

# 基于氘盈余分析季节性降水对浅层地下水的补给<sup>①</sup>

## ——以鹰潭孙家农田小流域为例

沈业杰<sup>1,2</sup>, 高 磊<sup>1</sup>, 彭新华<sup>1\*</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 本研究基于氢氧稳定性同位素技术, 分析了 2012 年 4 月至 2014 年 3 月孙家农田小流域降水、灌溉水和地下水的氢氧同位素季节变化规律, 并应用  $\delta D-\delta^{18}O$  关系图和氘盈余质量平衡法分别确定了研究区浅层地下水的主要补给来源和季节性降水对地下水补给的贡献率。结果表明, 研究区大气降水线方程为:  $\delta D = 8.49\delta^{18}O + 16.7 (n = 110, R^2 = 0.98)$ 。降水中  $\delta D$  ( $-113.3\text{‰} \sim 7.5\text{‰}$ ) 和  $\delta^{18}O$  ( $-14.9\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$ ) 季节性差异明显; 地下水  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  ( $-45.3\text{‰} \sim -40.4\text{‰}$  和  $-7.29\text{‰} \sim -6.44\text{‰}$ ) 相对稳定; 灌溉水  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  分别介于  $-66.2\text{‰} \sim -28.3\text{‰}$  和  $-9.17\text{‰} \sim -5.00\text{‰}$ , 变化范围小于降水, 大于地下水。在  $\delta D-\delta^{18}O$  关系图中, 地下水各水样点主要分布在当地大气降水线附近, 说明地下水主要受大气降水补给。降水中氘盈余( $d_{\text{excess}}$ )介于  $1.3\text{‰} \sim 23.7\text{‰}$ , 夏半年(4—9 月) $d_{\text{excess}}$  平均值( $10.8\text{‰}$ )显著低于冬半年(10—3 月) $d_{\text{excess}}$  平均值( $17.1\text{‰}$ )。地下水氘盈余相对稳定, 介于  $8.75\text{‰} \sim 14.9\text{‰}$ , 平均值为  $11.9\text{‰}$ 。通过氘盈余质量平衡法计算得出, 夏半年降水对地下水的贡献率为 83%, 而冬半年的贡献仅有 17%, 表明季节性降水对地下水补给的贡献差异显著, 夏半年降水对地下水补给具有主导性作用。

**关键词:** 氢氧稳定性同位素; 氘盈余; 小流域; 地下水补给

中图分类号: X143

地下水是重要的水资源, 准确评价地下水的补给来源和补给量是分析水文循环规律、合理制定水资源规划和地下水可持续开采方案的基础, 对于实现当地经济社会的可持续发展具有重要的战略意义。同时, 地下水补给评价也是研究地下水污染的需要。因此, 地下水补给评价是水资源评价的重要内容<sup>[1]</sup>。

氢氧同位素技术的发展为研究区域水循环提供了有效的工具。氢氧同位素可以指示水的来源、不同环境状况下水的运移与转换, 从而为进一步认识水的运动与循环提供了重要的依据, 因此该技术在地下水补给等水循环过程中得到广泛应用<sup>[2-6]</sup>。由于气候地质等因素的差异, 不同区域地下水的补给来源明显不同。在湿润地区, 由于降水量大, 蒸发较小, 很多研究都表明降水是地下水的主要补给来源<sup>[7-8]</sup>。如 Liu 等<sup>[9]</sup>对云南西双版纳热带雨林区的研究表明地下水仅由雨水入渗补给; 蒲俊兵<sup>[10]</sup>对重庆市不同地区地下河水的研究同样表明地下河水均起源于大气降水; 周慧芳等<sup>[8]</sup>对南通地区的研究表明, 当地浅层水和深

