

# 鹰潭地区大气降水中氢氧稳定同位素特征研究

沈业杰<sup>1, 2</sup>, 彭新华<sup>1\*</sup>

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

**摘要:** 降水中氢氧稳定同位素组成与降水地区各种气象因素变化密切相关。同时, 降水中氢氧稳定同位素关系是水同位素应用的主要基础, 对深入研究降水中水汽来源, 地下水补给等水循环过程具有重要意义。根据江西鹰潭地区 2012 年 4 月至 2013 年 3 月大气降水中氢氧稳定同位素组成和气象资料, 研究了该地区大气降水中氢氧稳定同位素关系及降水量, 温度等气象因素对氢氧稳定同位素组成的影响。研究表明, 该地区大气降水线方程为  $\delta D = 8.61\delta^{18}O + 18.34$  ( $n=72$ ,  $R^2=0.98$ ), 与全球大气降水线方程 ( $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ ) 相比, 鹰潭地区大气降水线的斜率和截距均偏大, 这与凝结物在未饱和大气中降落时重同位素的蒸发富集作用有关, 同时反映了该地区湿润多雨, 降水过程中受二次蒸发影响较小的气候特点。该地区降水中  $\delta D$  ( $-113.3\text{‰} \sim -7.5\text{‰}$ )、 $\delta^{18}O$  ( $-14.9\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$ ) 和氘盈余 ( $3.8\text{‰} \sim 23.2\text{‰}$ ) 变化幅度很大并呈现出明显的季节性变化, 夏半年 (4-9 月)  $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  与氘盈余均显著低于冬半年 (10-3 月) ( $P < 0.01$ ), 反映出不同季节降水的水汽来源及蒸发条件的差异。对该地区降水同位素与降水量和温度相关性的分析表明, 降水中  $\delta^{18}O$  与降水量和温度存在显著负相关关系, 方程式分别为:  $y = -0.056x - 4.7$  ( $R^2 = 0.39$ ,  $P < 0.01$ ) 和  $y = -0.203x - 2.99$  ( $R^2 = 0.23$ ,  $P < 0.01$ ), 说明该地区降水中氢氧稳定同位素存在显著的降水量效应和反温度效应。

**关键词:** 氢氧稳定同位素; 大气降水; 降水量效应; 氘盈余

中图分类号: P426.61

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 01-0101-05

**引用格式:** 沈业杰, 彭新华. 鹰潭地区大气降水中氢氧稳定同位素特征研究[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 101-105.

SHEN Yejie, PENG Xinhua. Stable isotopes of hydrogen and oxygen in the precipitation of Yingtan [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 101-105.

降水是水循环过程的一个重要环节, 在水循环研究过程中, 降水中氢氧稳定同位素关系是同位素水文学的核心概念, 也是水同位素应用的主要基础, 它对于我们深入了解水循环过程及其结构具有重要意义 (顾慰祖, 2011; 张琳等, 2009)。大气降水中氢氧稳定同位素的变化由平衡和动力学同位素分馏机制导致 (Peng 等, 2004; Yeh 等, 2011; Zhao 等, 2011), 同时在水分循环 (如蒸发, 凝结, 水汽转运) 过程中也伴随着分馏作用, 从而造成自然界中各种水源 (water pools) 同位素组成差别很大, 所以氢氧稳定同位素可以作为理想的天然示踪剂表征降水到达土壤, 河流和地下含水层, 并通过蒸发或植物蒸腾返回大气的循环路径。因此, 氢氧稳定同位素方法广泛应用于生态学、水文学等领域, 在确定水分来源如植物水分来源 (Asbjornsen 等, 2007)、地下水补给来源 (Yeh 等, 2011)、雾来源 (Liu 等, 2007), 研究水分在土壤中运动 (Song 等, 2009), 区分蒸腾和蒸发 (Yepez 等, 2005) 等方面起着重要作用。

