device using vacuum method

1.4 样品测试分析方法

样品氢氧稳定同位素比值采用稳定性同位素质谱仪 MAT253 进行测试,高温裂解法测定氢同位素,样品测试精度为 0. 1%,水平衡法测定氧同位素,样品测试精度为 0. 01%。

2 结果与讨论

土壤溶液取样器原位采集土壤水、真空蒸馏法提取土壤水氢氧稳定同位素比值列于表 1,重力水及初始水氢氧稳定同位素比值见表 2。

从表 1 和表 2 可以看出,相同层位的土壤水,真空蒸馏法提取的水分氢氧稳定同位素比值均比原位采集的土壤水值偏负。氢稳定同位素比值偏负在 0. 4% ~ 1. 1% 范围内,氧稳定同位素比值偏负在 0. 042% ~ 0. 169% 范围内。10 cm 处的样品氢氧稳定同位素比值最大,后面 3 个层位氢氧稳定同位素比值较接近,说明土壤剖面水分比较均匀,并且 10 cm 附近的土壤水可能受到了蒸发的影响,导致氢氧稳定同位素比值偏正。



图 1 试验装置实物图
Fig. 1 Experimental equipment



图 2 Rhizon-SMS 土壤溶液采样器
Fig. 2 Soil solution sampler

表1 原位取水样品氢氧稳定同位素比值数据

Table 1 Stable ratios of hydrogen and oxygen isotope of in-situ water samples

样品名称	$\delta D/\%$	$\delta^{18}O/\%$	样品名称	$\delta D/\%$	$\delta^{18}O/\%$
原位采集样品 1	-4.12	-0.543	真空蒸馏提取 1	-4.52	-0.586
原位采集样品 2	-4.20	-0.559	真空蒸馏提取 2	-5.31	-0.728
原位采集样品 3	-4.37	-0.579	真空蒸馏提取 3	-5.20	-0.733
原位采集样品 4	-4.42	-0.588	真空蒸馏提取 4	-5.26	-0.753

表2 重力水及初始水氢氧稳定同位素比值数据

Table 2 Stable ratios of hydrogen and oxygen isotope of gravity water and initial water

样品名称	$\delta D/\%$	$\delta^{18}O/\%$	样品名称	$\delta D/\%$	$\delta^{18}O/\%$
重力出流水-1	-3.21	-0.471	重力出流水-5	-3.79	-0.506
重力出流水-2	-3.60	-0.559	重力出流水-6	-4.27	-0.579
重力出流水-3	-3.87	-0.549	重力出流水-7	-4.45	-0.659
重力出流水-4	-4.02	-0.589	初始水	-4.87	-0.721

图4为不同方法采集的土壤水、重力出流水和初始水的氢氧稳定同位素比值关系图^[27],采用南京地区降水线: $\delta D = 8.47\delta^{18}O + 17.52$ 。从图4可以看出,重力出流水样品氢氧稳定同位素比值均比初始水偏正,结合表2中的氢氧稳定同位素比值数据,可知第一个出流水氢氧稳定同位素比值最大,其余出流水氢氧稳定同位素比值随着出流水量的增加呈现不断偏负的趋势。在出流水样品中,第一次出流的样品最先经过整个剖面的风干土壤,风干土壤颗粒仅含有土壤吸湿水,当土柱上方有降水入渗时,土壤颗粒分子仍可以吸附一定的水分子,形成薄膜水层,并引起入渗水分发生同位素分馏^[15,19]。同时,可以看出土壤颗粒优先吸附轻的水分子,导致土壤中流动的水分氢氧稳定同位素比值偏正。