层地下水都源自当地大气降水补给。在干旱地区, 由于降水量少, 蒸发量大, 许多学者对降水是否能补给地下水有不同的理解, 有些学者认为降水对地下水的补给微乎其微, 甚至没有补给<sup>[11-13]</sup>。如陈建生和王庆庆<sup>[14]</sup>应用氢氧同位素技术探讨了我国北方干旱区地下水补给源的问题, 认为当地的地下水的补给源不是当地的降水。在河湖分布的地区, 河湖水往往也是地下水的重要来源之一。Yeh 等<sup>[15]</sup>的研究表明台湾东南部知本溪流域 79% 的地下水由河流补给; 徐年盛等<sup>[5]</sup>对台湾屏东平原地区地下水补给来源的研究表明河水补给占 14.3%。

由于气候差异, 季节性降水对地下水的补给往往不均, 如在温带地区的早春时节, 由于冰雪融化、土壤湿润、植被处于休眠状态, 这时地下水补给率是最高的<sup>[16-17]</sup>, 而夏季时蒸发和蒸腾速率很高, 地下水补给率很低<sup>[16, 18]</sup>。近年来, 基于氢氧同位素技术的氘盈余质量平衡法开始应用于确定季节性降水对地下水的贡献比例, 取得了良好的效果<sup>[15, 18-19]</sup>。如 Mandal 和

基金项目: “十二五” 国家科技支撑项目(2011BAD31B04)资助。

\* 通讯作者(xhpeng@issas.ac.cn)

作者简介: 沈业杰(1985—), 男, 山东泗水人, 博士研究生, 主要从事同位素水文学研究。E-mail: yjshen@issas.ac.cn

Zhang<sup>[18]</sup>对日本 Rishiri Island 地区季节性降水对地下水的贡献比例做了分析,结果表明冬季降水对地下水的贡献率达到 64%,是该地区地下水的重要来源。本文对研究区大气降水、灌溉水和地下水进行采样,分析了各种水体氢氧稳定同位素及其氘盈余的季节变化规律,旨在明确该区降水、灌溉水和地下水的转换关系,并确定季节性降水对地下水补给的贡献比例。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验地点位于江西省鹰潭市余江县刘家站垦殖三分场的孙家小流域,距中国科学院红壤生态实验站

约 4 km。该地区属中亚热带温暖湿润季风气候,四季分明、阳光充足、雨量充沛。年平均气温 17.7℃,年平均太阳辐射总量为 108.5 kal/cm<sup>2</sup>,平均无霜期 262 天,年光合有效辐射 5.31 kal/cm<sup>2</sup>,年平均日照时数 1 868.5 h,大于 10℃ 的积温 5 527.6℃。该地区年平均降雨量为 1 795 mm,年平均水面蒸发量 1 229.1 mm;但是降雨分布不均,4—6 月份降雨约占全年降水量的 48%。孙家小流域面积约为 50 hm<sup>2</sup>,海拔在 34~55 m,坡度小于 8°(图 1)。该流域内的土壤母质为第四纪红黏土与红砂岩,土壤类型为红壤。依据美国土壤系统分类方法<sup>[20]</sup>,土壤类型为老成土(旱地土壤)和人为土(水稻田土壤)。



图 1 孙家农田小流域概况和降水、地下水和灌溉水的取样位置

Fig. 1 The general situation of Sunjia agricultural watershed and sampling sites of precipitation, groundwater and irrigation water

### 1.2 水样采集

降水、地下水和灌溉水采样时间从 2012 年 4 月至 2014 年 3 月,共 24 个月。降水使用简易雨水收集器(500 ml 塑料瓶连接直径 10 cm 漏斗,漏斗上放置乒乓球以防止水分蒸发)收集<sup>[21]</sup>。地下水和灌溉水取样频率为两周 1 次,由于饮用地下水同位素值较稳定,2014 年后取样频率改为 4 周一次。地下水的取样点位于流域内农户家中,共 3 口井,灌溉水取样地点位于渠道水进入流域的入口处(图 1)。