大气降水中  $\delta^{18}O$  和  $\delta D$  遵循很好的线性关系:  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ 。这种线性关系被称为全球大气降水线 (GMWL)。事实上, GMWL 是全球平均水平, 在不同地区测得的大气降水线有不同程度的偏移, 这一偏移反映出各地大气降水云气形成时, 水汽来源及降水云气在运移过程中环境条件的变化所导致的气、液相同位素分馏的不平衡程度的差异 (张应华等, 2006)。例如, 在西双版纳:  $\delta D = 7.96\delta^{18}O + 8.67$  (Liu 等, 2005); 在半干旱区的黄土高原:  $\delta D = 7.57\delta^{18}O + 3.9$  (Liu 等, 2011); 在西北干旱地区:  $\delta D = 7.42\delta^{18}O + 1.38$  (Liu 等, 2009)。Dansgaard 首先描述了影响降水中同位素差异的四个因素: 高度, 纬度, 离岸距离, 降水量。本质上都受逐渐变化的温度控制, 因为全球水循环包括海表蒸发和水汽输送、冷凝, 沿着水汽的传输路径, 离海岸越远, 纬度、高度越高, 温度越低, 此时温度对降水中氢氧稳定同位素的影响起了主要作用 (Dansgaard, 1964; 陈中笑等, 2010)。

区域降水由于特定的气候条件往往偏离

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目 (2011BAD31B04); 中科院“百人计划”项目

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

\*通讯作者: 彭新华, E-mail: xhpeng@issas.ac.cn

收稿日期: 2013-08-21

GMWL, Dansgaard 首先定义了氘盈余 ( $d_{\text{excess}}$ ) 的概念:  $d_{\text{excess}} = \delta D - 8\delta^{18}\text{O}$ , 表示水汽蒸发过程中因同位素的动力分馏过程而偏离平衡分馏的程度或局地降水稳定同位素偏离 GMWL 的程度(陈中笑等, 2010)。氘盈余受水汽源区空气相对湿度、海表温度、风速等因素影响, 广泛用于表征水汽来源。事实上, 氘盈余不仅有助于确定水汽来源, 当结合不同的水源(土壤水, 地下水和降水等)的氢氧稳定同位素组成, 水势等其它参数时, 还可以对季节性降水对地下水的补给, 降水在土壤中的平均滞留时间等进行研究(Kabeya 等, 2007; Lee 和 Kim, 2007)。值得注意的是, 对于降水线  $\delta D = a\delta^{18}\text{O} + b$ , 由于斜率  $a$  往往不等于 8, 因此氘盈余和截距  $b$  并不相同(顾慰祖, 2011)。

降水是大气圈和水圈之间物质与能量交换过程中最积极的因子, 降水同位素组成是随时间和空间变化的, 对降水中  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的检测可为应用同位素技术研究现在和过去气候条件下的水文循环提供背景数据(顾慰祖, 2011)。自 1961 年以来, 在国际原子能机构(IAEA)和世界气象组织(WMO)共同努力下, 开始运行全球降水同位素监测网(GNIP, Global Network for Isotopes in Precipitation), 迄今已在全球建立了 800 多个降水取样站(吴华武等, 2011)。在 GNIP 全球降水同位素监测网中, 各降水取样站的同位素监测资料为月均值, 不能代表天气尺度下降水中稳定同位素的变化, 因此有必要对天气尺度下降水中稳定同位素变化进行研究(薛积彬等, 2008)。近年来, 国内有不少学者对西北干旱区(Liu 等, 2009; 李小飞等, 2012)、东部季风区(柳鉴容等, 2009)、青藏高原(章新等, 1996)等区域的大气降水稳定同位素特征及其影响因素、水汽来源等进行了深入的研究。然而我国地形气候各异, 降水稳定同位素在时间上和空间上具有很大的差异性, 因此对更广泛地区的降水同位素研究有助于全面了解中国降水同位素的特点, 也有利于为该地区的相关研究提供基础数据。

本文根据 2012 年 4 月至 2013 年 3 月鹰潭降水中  $\delta D$  与  $\delta^{18}\text{O}$  及相关气象数据, 探讨了鹰潭地区大气降水线及大气降水中  $\delta D$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  与相关气象要素之间的关系。由于降水中  $\delta D$  与  $\delta^{18}\text{O}$  有很好的相关性, 为避免分析结果冗余, 本文中的数据分析主要以  $\delta^{18}\text{O}$  为例。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

降水样品取自于江西省鹰潭市中国科学院红壤生态实验站刘家站垦殖农场三分场小流域

(116°55'E, 28°15'N), 该地属中亚热带温暖湿润季风气候区, 具有雨量充沛、光照充足、四季分明的特点。年均降水量 1 795 mm, 年均蒸发量 1 229 mm, 年均气温 17.8 °C。

### 1.2 水样采集及分析

采用简易雨水收集装置(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)收集雨水(Wang 等, 2010)。每次降水结束后立即收集, 如果降水发生在晚上则第 2 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冰箱保存。提取的水样采用 LGR 液态水同位素分析仪(美国 Los Gatos Research (LGR) 公司, 型号: 908-0008)测定。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, ‰)。

