

四川盆地与关中盆地春夏季 大气降水氧同位素特征及意义

王涛¹ 邵晓华¹ 张娴¹

摘要

利用四川、关中盆地大气降水稳定同位素观测资料,通过计算、对比分析了两盆地内部降水稳定同位素春夏季节的变化特征.结果表明:两地降水稳定同位素在季节尺度上都具有显著的季节性变化;大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与温度、降水量的相关性及其变化趋势表明温度及降水量都不是两盆地内春、夏季上控制降水中稳定同位素变化的主要因素;两地春夏季大气降水线及其斜率、截距的异同,可以反映出两地局地气候特点及降水水汽来源的不同.降水水汽的来源是影响两盆地大气降水稳定同位素变化的主要因素,同时地理因素在季节上对地区降水水汽输送路径的影响改变了局地降水稳定同位素的组成.

关键词

$\delta^{18}\text{O}$; 温度; 降水量; 大气降水线

中图分类号 P332.8; P426.6; X142

文献标志码 A

收稿日期 2011-12-24

资助项目 国家自然科学基金青年基金项目(40701013)

作者简介

王涛,男,硕士生,主要从事全球变化与区域响应的研究.4341250@qq.com

邵晓华(通信作者),女,博士,副教授,主要从事全球变化与区域响应的研究工作.

xiaohua.shao@163.com

0 引言

稳定同位素是自然水体的重要组成部分,同位素以不同的比值分配到两种物质或物相中,这种同位素分馏现象发生在自然界水循环的每一个环节中,且非常敏感地响应环境的变化.降水是水循环过程中的一个重要环节,降水中稳定同位素的比率与降水形成的气象条件以及水汽源区的初始状态存在密切联系^[1].

Dansgaard^[2]根据1961—1962年汇集的资料,讨论了影响降水中同位素组成季节分布和地理分布的因素,根据瑞利模型总结了大气降水氧同位素的纬度效应、温度效应、高度效应、降水量效应和大陆效应.这些效应主要考虑采样点本身的气象数据和地理要素.通常降水中稳定同位素比率与温度、降水量之间的关系最受关注,被认为是影响降水中稳定同位素比率变化的主要因素.温度效应指同位素的组成成分与温度成正相关关系. Dansgaard^[2]对北大西洋沿岸的大气降水中稳定同位素的研究发现,北大西洋沿岸无论是温带还是寒带地区的大气降水的平均稳定同位素与温度存在着正相关关系.大气降水的同位素组成是湿度的函数,雨滴在降水过程中的蒸发效应及与环境水蒸气的交换作用,导致降水呈现出降水量效应^[2-4],即降水中氢氧同位素数值与降水量大小呈反相关关系,这种效应在中低纬度地区是比较明显的.研究表明,在高纬度地区影响降水中稳定同位素变化的主要因素是温度,并且越深入大陆内部地区,其正相关关系越密切^[5-6].国内学者根据降水同位素资料和气象数据也论证了温度效应和降水量效应^[7-9].

相关研究也发现降水气团的来源及其性质在某种程度上也是决定降水中同位素组成的主要因素^[10],因为大气中的水汽是降水发生的物质前提,所以大气中水汽的稳定同位素组成对于降水中稳定同位素组成具有重要的影响^[11-12].文献[13-15]利用降水中稳定同位素对青藏高原水汽来源的研究,认为不同的水汽来源是青藏高原南北降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 存在差异的主要原因.郑琰明等^[16]对粤西云浮市的降水稳定同位素研究表明,该地区较轻的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值水汽来源于西南季风;较重的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值水汽来源于东南季风.概括而言,影响大气降水稳定同位素组成的因素主要有两个:一是局部地区的地理因素,包

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

括降水时的各种气象要素及当地的海拔^[3]和纬度等;二是区域气候的环境背景,即降水水汽团的来源、性质及水汽由产生到输送直到发生降水的整个过程中稳定同位素发生的变化. 本文利用全球降水同位素观测网络中成都、西安的资料,分析四川盆地和关中盆地大气降水中稳定同位素的春、夏季节变化特征,并对春夏季节上温度、降水量及地理因素等不同控制因素对大气降水稳定同位素的影响进行探讨.