### 1.3 $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 的测定

在每次降水(降水量>5 ml)结束后立即收集,如果降水发生在晚上则可第二天早上收集,将雨水装入螺纹瓶中,用封口膜密封瓶口并放置于盛有冰袋的保温箱内,带回实验室后放置于 4℃ 冰箱冷藏保存,并尽快测定。水样的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  采用 LGR 液态水同位

素分析仪测定(美国 Los Gatos Research(LGR)公司,型号:908-0008)。

氢氧稳定同位素组成常用  $\delta$  表示, $\delta$  是指样品的同位素比值相对于标准物质同位素比值的千分值(parts per thousand, per mil, ‰)。

$$\delta = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1\,000 \quad (1)$$

式中, $R_{\text{sample}}$  表示样品的同位素比值, $R_{\text{standard}}$  表示标准物质的同位素比值, $\delta$  的大小与采用标准有关。水中氢氧同位素标准一般采用维也纳标准平均海水(Vienna standard mean ocean water, VSMOW)作为标准物。

### 1.4 地下水补给来源和季节性降水对地下水贡献率的分析方法

$\delta D$ - $\delta^{18}O$  关系图:将地下水  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值标绘于  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  关系图中,如果地下水集中沿大气降水线分

布且地下水的平均同位素组成与雨水接近,则说明大气降水补给地下水。

氘盈余质量平衡法: Dansgaard<sup>[22]</sup>最先提出了氘盈余的概念,用来评价地区降水氢氧同位素偏离全球降水线的程度,公式可表示为:

$$d_{\text{excess}} = \delta D - 8\delta^{18}\text{O} \quad (2)$$

氘盈余主要受水汽源地的相对湿度、风速和海面温度影响,由于气候差异,季节性降水对地下水的补给率往往不同。同时,在亚洲东部地区,降水  $d_{\text{excess}}$  值有明显的季节性差异,旱季较高,雨季较低<sup>[15,19]</sup>。若地下水  $d_{\text{excess}}$  值是多年降水补给的混合,则可利用氘盈余的季节性差异确定季节性降水对地下水的补给贡献率,公式如下:

$$d_{\text{excess-groundwater}} = Xd_{\text{excess-summer}} + (1-X)d_{\text{excess-winter}} \quad (3)$$

式中,  $d_{\text{excess-groundwater}}$ ,  $d_{\text{excess-summer}}$  和  $d_{\text{excess-winter}}$  分别代表地下水、夏半年降水和冬半年降水的氘盈余值,  $X$  和  $(1-X)$  分别表示夏半年(4—9月)和冬半年(10月至次年3月)降水对地下水的贡献比例。

## 2 结果与分析

### 2.1 降水和地下水的氢氧同位素特征

大气降水的  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  存在线性关系,即大气降水线。1961年 Craig<sup>[23]</sup>首先提出了全球降水线公式:  $\delta D = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ 。由于不同地区的气候差异,各地的降水线有明显的不同。根据研究区两年降水同位素的观测数据得到研究区大气降水线方程:  $\delta D = 8.49\delta^{18}\text{O} + 16.7$  ( $n = 110$ ,  $R^2 = 0.98$ )。通过图 2 和图 3 可以看出,研究期间降水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化范围从  $-113.3\text{‰}$  ~  $7.5\text{‰}$  和  $-14.9\text{‰}$  ~  $-0.9\text{‰}$ , 季节性差异明显。地下水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  分别介于  $-45.3\text{‰}$  ~  $-40.4\text{‰}$  和  $-7.29\text{‰}$  ~  $-6.44\text{‰}$ , 在整个研究期间变化不大,并无明显的季节变化,可能是由于地下水储量丰富,单次或单季降水对整个地下水同位素组成的影响有限。在  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  关系图(图 2)中,地下水的各个水样点主要分布在当地大气降水线的附近,并没有明显偏离大气降水线,说明地下水主要受大气降水补给。然而,大气降水线是由多次降水组合而成,并没有考虑降水量因素,由于单次降水的离散型很大,如果不考虑降水量则会产生一些误差,而加权平均值则可反映不同场次降水同位素组成的贡献<sup>[11]</sup>。研究区降水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的加权平均值分别为  $-50.1\text{‰}$  和  $-7.87\text{‰}$ , 而地下水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  平均值分别为  $-42.6\text{‰}$  和  $-6.82\text{‰}$ , 降水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值略低于地下水,因此可以认为地下水主要来