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

其中  $R_{\text{sample}}$  表示样品中重轻同位素丰度之比;  $R_{\text{standard}}$  表示标准物质的重轻同位素丰度之比, 一般采用维也纳标准平均海水(Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW)作为标准物。

研究期内共采集 72 个降水样品, 并对降水量进行同步监测。降水时的气温数据来自中国科学院红壤生态实验站。

## 2 结果与讨论

### 2.1 鹰潭大气降水线方程

从图 1 可以看出, 鹰潭地区降水中氢氧稳定同位素值变化幅度较大:  $\delta D$  从 -113.3‰ 到 7.5‰,  $\delta^{18}\text{O}$  从 -14.9‰ 到 -0.9‰。相比于我国大气降水中的  $\delta D$  (-210‰~20‰) 和  $\delta^{18}\text{O}$  (-24‰~2.0‰)(郑淑蕙等, 1983), 鹰潭大气降水的氢氧稳定同位素含量在其范围之内。大气降水中  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  之间的关系对于研究水循环过程中稳定同位素的变化具有重要意义, 根据  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  数据(图 1)求得鹰潭大

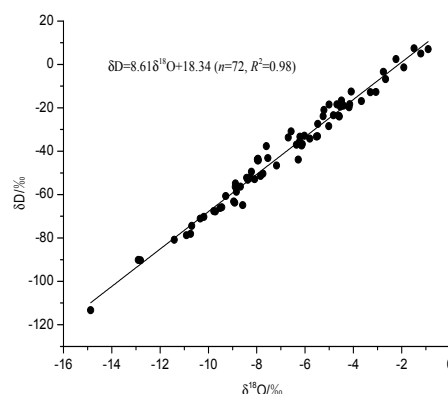


图 1 鹰潭地区大气降水中  $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的关系

Fig.1 Relationship between  $\delta D$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in the precipitation in Yingtan

气降水线方程为： $\delta D=8.61\delta^{18}O+18.34$  ( $n=72$ ,  $R^2=0.98$ )。相比于全球降水线方程  $\delta D=8\delta^{18}O+10$  (Craig, 1961) 与我国大气降水线方程  $\delta D=7.9\delta^{18}O+8.2$  (郑淑蕙等, 1983), 该方程无论在斜率还是截距上均偏大, 这与凝结物在未饱和大气中降落时重同位素的蒸发富集作用有关 (赵家成等, 2009)。一般而言, 大气越干热, 大气降水线的斜率越小, 与此同时, 大气降水线的截距也越小, 反之则偏大 (章新等, 1996)。鹰潭大气降水线方程反映了该地区湿润多雨, 降水过程中受二次蒸发影响较小的气候特点。

2.2 大气降水  $\delta^{18}O$  和  $d_{\text{excess}}$  的季节变化

图 2 给出了鹰潭地区大气降水中  $\delta^{18}O$  和  $d_{\text{excess}}$  随时间的动态变化, 可以看出, 降水中  $\delta^{18}O$  和  $d_{\text{excess}}$  呈现很大的波动,  $\delta^{18}O$  从  $-14.9\text{‰}$  到  $-0.9\text{‰}$ ,  $d_{\text{excess}}$  值介于  $3.8\text{‰}$ ~ $23.2\text{‰}$  之间, 平均值为  $13\text{‰}$ , 与世界大部分地区雨水  $d_{\text{excess}}$  值 ( $10\text{‰}$  左右) 相比略高。为了揭示  $\delta^{18}O$  和  $d_{\text{excess}}$  季节变化的特点, 我们将全年分成两个时段, 4-9 月代表夏半年, 10 月-次年 3 月代表冬半年。结果表明, 夏半年  $\delta^{18}O$  值 ( $-7.67\text{‰}$ ) 显著低于冬半年  $\delta^{18}O$  值 ( $-5.38\text{‰}$ ) (表 1), 这是季风区降水的明显特点, 原因在于冬夏季节降水的水汽来源及蒸发条件不同。对  $d_{\text{excess}}$  的分析表明, 降水中夏半年平均  $d_{\text{excess}}$  值 ( $11.20\text{‰}$ ) 显著低于冬半年平均  $d_{\text{excess}}$  值 ( $17.21\text{‰}$ ) (表 1)。由于东亚季风的影响,  $d_{\text{excess}}$  值有明显的季节性差异, 旱季较高, 雨季较低 (Lee 和 Kim, 2007; Yeh 等, 2011)。 $d_{\text{excess}}$  值大小同时也反映了水汽源地情况: 降水中  $d_{\text{excess}}$  值越小, 水分来源地相对湿度越大, 蒸发越缓慢, 而高的  $d_{\text{excess}}$  值则反应了水分来源地相对湿度较小, 蒸发快速的特点 (Lee 和 Kim, 2007)。