1 区域地理气候特征及资料来源

四川盆地位于长江上游四川省东部,四周为海拔 2 000 ~ 3 000 m 的山脉和高原所环绕. 盆地地形闭塞,西依青藏高原和横断山脉,北近秦岭,东接湘鄂西山地,南连云贵高原. 四川盆地地处亚热带,又是高原大地形与中国东部平原的过渡区,特殊的地理位置使得盆地的气候既受东亚季风和印度季风的影响,同时又受青藏高原大气环流系统的影响,气候复杂. 西风带在越过青藏高原时发生分流,并在长江中下游汇合,四川盆地则成为背风的“死水区”,气候特征显著不同于周边地区,虽然深居内陆,却显示出明显的海洋性特征. 盆地内年降水量 1 000 ~ 1 300 mm,但冬干、春旱、夏涝、秋绵雨,年内分配不均,70% ~ 75% 的雨量集中于 6—10 月.

关中盆地位于陕西省中部,西起宝鸡,东至潼关,南依秦岭,北抵北山. 区内是一个三面环山,向东敞开的新生代断陷盆地. 南北两侧山脉由东向西到宝鸡逐渐闭合而成峡谷. 南面是峰峦叠嶂、山势陡峭的秦岭高山,海拔 1 000 ~ 2 320 m,北面是舒缓起伏的低山丘陵,统称为“北山”,海拔 700 ~ 1 250 m. 在北山与秦岭之间为西窄东宽的平原地形,地势上西高东低,渭河纵贯其中. 关中盆地属温带半干旱、半湿润气候,多年平均降水量 530 ~ 700 mm,西部多于东部,南部多于北部. 降水量年际与年内分配不均,年内降水量主要集中在 7—9 月,其降水量占全年的 45% 左右.

文中所用成都、西安站点降水同位素资料来自全球降水同位素观测网 GNIP (Global Network of Isotope in Precipitation), 观测网中各个站点观测的项目包括 δD , $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , 温度和降水量以及水汽压,所有观测项目数据记录均为月值. 数据可以在国际原子能机构网站 (<http://www.iaea.org/water>) 上直接下载. 分析国际原子能机构 (IAEA) 的 GNIP 数据库中

我国站点的大气降水稳定同位素与气象数据,部分气象数据是缺失的. 为此,根据我国气象数据库资料进行补充,数据记录时间为 1986—1992 年.

2 降水中稳定同位素变化及其影响因素

2.1 $\delta^{18}\text{O}$ 的春夏季节变化

四川盆地多年春季 (3—5 月) 大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围是 $-3.77\text{‰} \sim -0.37\text{‰}$, 平均值 -2.12‰ , δD 变化范围是 $-26.5\text{‰} \sim -1.6\text{‰}$, 平均值 -13.85‰ ; 多年夏季 (6—8 月) 大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围是 $-11.02\text{‰} \sim -1.86\text{‰}$, 平均值 -7.60‰ , δD 变化范围是 $-79.7\text{‰} \sim -4.4\text{‰}$, 平均值 -54.52‰ .

关中盆地多年春季 (3—5 月) 大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围是 $-11.93\text{‰} \sim -2.02\text{‰}$, 平均值 -5.35‰ , δD 变化范围是 $-79.9\text{‰} \sim -13.9\text{‰}$, 平均值 -33.14‰ ; 多年夏季 (6—8 月) 大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围是 $-12.08\text{‰} \sim -1.1\text{‰}$, 平均值 -7.05‰ , δD 变化范围是 $-85.2\text{‰} \sim 0.8\text{‰}$, 平均值 -46.5‰ . 平均来讲,关中盆地春夏季节大气降水稳定同位素变化幅度大于四川盆地.

2.2 温度的影响

对成都地区春季、夏季及春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度间的相关性计算,得出相关系数 (表 1). 春季大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度间有较弱的负相关性;夏季有很弱的正相关性;春夏季节则显示出较显著的负相关性. 温度与大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 之间并没有呈现出“温度效应”. 从成都地区大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度的变化趋势上 (图 1a) 得出:春季大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化曲线较平稳,而温度曲线则在升高;夏季温度变化曲线较平稳,大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化曲线则在快速偏负. 以上变化显示 $\delta^{18}\text{O}$ 的温度效应在成都春、夏季大气降水中不存在.