源于降水,同时还可表明降水在补给地下水过程中存在一定的蒸发效应,使得地下水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值略高于降水。

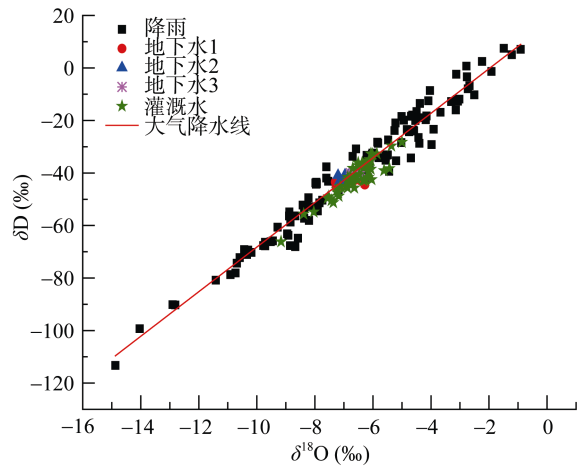


图 2 研究区地下水、大气降水和灌溉水的  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  分布图

Fig. 2 Plot of  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  in groundwater, precipitation and irrigation water in the study area

### 2.2 灌溉水的氢氧同位素特征

灌溉水来自信江支流白塔河上游蓄水,一部分作为灌溉水进入流域内部,另一部分流向别处。试验期内,灌溉水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  分别介于  $-66.2\text{‰}$  ~  $-28.3\text{‰}$  和  $-9.17\text{‰}$  ~  $-5.00\text{‰}$ , 变化范围小于降水(图 3)。通过图 3 可以发现灌溉水与降水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值有相似的动态变化规律,相关分析表明灌溉水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  与降水  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  显著相关( $P < 0.01$ ),用公式可以分别表示为  $y = 0.209x - 31.8$  ( $n = 34$ ,  $R^2 = 0.56$ )和  $y = 0.178x - 5.28$  ( $n = 34$ ,  $R^2 = 0.52$ )(图 4),表明降水是灌溉水的主要补给源。地表水与地下水的关系一直是水循环研究的热点,研究表明几乎所有形式的地表水(河流、湖泊和水库等)都与地下水相互作用。这些相互作用体现为许多形式:从河流引水可能消耗地下水,或者相反,地下水的抽取可能导致河流、湖泊或湿地的耗尽;地表水的污染可以导致地下水水质的恶化,反过来,地下水的污染也可能导致地表水的恶化<sup>[24]</sup>。本研究中,由于降水是地下水和灌溉水的主要来源,降水补给灌溉水后可能会继续入渗补给地下水,因此灌溉水对地下水可能存在一定的间接补给作用。

### 2.3 降水和地下水中氘盈余的变化及降水对地下水补给的估算

研究区降水的  $d_{\text{excess}}$  值介于  $1.3\text{‰}$  ~  $23.7\text{‰}$ , 加权平均值为  $12.8\text{‰}$ 。降水对地下水补给往往有季节性差异,为确定季节性降水对地下水的贡献,我们将全年分成两个时段,4—9月代表夏半年,10月