图4中原位采集土壤水的氢氧稳定同位素比值全部落在土柱重力出流水氢氧稳定同位素比值范围内,而真空蒸馏法提取土壤水的氢氧稳定同位素比值中,第一个样品由于受到了蒸发的影响,同位素值偏正,落在了土柱重力出流水氢氧稳定同位素比值的范围内,其余3个层位的样品氢氧稳定同位素比值明显偏负,并且位于初始水氢氧稳定同位素比值的左下方。本试验所用土样为风干壤土,土壤在自然环境下风干48 h,土壤中含有吸湿水,在土壤颗粒的分子引力作用下,土颗粒吸附空气中的水分子在其表面,形成了吸湿水,吸湿水被紧紧地束缚在土粒表面,接近固态水的性质,不能呈液态流动,也不能被植物根系吸收。孙晓旭等^[15]的研究指出,风干土壤中土壤吸湿水的氢氧稳定同位素比值偏负(氢氧稳定同位素比值分别为-8.14%和-1.034%),本文试验采用的初始水氢氧稳定同位素比值分别为-4.87%和-0.721%。因此通过氢氧稳定同位素比值的对比分析可以看出,真空蒸馏法提取的土壤水是土壤吸湿水和入渗水分的混合。原位采集土壤水氢氧稳定同位素比值反映土壤剖面中流动水体的氢氧稳定同位素特征,此方法收集的土壤水更能代表土壤中可有效利用的水分。

3 结 论

通过设计室内土柱试验模拟水分在包气带中的入渗过程,收集了土柱底部的重力出流水,采用2种方法收集土壤水(土壤溶液取样器原位采集和真空蒸馏法提取)。土柱底部出流水的氢氧稳定同位素比值对比分析得出降水入渗干燥的土壤过程中,土颗粒优先吸附轻同位素,引起土壤中流动的水分发生同位素分馏,优先流出的水分具有最正的氢氧稳定同位素比值,随着出流水量的增加出流水氢氧稳定同位素比值呈不断偏负的趋势;土壤溶液取样器原位采集的土壤水氢氧稳定同位素比值落在出流水氢氧稳定同位素比值区域内,真空蒸馏法提取的土壤水氢氧稳定同位素比值明显比原位采集的土壤水偏负。因为真空蒸馏法提取土

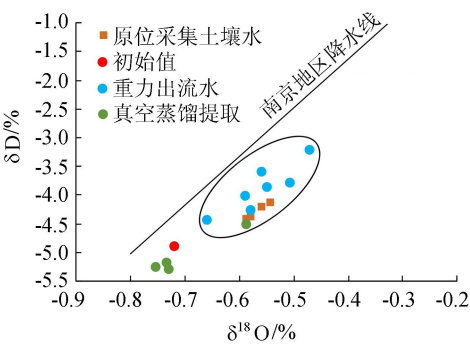


图4 不同方法采集的土壤水、重力出流水和初始水的氢氧稳定同位素比值关系

Fig.4 Stable ratios of hydrogen and oxygen isotopes of soil water, gravity flowing water and initial water collected by different methods

壤水时,风干土壤的吸湿水也一起被提取出来,导致此方法提取的水分氢氧稳定同位素比值偏负。因此可以看出,土壤溶液采样器原位采集的土壤水代表土壤中流动的水分,此水分是土壤中可被有效利用的水分。

参考文献:

- [1] 杨红斌. 氢氧稳定同位素在半干旱地区包气带中的分馏机制[D]. 西安:西安科技大学,2014.
- [2] 康萍萍,许士国,禹守泉. 同位素溯源解析地下水库对地下水氮分布影响[J]. 水资源保护,2016,32(5):79-84. (KANG Pingping, XU Shiguo, YU Shouquan. Analysis of influence of underground reservoir on nitrogen distribution through tracing of isotope source[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(5):79-84. (in Chinese))
- [3] 陈建生,彭靖,詹泸成,等. 鄱阳湖流域河水、湖水及地下水同位素特征分析[J]. 水资源保护,2015,31(4):1-7. (CHEN Jiansheng, PENG Jing, ZHAN Lucheng, et al. Analysis of isotopes characteristics of river water, lake water and groundwater in Poyang Lake Basin[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(4):1-7. (in Chinese))
- [4] 张文卿,陈建生,姜淑坤,等. 基于同位素水化学分析的松嫩平原大布苏湖流域地下水补给源研究[J]. 水资源保护,2017, 33(1):9-14. (ZHANG Wenqing, CHEN Jiansheng, JIANG Shukun, et al. Study of recharge source of Dabusu Lake in Songnen Plain based on isotopic and hydrochemical analysis[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(1):9-14. (in Chinese))
- [5] 刘君,卫文,张琳,等. 土壤水D和 ^{18}O 同位素在揭示包气带水分运移中的应用[J]. 勘察科学技术,2012(5):39-43. (LIU Jun, WEI Wen, ZHANG Lin, et al. Application on isotopes D and ^{18}O of soil water in water movement of unsaturated zone[J]. Site Investigation Science and Technology, 2012(5):39-43. (in Chinese))
- [6] ADOMAKO D, MALOSZEWSKI P, STUMPP C, et al. Estimating groundwater recharge from water isotope(^2H 、 ^{18}O) depth profiles in the Densu River basin, Ghana[J]. Hydrological Sciences Journal, 2010, 55(8):1405-1416.
- [7] BRODERSEN C, POHI S, LINDENLAUB M, et al. Influence of vegetation structure on isotope content of through fall and soil water[J]. Hydrol Processes, 2000, 14:1439-1448.
- [8] 侯士彬,宋献方,于静洁,等. 太行山区典型植被下降降水入渗的稳定同位素特征分析[J]. 资源科学,2008,30(1):86-92. (HOU Shibin, SONG Xianfang, YU Jingjie, et al. Stable isotopes characters in the process of precipitation and infiltration in Taihang Mountainous Region[J]. Resources Science, 2008, 30(1):86-92. (in Chinese))
- [9] 徐学选,张北赢,田均良. 黄土丘陵区降水—土壤水—地下水转化试验研究[J]. 水科学进展,2010,21(1):16-22. (XU Xuexuan, ZHANG Beiyang, TIAN Junliang. Experiment study on the precipitation-soil water-groundwater transformation in loess hilly region[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(1):16-22. (in Chinese))
- [10] 汪集旻,陈建生,陆宝宏,等. 同位素水文学的若干回顾与展望[J]. 河海大学学报(自然科学版),2015,43(5):406-413. (WANG Jiyang, CHEN Jiansheng, LU Baohong, et al. Review and prospect of isotope hydrology[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2015, 43(5):406-413. (in Chinese))
- [11] 原翠萍,张心平,雷廷武,等. 砂石覆盖粒径对土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(7):25-28. (YUAN Cuiping, ZHANG Xinping, LEI Tingwu, et al. Effects of mulching sand and gravel size on soil moisture evaporation[J]. Transactions of the CASE, 2008, 24(7):25-28. (in Chinese))
- [12] 宋日权,褚贵新,冶军,等. 掺砂对土壤水分入渗和蒸发影响的室内试验[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊1):109-114. (SONG Riquan, CHU Guixin, YE Jun, et al. Effects of surface soil mixed with sand on water infiltration and evaporation in laboratory[J]. Transactions of the CASE, 2010, 26(Sup1):109-114. (in Chinese))
- [13] 王仕琴,宋献方,肖国强,等. 基于氢氧同位素的华北平原降水入渗过程[J]. 水科学进展,2009,20(4):495-501. (WANG Shiqin, SONG Xianfang, XIAO Guoqiang, et al. Appliance of oxygen and hydrogen isotope in the process of precipitation infiltration in the shallow groundwater areas of North China Plain[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4):495-501. (in Chinese))
- [14] 田日昌,陈洪松,宋献方,等. 湘西北红壤丘陵区土壤水运移的稳定性同位素特征[J]. 环境科学,2009,30(9):2747-2754. (TIAN Richang, CHEN Hongsong, SONG Xianfang, et al. Characteristics of soil water movement using stable isotopes in red soil hilly region of Northwest Hunan[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2009, 30(9):2747-2754. (in Chinese))
- [15] 孙晓旭,陈建生,史公勋,等. 蒸发与降水入渗过程中不同水体氢氧同位素变化规律[J]. 农业工程学报,2012,28(4):100-105. (SUN Xiaoxu, CHEN Jiansheng, SHI Gongxun, et al. Hydrogen and oxygen isotopic variations of different water bodies in evaporation and rainfall infiltration processes[J]. Transactions of the CASE, 2012, 28(4):100-105. (in Chinese))
- [16] HSIEH J C C, CHADWICKO A, KELLY E F, et al. Oxygen isotopic composition of soil water: quantifying evaporation and transpiration[J]. Geoderma, 1998, 82:269-293.
- [17] CAREY G, FENG Xiahong. A stable isotope study of soil water: evidence for mixing and preferential flow paths[J].