表 1 成都、西安春、夏季节 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度相关系数

Table 1 Correlation coefficient between precipitation $\delta^{18}\text{O}$ value and temperature in Chengdu and Xi'an areas during spring and summer

区域	$\delta^{18}\text{O}$ 与温度相关系数		
	春季	夏季	春夏季
成都	-0.257	0.013	-0.71**
西安	0.250	-0.249	-0.198

注:**为显著性水平 0.01

西安地区春季、夏季及春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$

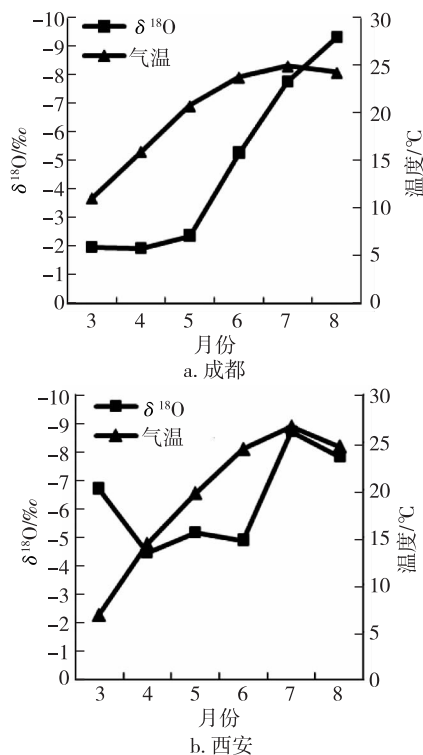


图1 成都、西安春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度变化趋势
Fig. 1 Variation trend of monthly mean temperature and precipitation $\delta^{18}\text{O}$ in Chengdu and Xi'an areas during spring and summer

与温度间的相关系数如表1所示.由表1可见:春季大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度间有较弱的正相关性;夏季有很弱的负相关性;春夏季节仍呈现弱的负相关性.同样,温度与大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 之间也没有呈现出“温度效应”.图1中,西安地区气温、 $\delta^{18}\text{O}$ 变化曲线显示:3—4月,温度升高,大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 偏正;4—6月,温度继续升高,而大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化曲线则较平稳;6—8月, $\delta^{18}\text{O}$ 值变化的趋势和温度的变化趋势则相反.以上变化显示春夏季节期间, $\delta^{18}\text{O}$ 的温度效应只在西安春初季节大气降水中有显示,并不是影响大气降水稳定同位素变化的主要因素.

2.3 降雨量的影响

成都、西安地区春季、夏季及春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量间的相关系数如表2所示.

由表2可知:成都地区春季、夏季及春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量间皆有负相关性,其中春夏季节较为显著,相关系数达到 -0.763 ;西安地区春季大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量间有较弱的正相关性,夏季则有较为显著的负相关性,相关系数达到 -0.652 ,春夏季节也存在显著的负相关性.

表2 成都、西安春、夏季节 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量相关系数

Table 2 The correlation coefficient between precipitation $\delta^{18}\text{O}$ value and precipitation amount in Chengdu and Xi'an areas during spring and summer

区域	$\delta^{18}\text{O}$ 与降水量相关系数		
	春季	夏季	春夏季
成都	-0.185	-0.397	-0.763**
西安	0.198	-0.652**	-0.397*

注:**为0.01显著性水平;*为0.05显著性水平

两地区大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量春夏季变化曲线(图2)显示: $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化趋势大致与降水量变化趋势呈反向变化关系,尤以成都地区明显,这也与相关系数的计算结果基本相符.

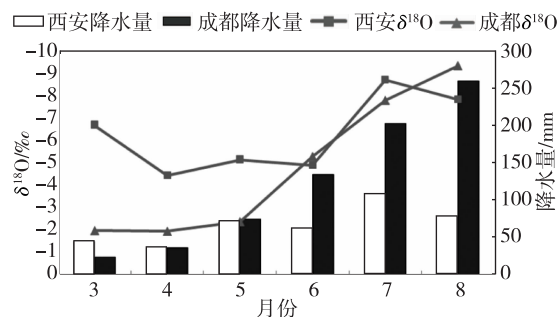


图2 成都、西安春夏季节大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量变化趋势

Fig. 2 Variation trend of monthly mean precipitation amount and $\delta^{18}\text{O}$ in Chengdu and Xi'an areas during spring and summer