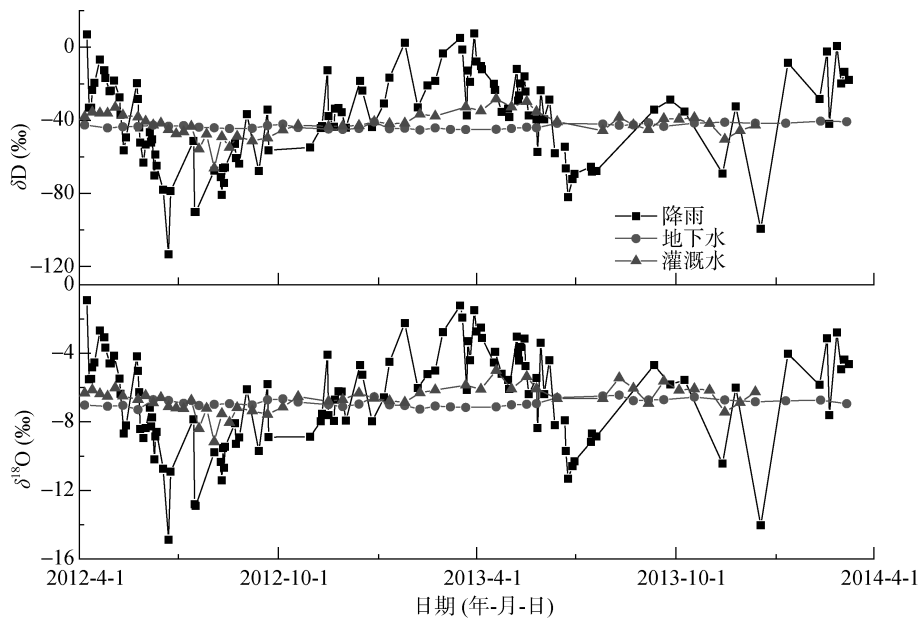


图 3 试验期间降水与灌溉水  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  随时间的动态变化图

Fig. 3 Temporal variation of  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  in precipitation and irrigation water during study periods

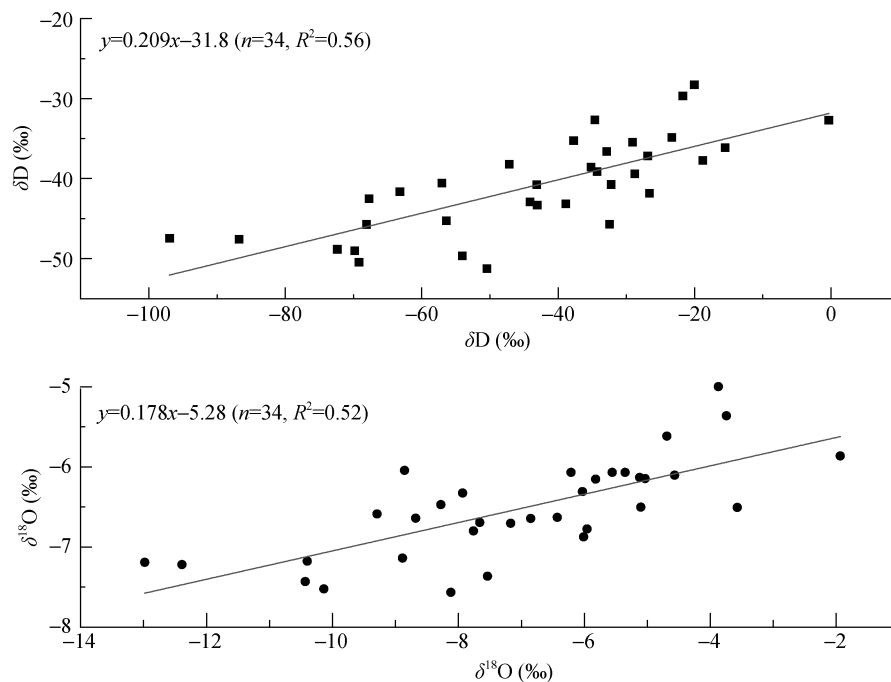


图 4 降水(x轴)与灌溉水(y轴)中  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  的相关性分析

Fig. 4 Correlations between  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  in precipitation and irrigation water