GEODERMA,2004,119:97-111.

[18] KWANG-SIK Lee,JUN-MO Kim,DONG-RIM Lee,et al. Analysis of water movement through an unsaturated soil zone in Jeju Island,Korea using stable oxygen and hydrogen isotopes[J]. Journal of Hydrology,2007,345:199-211.

[19] ARAGUÁS-ARAGUÁS L,ROZANSKI K,GONFIANTINI R,et al. Isotope effects accompanying vacuum extraction of soil water for stable isotope analysis[J]. Journal of Hydrology,1995,168:159-171.

[20] LANDONA M K,DELINA G N,KOMORB S C,et al. Comparison of the stable-isotopic composition of soil water collected from suction lysimeters,wick samplers,and cores in a sandy unsaturated zone[J]. Journal of Hydrology,1999,224:45-54.

[21] FIGUEROA-JOHNSON,MARIA A,JAMES A. Tindall and michael friedel,a comparison of $\delta^{18}\text{O}$ composition of water extracted from suction lysimeters,centrifugation and azeotropic distillation[J]. Water Air Soil Pollut,2007,184:63-75.

[22] 耿清国,安忠民,相场芳宪. 不同状态土壤水的采取及化学组成特性研究[J]. 中国生态农业研究,1996,4(3):43-48. (GENG Qingguo,AN Zhongmin,XIANG-CHANG Fangxian. Study on the adoption and chemical composition of soil water in different state[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,1996,4(3):43-48. (in Chinese))

[23] 王涛,包为民,陈翔,等. 真空蒸馏技术提取土壤水试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2009,37(6):660-664. (WANG Tao,BAO Weimin,CHEN Xiang,et al. Soil water extraction using vacuum distillation technology[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2009,37(6):660-664. (in Chinese))

[24] 郝汉舟,靳孟贵,李瑞敏,等. 重金属的土水分配行为研究:根际土壤溶液采样器的应用[J]. 土壤,2009,41(4):577-582. (HAO Hanzhou,JIN Menggui,LI Ruimin,et al. Study on soil-water distribution coefficients of heavy metals by rhizon-SMS[J]. Soils,2009,41(4):577-582. (in Chinese))

[25] 张守仕,谢克英,乔宝营,等. 果树根际土壤取样分析技术研究[J]. 落叶果树,2015,47(6):25-27. (ZHANG Shouren,XIE Keying,QIAO Baoying,et al. Study on sampling technique of rhizosphere soil in fruit trees[J]. Deciduous Fruits,2015,47(6):25-27. (in Chinese))

[26] 时祥顺,滕晓飞,孙麒,等. 降水入渗过程中土壤水盐分变化试验研究[J]. 广东化工,2016,43(12):28-30. (SHI Xiangshun,TENG Xiaofei,SUN Qi,et al. Experimental study on the change of soil water salinity in the process of rainfall infiltration[J]. Guangdong Chemical Industry,2016,43(12):28-30. (in Chinese))

[27] 王涛,张洁茹,刘笑,等. 南京大气降水氧同位素变化及水汽来源分析[J]. 水文,2013,33(4):25-31. (WANG Tao,ZHANG Jieru,LIU Xiao,et al. Variations of stable isotopes in precipitation and water vapor sources in Nanjing area[J]. Journal of China Hydrology,2013,33(4):25-31. (in Chinese))

+++++

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号:28-244, CN 32-1439/TV, ISSN 1006-7647, 双月刊,A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊、全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和 RCCSE 核心期刊。曾先后被评为中国高校百佳科技期刊、中国高校优秀科技期刊、全国水利系统优秀期刊、华东地区优秀期刊和江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、专题综述、水管理、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号:28-244,2018 年每期定价 15 元,全年 6 期共计 90 元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水利水电科技进展》编辑部
邮政编码:210098 电话/传真:025-83786335
网址:www.hehaiqikan.cn E-mail:jz@hhu.edu.cn
微信公众号:“水利水电科技进展”或“slsdkjjz”