虽然降水中稳定同位素存在着明显的降水量效应,但以往的学者对降水量与降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的研究表明,降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值并不都和当地的降水量直接相关,这种现象在低纬度沿海和季风区普遍存在^[4,17].例如桂林地区雨季靠前,降水量最大的是4—6月,但全年雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 值最低时仍然是夏季风盛行的6—9月^[18].云南地区的研究也出现了 $\delta^{18}\text{O}$ 最小值并非与降水量的最大值相对应的情况^[19].郑淑蕙等^[20]对单独降水的采样分析表明,同样1~3mm的降水过程,夏季风期间 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏负,而冬季风期间偏正,夏、冬两季水汽来源的不同对降水同位素组成的影响是显而易见的,与降水量并无直接的关系.章新平等^[21]对降雨量效应的研究认为:在旱季,受大陆性气团的影响,空气干燥,降水量小,大气中温度露点差大,蒸发强,重同位素富集作用强,因此降水中稳定同位素比率高;在雨季,受来自海洋水汽的影响,

空气湿润降水量大,大气中温度露点差小,蒸发弱,重同位素富集作用轻,因此降水中稳定同位素比率低.可见,降水量效应是不同水汽来源对降水中稳定同位素影响的产物.

3 大气降水线

大气降水线是一个地区某个阶段内降水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的线性关系,对于研究水循环过程中稳定同位素比率之间的关系具有重要意义.1961年,Craig^[22]研究全球范围内降水样品中的氢氧同位素组成后,用数学式表示了 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的线性规律: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$,它是一条斜率为8,截距为10的直线,又称为全球大气降水线 GMWL(Global Meteoric Water Line).GMWL 这个关系式揭示在全球平均状况下,水汽在其起源地非平衡蒸发以及水汽在凝结过程中平衡分馏条件下降水中稳定同位素比率 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的对比关系^[2,23].由于局地环流中水汽来源及蒸发模式的不同,各局地大气降水线 LMWL 常常会偏离全球大气降水线.国内学者也根据全球降水同位素观测资料对我国的大气降水特征做了大量的研究.郑淑蕙等^[20]提出了我国的降水方程: $\delta\text{D} = 7.9\delta^{18}\text{O} + 8.2$.章新平等^[4]也给出了南京、武汉、福州和长沙等地的大气降水线方程.

图3是根据成都、西安站点统计到的春季大气降水中 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 构成的局地大气降水线.

成都: $\delta\text{D} = 2.85\delta^{18}\text{O} - 7.80$ ($R^2 = 0.149$),

西安: $\delta\text{D} = 6.43\delta^{18}\text{O} + 1.30$ ($R^2 = 0.859$).

与全球大气降水线相比,两站春季大气降水线的斜率和常数项(截距)均小于全球大气降水线,尤其是成都站的斜率和截距.这与降雨云中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,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,即常数项也越小^[23],这与四川盆地内冬春季节干旱的气候特点是相符的.文献[24-25]研究表明,能够输送到我国大陆的水汽通道主要有4条:南亚季风的西南水汽通道、南海季风的南海水汽通道、副热带季风的东南水汽通道以及中纬度西风带的西北通道.如前所述,西风带在越过青藏高原时发生分流,并在长江中下游汇合,四川盆地也就成为背风的“死水区”.在亚洲夏季风未能影响四川盆地时,盆地内部的降水水汽就主要来源于当地地表水的蒸发,使得春季大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 较高(偏正).而在关中盆地,西风带越过青藏高原的北支分

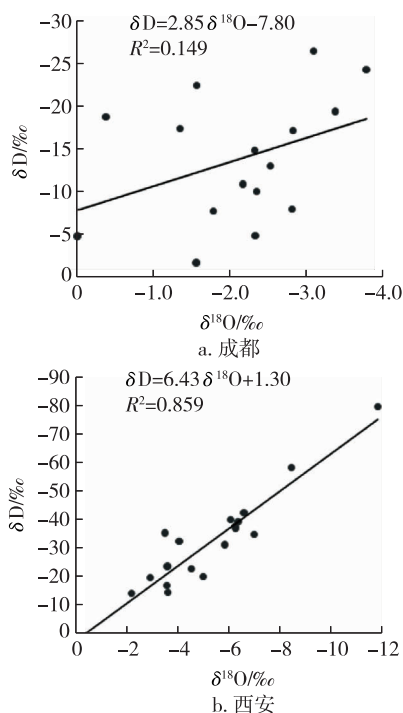


图3 成都、西安站春季大气降水线
Fig. 3 Local meteoric water line in Chengdu and Xi'an areas in spring

流,绕过新疆北部后,与来自西伯利亚南下的极地大陆气团汇合,转为西北气流,能够影响关中盆地的大气降水,并带来西风带中的海洋水汽,使得大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 较成都 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏负.成都与西安春季大气降水线的较大差异也就能够表明两地的降水水汽来源是不同的.