2.3 大气降水  $\delta^{18}O$  的降水量效应

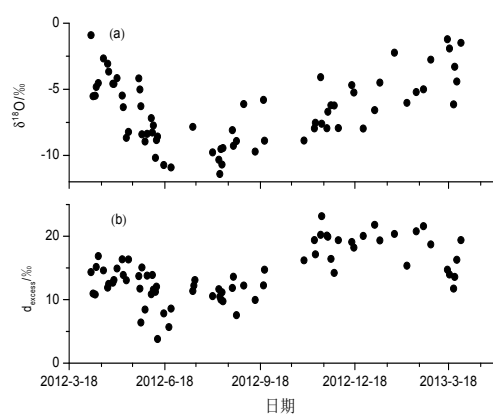


图 2 鹰潭大气降水中  $\delta^{18}O$  (a) 与  $d_{\text{excess}}$  (b) 的季节变化  
Fig. 2 Seasonally variation of  $\delta^{18}O$  (a) and  $d_{\text{excess}}$  (b) in precipitation in Yingtan

表 1 不同季节降水中  $\delta^{18}O$  和  $d_{\text{excess}}$  比较的  $t$  检验结果

Table 1 The  $t$ -test result of  $\delta^{18}O$ ,  $d_{\text{excess}}$  in precipitation seasonally

| 时期  | $\delta^{18}O/\text{‰}$ |       |       | $d_{\text{excess}}/\text{‰}$ |       |       |
|-----|-------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
|     | 平均值                     | $t$ 值 | $P$ 值 | 平均值                          | $t$ 值 | $P$ 值 |
| 夏半年 | -7.67                   | -3.45 | <0.01 | 11.20                        | -9.03 | <0.01 |
| 冬半年 | -5.38                   |       |       | 17.21                        |       |       |

降水量效应是指随着降水量的增大, 雨水中氢氧稳定同位素组成呈现贫化趋势的现象, 即降水中  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值与降水量呈负相关关系。其形成机制主要取决于形成降水的 3 个过程: 水汽源区的蒸发条件、水汽的传输过程和降水时的冷凝程度 (薛积彬等, 2008)。鹰潭地区降水中  $\delta^{18}O$  与降水量的关系见图 3, 其线性回归方程为:  $y=-0.056x-4.7$ ,  $R^2=0.39$  ( $P<0.01$ )。可以看出, 随着降水量的增大,  $\delta^{18}O$  值呈现下降趋势, 降水  $\delta^{18}O$  与降水量之间存在显著负相关关系, 表现出显著的降水量效应。这种现象在中低纬度海洋或季风区, 尤其在亚洲季风区很明显, 与大气环流的变化以及水汽来源有关。

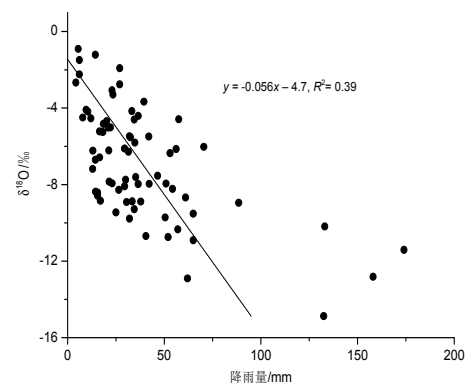


图 3 鹰潭大气降水中  $\delta^{18}O$  与降水量的相关性分析  
Fig. 3 Correlation analysis of  $\delta^{18}O$  in precipitation with precipitation amount in Yingtan

2.4 大气降水中  $\delta^{18}O$  的温度效应

温度效应指氢氧稳定同位素组分与温度成正相关关系的现象, 气温对降水中稳定同位素产生作用的主要机制是: 地面温度在一定程度上与上空降水云团的冷凝温度有对应关系, 而后者与降水的  $\delta^{18}O$  有直接关系, 因此气温越低, 降水中同位素的分馏系数越大, 从而降水中  $\delta^{18}O$  越低 (张琳等, 2009)。鹰潭地区降水中  $\delta^{18}O$  与气温的关系见图 4, 其线性回归方程为:  $y=-0.203x-2.99$ ,  $R^2=0.23$  ( $P<0.01$ )。公式表明  $\delta^{18}O$  随气温的升高而逐渐贫化, 二者存在显著的负相关关系, 表现出明显的反温度效应。这是由于温度效应主要存在于高纬度地区 (柳鉴容等, 2009; 章新平等, 2006)。鹰潭位于中低纬度季风区, 由于该地区降水量效应较为明