至次年 3 月代表冬半年。对  $d_{excess}$  的分析表明，夏半年  $d_{excess}$  平均值(10.8‰)显著低于冬半年  $d_{excess}$  平均值(17.1‰)。地下水氘盈余值相对稳定，介于 8.75‰ ~ 14.9‰，平均值为 11.9‰，其中大部分样品氘盈余值介于 11‰ ~ 13‰，其比例占有所有样品的 86%(图 5)。

试验期间夏半年和冬半年降水的  $d_{excess}$  值分别为 10.8‰ 和 17.1‰，而地下水的平均值为 11.9‰，通过公式 3 可以计算出夏半年降水对地下水的贡献率

为 83%，而冬半年的贡献仅有 17%，表明夏半年降水是对地下水补给的主导作用(表 1)。

由于气候的独特性，各地研究结果差异很大。Lee 和 Kim<sup>[19]</sup>对韩国 North Han River basin 的研究结果(雨季 51%，旱季 49%)表明雨季和旱季降水的同等重要性；Mandal 和 Zhang<sup>[18]</sup>对日本 Rishiri Island 地区的研究结果(夏半年 36%，冬半年 64%)表明冬季降水对地下水补给的重要性；Yeh 等<sup>[15]</sup>对中国台湾东南部知本溪流域的研究结果(雨季 76%，旱季 24%)表明雨

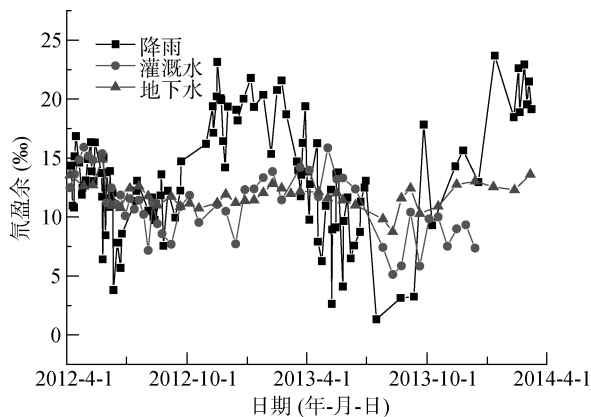


图 5 试验期间降水、灌溉水和地下水氘盈余值随时间的动态变化图

Fig. 5 Temporal variations of  $d_{\text{excess}}$  in precipitation, irrigation and groundwater during study periods

表 1 研究期间季节性降水对地下水的贡献率  
Table 1 Proportion of seasonal precipitation to groundwater in the study period

水文年	降水量 (mm)	氘盈余		降水对地下水的贡献率(%)
		降水	地下水	
2012—2013	夏半年(4—9月)	2 051	11.2	87
	冬半年(10—3月)	905	17.2	13
2013—2014	夏半年(4—9月)	926	10.4	80
	冬半年(10—3月)	490	16.9	20
平均	夏半年(4—9月)	1 488	10.8	83
	冬半年(10—3月)	697	17.1	17

性降水对地下水补给的比例,而不能确定补给量,今后需要结合其他方法进一步研究降水对地下水的补给量等问题。

### 3 结论

本文对研究区大气降水、灌溉水和地下水进行采样,分析了各种水体氢氧稳定同位素组成和氘盈余的动态变化特征。结果表明当地浅层地下水主要受降水补给。灌溉水中的  $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  与降水中的  $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  显著相关( $P < 0.01$ ),用公式可以分别表示为  $y = 0.209x - 31.8 (n = 34, R^2 = 0.56)$  和  $y = 0.178x - 5.28 (n = 34, R^2 = 0.52)$ ,表明灌溉水主要受降水补给。研究区季节性降水对地下水的补给差异显著,夏半年降水对地下水的贡献率为 83%,而冬半年的贡献仅有 17%,表明夏半年降水更容易入渗补给地下水,对地下水补给具有主导性作用。

#### 参考文献:

[1] 汪丙国. 地下水补给评价方法研究——以华北平原为例[D]. 北京: 中国地质大学, 2008  
[2] Peng TR, Wang CH, Hsu SM, Wang GS, Su TW.