图4是根据成都、西安站点统计到的夏季大气降水中 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 构成的局地大气降水线.

成都: $\delta\text{D} = 8.28\delta^{18}\text{O} + 8.43$ ($R^2 = 0.960$),

西安: $\delta\text{D} = 7.93\delta^{18}\text{O} + 9.35$ ($R^2 = 0.946$).

成都、西安夏季大气降水线在斜率和截距上的近似并且更加接近郑淑蕙等^[20]的全国大气降水线,反映两地区夏季降水水汽的主要来源是相同的,都是来自于海洋水汽的输送.

夏季季风期间,四川盆地与关中盆地大气降水水汽主要来自经向的水汽输送.亚洲夏季风主要的水汽通道是从南印度洋由东风向西输送,然后通过索马里急流输送到阿拉伯海,经过孟加拉湾和中印半岛到达南海地区,在那里转向北,进一步输送到东亚地区^[26].由此,成都、西安站大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的偏负是与远距离海洋水汽输送以及此过程中稳定同位素

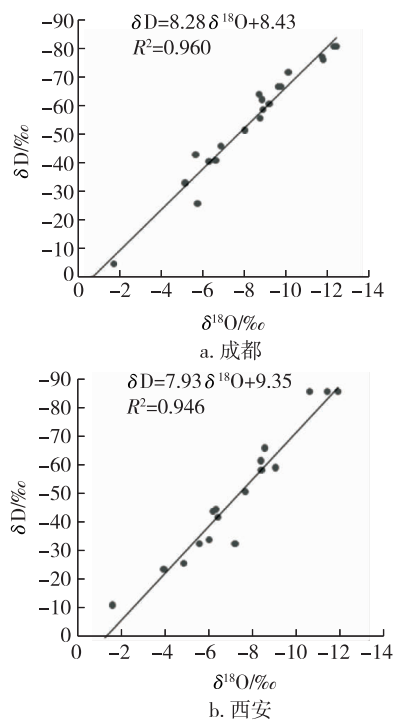


图4 成都、西安站夏季大气降水

Fig. 4 Local meteoric water line in Chengdu and Xi'an areas in summer

不断贫化有关,而非降水量效应作用的影响。

通过上述分析可知:四川盆地地处西风带越青藏高原后的背风区,关中盆地地处西风带越青藏高原后的北支气流区,这是两地春季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 大小及大气降水线差异的主要因素;夏季时,相同的经向水汽输送则是降水 $\delta^{18}\text{O}$ 大小及降水线近似的主因。因此,导致四川盆地和关中盆地春、夏季节上大气降水稳定同位素异同性的主要因素是降水水汽的来源,地理因素能改变局地降水稳定同位素变化特征的原因是某些程度上影响降水水汽输送路径的结果。

4 结论与讨论

综上所述,可得到四川盆地和关中盆地春夏季节大气降水稳定同位素变化特征:四川、关中两盆地内降水稳定同位素比率都具有显著的季节性变化,春季降水中平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显高于夏季 $\delta^{18}\text{O}$ 值,而在季节内,四川盆地大气降水稳定同位素变化幅度都小于关中盆地,尤其在春季表现得更加明显。

大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与温度、降水量的相关性计算及变化趋势的分析得出:温度和降水量不能本质上影响降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化,夏季出现的显著降水量效应

说明降水的水汽主要来自于低纬度海洋。因此,温度及降水量都不是两盆地内春、夏季上控制降水中稳定同位素变化的主要因素。

通过比较两地春夏季大气降水线及其斜率、截距的异同,可以反映出两地局地气候特点及降水水汽来源的不同。春季四川盆地的降水以局地地表水的蒸发为主,所以降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值比较偏正,大气降水线的斜率和截距也就偏小,而关中盆地则受到西风带水汽的影响为主,降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏负,大气降水线的斜率和截距偏大。两地夏季大气降水线的近似且比较接近全球大气降水线则表明夏季降水水汽主要源于海洋水汽的输送,反映出两地夏季降水受到季风气候影响的特点。