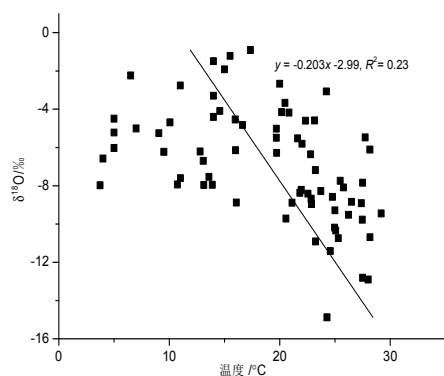


图4 鹰潭大气降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度的相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation with temperature in Yingtan

显,有时会掩盖温度效应,从而观察不到温度效应。

### 3 结论

本文研究了鹰潭地区大气降水中氢、氧稳定同位素组成特征及其与降水量、温度等气象因素的关系,结果表明:

1) 鹰潭站的大气降水线方程为 $\delta\text{D}=8.61\delta^{18}\text{O}+18.34$  ( $n=72$ ,  $R^2=0.98$ ),相比于全球降水线,鹰潭地区大气降水线斜率和截距均偏大,这与雨滴在未饱和大气中降落时重同位素的蒸发富集作用有关,反映了该地区湿润多雨,受二次蒸发影响较小的气候特点。

2) 鹰潭地区大气降水的 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $d_{\text{excess}}$ 具有明显的季节性差异,夏半年 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $d_{\text{excess}}$ 均显著低于冬半年( $P<0.01$ )反映了冬夏季降水的水汽来源及蒸发条件不同。

3) 鹰潭地区大气降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量和温度均存在显著的负相关关系, $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量方程为: $y=-0.056x-4.7$ ,  $R^2=0.39$  ( $P<0.01$ );  $\delta^{18}\text{O}$ 与温度的方程为: $y=-0.203x-2.99$ ,  $R^2=0.23$  ( $P<0.01$ ),表明该地区降水中氢氧稳定同位素存在显著的降水量效应和反温度效应。

### 参考文献:

- ASBJORNSEN H, MORA G, HELMERS M J. Variation in water uptake dynamics among contrasting agricultural and native plant communities in the Midwestern US[J]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2007, 121 (4): 343-356.
- CRAIG H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. *Science*, 1961, 133 (3465): 1702-1703.
- DANSGAARD W. Stable isotopes in precipitation[J]. *Tellus*, 1964, 16 (4): 436-468.
- KABEYA N, KATSUYAMA M, KAWASAKI M, et al. Estimation of mean residence times of subsurface waters using seasonal variation in deuterium excess in a small headwater catchment in Japan[J]. *Hydrological Processes*, 2007, 21 (3): 308-322.
- LEE K S, 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.