季降水对地下水补给的重要作用。本研究结果与 Yeh 等<sup>[15]</sup>的研究相近,而与 Lee 和 Kim<sup>[19]</sup>及 Mandal 和 Zhang<sup>[18]</sup>的研究结果相差较大,可能与研究区气候特征相关。Lee 和 Kim<sup>[19]</sup>及 Mandal 和 Zhang<sup>[18]</sup>所研究的地区地处温带地区,降水对地下水补给率在早春时节最高,而夏季时很低<sup>[16-17]</sup>。相比而言,本研究所在的孙家小流域降水分布不均,夏半年降水量大,约占全年降水量的 68%,且降水集中,常有大雨、暴雨发生,导致土壤含水量较高,土壤容易达到饱和,使得降水更加容易补给地下水;与此相反,冬季降水往往持续时间短、间隔时间长、降水量较少,导致土壤含水量较低,使得降水入渗困难而蒸发较易,难以补给地下水。应用氘盈余质量平衡法只能初步评价季节

Identification of groundwater sources of a local-scale creep slope: Using environmental stable isotopes as tracers[J]. Journal of Hydrology, 2010, 381(1): 151-157  
[3] Yin LH, Hou GC, Su XS, Wang D, Dong JQ, Hao YH, Wang XY. Isotopes ( $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) in precipitation, groundwater and surface water in the Ordos Plateau, China: Implications with respect to groundwater recharge and circulation[J]. Hydrogeology Journal, 2011, 19(2): 429-443  
[4] 宋献方, 刘鑫, 夏军, 张学成, 于静洁, 张应华. 基于氢氧同位素的盆巴沟流域地表水—地下水转化关系研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(1): 8-20  
[5] 徐年盛, 江崇荣, 汪中和, 刘振宇, 刘宏仁, 黄建霖. 地下水系统水平衡分析与补注源水量推估之研究[J]. 中国土木水利工程学刊, 2011, 23(4): 347-357  
[6] 章斌, 郭占荣, 高爱国, 袁晓婕, 李开培. 用氢氧稳定同位素揭示闽江河口区河水、地下水和海水的相互作用[J]. 地球学报, 2013, 34(2): 213-222  
[7] 姜月华, 贾军元, 许乃政, 王敬东, 康晓钧. 苏锡常地区地下水同位素组成特征及其意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(4): 493-500  
[8] 周慧芳, 谭红兵, 张西营, 张文杰, 孙雪. 江苏南通地下水补给源、水化学特征及形成机理[J]. 地球化学, 2011, 40(6): 566-576  
[9] Liu WJ, Zhang P, Li MH, Liu HL. Fog drip and its relation to groundwater in the tropical seasonal rain forest of