四川盆地和关中盆地春夏季节大气降水稳定同位素变化特征表明:两地区季节尺度上降水水汽的来源是影响大气降水中稳定同位素变化的主要因素,同时地理因素在不同季节上通过对地区降水水汽输送路径的影响能够改变局地降水稳定同位素的组成。

本文利用成都、西安两站点的资料数据,对四川盆地和关中盆地大气降水中稳定同位素的变化特征进行探讨,这种以点代面的分析以及资料数据的时间尺度限制可能无法全面反映客观情况。

参考文献

References

- [1] 章新平,刘晶森,田立德,等. 亚洲降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 沿不同水汽输送路径的变化[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 699-708
ZHANG Xinping, LIU Jingmiao, TIAN Lide, et al. Variations of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation along vapor transport paths over Asia[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(5): 699-708
- [2] Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation[J]. Tellus, 1964, 16(4): 436-468
- [3] 田立德,姚檀栋,蒲健辰,等. 拉萨夏季降水中氧稳定同位素变化特征[J]. 冰川冻土, 1997, 19(4): 295-301
TIAN Lide, YAO Tandong, PU Jianchen, et al. Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in summer precipitation at Lhasa[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1997, 19(4): 295-301
- [4] 章新平,中尾正义,姚檀栋,等. 青藏高原及其毗邻地区降水中稳定同位素成分的时空变化[J]. 中国科学: D辑, 2001, 31(5): 353-361
ZHANG Xinping, Masayoshi Nakawo, YAO Tandong, et al. Temporal-spatial variation of precipitation stable isotopes in Qinghai-Tibet plateau and its surrounding areas[J]. Science in China: D, 2001, 31(5): 353-361
- [5] Dansgaard W. The abundance of $\delta^{18}\text{O}$ in atmospheric water and water vapor[J]. Tellus, 1953, 5(4): 461-469