- LIU J R, SONG X F, SUN X M, et al. Isotopic composition of precipitation over Arid Northwestern China and its implications for the water vapor origin[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19 (2): 164-174.
- LIU W J, LIU W Y, LI P J, et al. Using stable isotopes to determine sources of fog drip in a tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, SW China[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2007, 143 (1-2): 80-91.
- LIU W J, ZHANG Y P, LI H M, et al. Fog drip and its relation to groundwater in the tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, Southwest China: a preliminary study[J]. *Water research*, 2005, 39 (5): 787-794.
- LIU X, SONG X F, ZHANG Y H, et al. Spatio-temporal variations of  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation and shallow groundwater in the Hilly Loess Region of the Loess Plateau, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 63 (5): 1105-1118.
- PENG H, MAYER B, HARRIS S, et al. A 10-yr record of stable isotope ratios of hydrogen and oxygen in precipitation at Calgary, Alberta, Canada[J]. *Tellus B*, 2004, 56 (2): 147-159.
- SONG X F, WANG S, XIAO G Q, et al. A study of soil water movement combining soil water potential with stable isotopes at two sites of shallow groundwater areas in the North China Plain[J]. *Hydrological Processes*, 2009, 23 (9): 1376-1388.
- WANG P, SONG X F, HAN D M, et al. 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.
- YEH H F, LEE C H, HSU K C. 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.
- YEPEZ E A, HUXMAN T E, IGNACE D D, et al. Dynamics of transpiration and evaporation following a moisture pulse in semiarid grassland: A chamber-based isotope method for partitioning flux components[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2005, 132 (3): 359-376.
- Zhao L J, Xiao H L, Zhou M X, et al. Factors controlling spatial and seasonal distributions of precipitation  $\delta^{18}\text{O}$  in China[J]. *Hydrological Processes*, 2011, 26 (1): 143-152.
- 陈中笑, 程军, 郭品文, 等. 中国降水稳定同位素的分布特点及其影响因素[J]. *大气科学学报*, 2010, 33 (6): 667-679.
- 顾慰祖. 同位素水文学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- 李小飞, 张明军, 李亚举, 等. 西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送[J]. *环境科学*, 2012, 33 (3): 711-719.
- 柳鉴容, 宋献方, 袁国富, 等. 中国东部季风区大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的特征及水汽来源[J]. *科学通报*, 2009, 54 (22): 3521-3531.
- 吴华武, 章新平, 孙广禄, 等. 长江流域大气降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化与水汽来源[J]. *气象与环境学报*, 2011, 27 (5): 7-12.
- 薛积彬, 钟巍, 赵引娟. 广州大气降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与气象要素及季风活动之间的关系[J]. *冰川冻土*, 2008, 30 (5): 761-768.
- 张琳, 陈立, 刘君, 等. 香港地区大气降水的D和 $^{18}\text{O}$ 同位素研究[J]. *生态环境学报*, 2009, 18 (2): 572-577.
- 张应华, 仵彦卿, 温小虎, 等. 环境同位素在水循环研究中的应用[J]. *水科学进展*, 2006, 17 (5): 738-747.
- 章新, 平姚, 檀栋. 青藏高原东北地区现代降水中D与 $\delta^{18}\text{O}$ 的关系研究[J]. *冰川冻土*, 1996, 18 (4): 360-365.
- 章新平, 刘晶淼, 孙维贞, 等. 中国西南地区降水中氧稳定同位素比率与相关气象要素之间关系的研究[J]. *中国科学: D 辑*, 2006, 36 (9): 850-859.
- 赵家成, 魏宝华, 肖尚斌. 湖北宜昌地区大气降水中的稳定同位素特征[J]. *热带地理*, 2009, 29 (6): 526-531.
- 郑淑蕙, 侯发高, 倪葆龄. 我国大气降水的氢氧稳定同位素研究[J]. *科学通报*, 1983, 28 (13): 801-806.

## Stable isotopes of hydrogen and oxygen in the precipitation of Yingtian

SHEN Yejie<sup>1,2</sup>, PENG Xinhua<sup>1\*</sup>

1. State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Nanjing 210008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** The  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  composition in precipitation are closely related to local meteorological factors. Meanwhile, being the primary basis of the isotope hydrology, stable isotopes of hydrogen and oxygen composition can be applied in the study of water cycle, such as evaluating sources of water vapor, groundwater recharge, etc. In this study, stable isotopes of oxygen and hydrogen compositions of the precipitation in Yingtian area from April, 2012 to March, 2013 were investigated. According to the isotopes of precipitation, local meteoric water regression lines could be described as:  $\delta D = 8.61\delta^{18}O + 18.34$  ( $n=72$ ,  $R^2=0.98$ ). Its slope and intercept were higher than those of global meteoric water line ( $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ ) due to the evaporation and enrichment of heavy isotopes condensation in the unsaturated atmosphere. Large ranges of  $\delta D$  ( $-113.3\text{‰} \sim 7.5\text{‰}$ ),  $\delta^{18}O$  ( $-14.9\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$ ) and  $d_{\text{excess}}$  values ( $3.8\text{‰} \sim 23.2\text{‰}$ ) were found in precipitation in this region, and the values of  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  and  $d_{\text{excess}}$  in the summer half year (April-September) were significantly lower than those in the winter half year (March-October) ( $P < 0.01$ ), indicating different evaporative conditions and atmospheric water vapor sources between the two seasons. The relationship between  $\delta^{18}O$  and precipitation amount, temperature could be described as  $y = -0.056x - 4.7$  ( $R^2 = 0.39$ ,  $P < 0.01$ ) and  $y = -0.203x - 2.99$  ( $R^2 = 0.23$ ,  $P < 0.01$ ), indicating the precipitation amount effect and anti-temperature effect of isotopes in precipitation respectively.

**Key words:** hydrogen and oxygen isotope; precipitation; precipitation amount effect; deuterium excess