- Xishangbana, Southwest China: A preliminary study[J]. Water Research, 2005, 39: 787–794
- [10] 蒲俊兵. 重庆岩溶地下水氢氧稳定同位素地球化学特征[J]. 地球学报, 2013, 34(6): 713–722
- [11] 陈建生, 王婷, 陈茜茜, 刘晓艳. 鄂尔多斯自流盆地地下水来源争议问题讨论[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 900–908
- [12] 陈建生, 张志伟, 刘震, 季弼宸. 乌梁素海及其周边地区水源补给关系同位素研究[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 12–18
- [13] 李文赞, 严平, 刘永刚, 丁连刚, 俄有浩. 库姆塔格沙漠东北缘浅层地下水补给来源[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1 617–1 622
- [14] 陈建生, 王庆庆. 北方干旱区地下水补给源问题讨论[J]. 水资源保护, 2012, 28(3): 1–8
- [15] Yeh HF, Lee CH, Hsu KC. Oxygen and hydrogen isotopes for the characteristics of groundwater recharge: A case study from the Chih-Pen Creek basin, Taiwan[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(2): 393–402
- [16] Clark ID, Fritz P. Environmental Isotopes in Hydrogeology[M]. New York: CRC Press, 1997
- [17] Winograd IJ, Riggs AC, Coplen TB. The relative contributions of summer and cool-season precipitation to groundwater recharge, Spring Mountains, Nevada, USA[J]. Hydrogeology Journal, 1998, 6(1): 77–93
- [18] Mandal AK, Zhang J. Climate change and the future of freshwater resources of the island: A case study on the Rishiri Island, Japan[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 66(5): 1 309–1 319
- [19] Lee KS, Kim Y. Determining the seasonality of groundwater recharge using water isotopes: A case study from the upper North Han River basin, Korea[J]. Environmental Geology, 2007, 52(5): 853–859
- [20] Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy, 11th edition[M]. USDA, 2010
- [21] Wang P, Song XF, Han DM, Zhang YH, Liu X. A study of root water uptake of crops indicated by hydrogen and oxygen stable isotopes: A case in Shanxi Province, China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(3): 475–482
- [22] Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation[J]. Tellus, 1964, 16(4): 436–468
- [23] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. Science, 1961, 133(3 465): 1 702
- [24] Katz BG, Lee TM, Plummer LN, Busenberg E. Chemical evolution of groundwater near a sinkhole lake, northern Florida: 1. Flow patterns, age of groundwater, and influence of lake water leakage[J]. Water Resources Research, 1995, 31(6): 1 549–1 564

## Evaluation of Shallow Groundwater Recharge from Seasonal Precipitation Using Deuterium Excess Method —A Case of Sunjia Agricultural Watershed, Yingtan

SHEN Ye-jie<sup>1,2</sup>, GAO Lei<sup>1</sup>, PENG Xin-hua<sup>1\*</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Based on the technology of stable isotopes of  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ , we investigated the seasonal variations of stable isotope of hydrogen and oxygen in rainfall, irrigation water and groundwater from April, 2012 to March, 2014 in an agricultural watershed. Meanwhile, groundwater sources and the seasonality of groundwater recharge were determined by using  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  plot and  $d_{\text{excess}}$  mass balance method respectively. These results showed that the local meteoric water line was  $\delta D = 8.49\delta^{18}O + 16.7$  ( $n = 110$ ,  $R^2 = 0.98$ ). Large ranges of  $\delta D$  ( $-113.3\text{‰} - 7.5\text{‰}$ ) and  $\delta^{18}O$  ( $-14.9\text{‰} - -0.9\text{‰}$ ) were found in precipitation, while  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  values in groundwater exhibited relative steady trend, ranging from  $-45.3\text{‰}$  to  $-40.4\text{‰}$  and  $-7.29\text{‰}$  to  $-6.44\text{‰}$  respectively. The variations of  $\delta D$  ( $-66.2\text{‰} - -28.3\text{‰}$ ) and  $\delta^{18}O$  ( $-9.17\text{‰} - -5.00\text{‰}$ ) in irrigation water were less than precipitation but greater than groundwater. In  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  plot, groundwater samples were virtually identical to the local meteoric water line, indicating that groundwater was mainly recharged by atmospheric precipitation. Deuterium excess values of precipitation ranged from  $1.3\text{‰} - 23.7\text{‰}$ , with the average of  $10.8\text{‰}$  in summer half year and  $17.1\text{‰}$  in winter half year respectively. Compared to precipitation, the  $d_{\text{excess}}$  of groundwater was relatively stable ( $8.75\text{‰} - 14.9\text{‰}$ ), with the average of  $11.9\text{‰}$ . Using  $d_{\text{excess}}$  mass balance method, 83% groundwater was recharged in summer half year and only 17% in winter half year, representing a distinct seasonal variation of groundwater recharge and the importance of precipitation in summer half year to groundwater recharge.

**Key words:** Stable isotopes of hydrogen and oxygen; Deuterium excess; Watershed; Groundwater recharge