- [6] 章新平,姚檀栋. 我国降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布特点[J]. 地理学报,1998,53(4):356-364
ZHANG Xinping, YAO Tandong. Distributional features of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation in China[J]. Acta Geographica Sinica,1998,53(4):356-364
- [7] 章新平,姚檀栋. 我国部分地区降水中氧同位素成分与温度和降水量之间的关系[J]. 冰川冻土,1994,16(1):31-39
ZHANG Xinping, YAO Tandong. Relations of oxygen isotopic composition in precipitation with temperature and precipitation amount in some regions of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,1994,16(1):31-39
- [8] 王东升,王经兰,申建梅,等. 中国大气降水的氧同位素温标[J]. 矿物岩石地球化学通报,2001,20(4):394-396
WANG Dongsheng, WANG Jinglan, SHEN Jianmei, et al. The isotope thermometer of precipitation in China[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2001,20(4):394-396
- [9] 张琳,陈宗宇,聂振龙,等. 我国不同时间尺度的大气降水氧同位素与气温的相关性分析[J]. 核技术,2008,9(31):715-720
ZHANG Lin, CHEN Zongyu, NIE Zhenlong, et al. Correlation between $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation and surface air temperature on different time-scale in China[J]. Nuclear Techniques,2008,31(9):715-720
- [10] 卫克勤,林瑞芬. 论季风气候对我国雨水同位素组成的影响[J]. 地球化学,1994,23(1):33-40
WEI Keqin, LIN Ruifen. The influence of the monsoon on the isotopic composition of precipitation in China[J]. Geochimica,1994,23(1):33-41
- [11] Hubner H, Kowshi P, Hermichen W D, et al. Regional and temporal variations of Deuterium in the precipitate and atmospheric moisture of central Europe[C]//Isotope Hydrology, 1978. Vienna, Austria: IAEA-publications, 1979:289-307
- [12] Schoch-Fischer H, Rozanski K, Jacob H, et al. Hydrometeorological factors controlling the time variation of D, ^{18}O and ^3H in atmospheric water vapour and precipitation in the northern westwind belt [C] // Isotope Hydrology 1983. Vienna, Austria: IAEA-publications, 1984:3-30
- [13] Tian L D, Masson-Delmotte V, Stievenard M, et al. Tibetan plateau summer monsoon northward extent revealed by measurements of water stable isotopes [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106 (D22): 28081-28088
- [14] 章新平,中尾正义,藤田耕史,等. 喜马拉雅山朗塘流域降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化[J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31(3):206-213
ZHANG Xinping, Masayoshi Nakawo, Koji Fujita, et al. Variation of precipitation $\delta^{18}\text{O}$ in Langtang valley, Himalayas[J]. Science in China: D, 2001, 31(3):206-213
- [15] 田立德,姚檀栋,Numaguti A,等. 青藏高原南部季风降水中稳定同位素波动与水汽输送过程[J]. 中国科学: D 辑, 2001, 44(增刊1):267-274
TIAN Lide, YAO Tandong, Numaguti A, et al. Relation between stable isotope in monsoon precipitation in southern Tibetan Plateau and moisture transport history[J]. Science in China: D, 2001, 44(sup1):267-274
- [16] 郑琰明,钟巍,彭晓莹,等. 粤西云浮市大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与水汽来源的关系[J]. 环境科学, 2009, 30(3):638-643
ZHENG Yanming, ZHONG Wei, PENG Xiaoying, et al. Correlation of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation and moisture sources at Yunfu, Western Guangdong province, China[J]. Environmental Science, 2009, 30(3):638-643
- [17] Araguás-Araguás L, Froehlich K, Rozanski K. Stable isotope composition of precipitation over southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103 (D22): 28721-28742
- [18] 刘东生,陈正明,罗可文. 桂林地区大气降水的氢氧同位素研究[J]. 中国岩溶, 1987, 6(3):225-231
LIU Dongsheng, CHEN Zhengming, LUO Kewen. A study on hydrogen and oxygen isotopic composition of the precipitation in Guilin area[J]. Carsologica Sinica, 1987, 6(3):225-231
- [19] 章新平,刘晶森,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
ZHANG Xinping, LIU Jingmiao, SUN Weizhen, et al. The oxygen isotope ratio in precipitation and relationship with meteorological factors in Southwest China[J]. Science in China: D, 2006, 36(9):850-859
- [20] 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(13):801-806
ZHENG Shuhui, HOU Fagao, NI Baoling. The studies of hydrogen and oxygen stable isotopes in atmospheric precipitation in China[J]. Chinese Science Bulletin, 1983(13):801-806
- [21] 章新平,孙维贞,刘晶森. 西南水汽通道上昆明站降水中的稳定同位素[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5):665-669
ZHANG Xinping, SUN Weizhen, LIU Jingmiao. Stable isotopes in precipitation in the vapor transport path in Kunming of southwest China. [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5):665-669
- [22] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. Science, 1961, 133(3465):1702-1703
- [23] 章新平,姚檀栋. 青藏高原东北地区现代降水中 δD 与 $\delta^{18}\text{O}$ 的关系[J]. 冰川冻土, 1996, 18(4):360-365
ZHANG Xinping, YAO Tandong. Relations between δD and $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation at present in the northeast Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(4):360-365
- [24] 田红,郭品文,陆维松. 中国夏季降水的水汽通道特征及其影响因子分析[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4):401-408
TIAN Hong, GUO Pinwen, LU Weisong. Characteristics of vapor inflow corridors related to summer rainfall in China and impact factors[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2004, 20(4):401-408
- [25] 孙建华,卫捷,赵思雄,等. 2005年夏季的主要天气及其环流分析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(2):138-154
SUN Jianhua, WEI Jie, ZHAO Sixiong, et al. The weather and its circulation in summer of 2005[J]. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(2):138-154

[26] 丁一汇. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 2005:214

DING Yihui. Advanced synoptic meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005:214

Regional characteristics and implications of spring and summer precipitation $\delta^{18}\text{O}$ values in Sichuan and Guanzhong basin

WANG Tao¹ SHAO Xiaohua¹ ZHANG Xian¹

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The stable isotope variation in spring and summer precipitation of Sichuan and Guanzhong basin are computed and analyzed by using isotopic data of Chengdu and Xi'an station of Global Network of Isotope in Precipitation (GNIP). The results show that a significant seasonal $\delta^{18}\text{O}$ variation in precipitation exists in both the two basins. Correlation analysis indicates that neither the temperature effect nor the amount effect is pronounced for precipitation $\delta^{18}\text{O}$ variation in spring and summer. The Local Meteoric Water Line (LWML) and its gradient and increment reflect the local climate characteristics as well as rainfall vapor source. Thus, the rainfall vapor source is considered to be the main factor influencing the $\delta^{18}\text{O}$ variation in precipitation of the two basins, and local vapor transport pathway affected by geographical factors determines the stable isotope composition.

Key words $\delta^{18}\text{O}$; temperature effect; amount effect; meteoric water line