

# 中国季风区大气降水同位素的 季节尺度环流效应

谭 明<sup>①</sup> 南素兰<sup>②</sup> 段武辉<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>中国科学院地质与地球物理研究所, 新生代地质与环境重点实验室, 北京 100029;

<sup>②</sup>中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要** Dansgaard 于 1964 提出月尺度降水  $\delta^{18}\text{O}$  的降水量效应(或称雨量效应), 之后在古气候研究中被广泛应用于解释古季风强度的变化以及重建降水量。但在具有复合水源的中国季风区, 这一应用遇到了困难。近年来, 根据大量的观测数据, 指出至少在中国季风区还存在另外一种同位素效应: 环流效应。对于中国东部广大季风区来说, 临近的太平洋提供近源水汽, 而印度洋提供远源水汽。由于海洋和大气环流的变化, 如热带太平洋海温梯度的变化, 或西太平洋副热带高压的变化等, 可导致从太平洋和印度洋向中国季风区输送的近远源水汽比率发生变化, 从而导致了大气降水  $\delta^{18}\text{O}$  变化: 无论降水量大或小, 如果水汽来自太平洋, 则降水  $\delta^{18}\text{O}$  值偏高, 如果水汽来自印度洋, 则降水  $\delta^{18}\text{O}$  值偏低。本研究进一步分析了降水同位素季节尺度的环流效应, 并引用 SPR(江南春雨)这个气候学概念, 成功地解释了 2012 年的降水量效应佯谬。降水同位素的环流效应概念不仅对同位素气象学和气候学有参考价值, 也有助于我们理解作为古气候代用指标的  $\delta^{18}\text{O}$  的信号意义。

**关键词** 降水同位素 季节尺度 降水量效应 环流效应 江南春雨

**中图分类号** P464, P579 **文献标识码** A

## 1 引言

石笋  $\delta^{18}\text{O}$  作为气候变化记录, 在著名的南京葫芦洞末次冰期序列<sup>[1]</sup> 发表以后, 受到古气候界的广泛关注, 引出了越来越多的研究和讨论。在中国, 多数研究者将大区域长尺度变化一致的石笋  $\delta^{18}\text{O}$  作为东亚夏季风强度或降水量大小的指标。但是, 这个被学界广泛接受的观点, 其实从未被严格证明过。该观点的理论基础是众所周知的“降水量效应”(amount effect, 或称“雨量效应”)<sup>[2,3]</sup>, 而原作者在 1964 年发表的文中明确指出<sup>[2]</sup>, 他所说的“降水量效应”是月尺度或季节尺度的降水量与  $\delta^{18}\text{O}$  之间的统计负相关(原文: A negative correlation will be demonstrated between  $\delta$  and the amount of monthly precipitation, *i.e.* low  $\delta$ 's in rainy months and high  $\delta$ 's in months with sparse rain. This “amount effect” is found all the year round at most tropical stations, and in

the summer time at mid latitudes)。所以, 最合乎逻辑的做法是, 我们首先要在中国季风区利用现代观测数据, 证明降水  $\delta^{18}\text{O}$  是否普遍存在“降水量效应”。

## 2 中国南方降水 $\delta^{18}\text{O}$ 季节变化总体特征

程海等<sup>[4]</sup> 统计了 GNIP(全球大气降水同位素观测网)在中国南方(黄河-秦岭-青藏高原东南缘一线以南)12 个站点的多年平均降水  $\delta^{18}\text{O}$  的季节变化, 所有站点均显示夏季(主要为 7~8 月)  $\delta^{18}\text{O}$  最小, 其他月份偏大。其中最为引人注目的现象是, 几乎全部站点的降水  $\delta^{18}\text{O}$  数值在 4 月偏重且集中到一个很小范围, 而在 4 月前后分散开去, 从而揭示出中国季风区(至少南方)降水  $\delta^{18}\text{O}$  呈哑铃型的季节变化模式。由于作者统计的是平均气候态<sup>[4]</sup>, 它促使我们猜想, 如果“降水量效应”假说是对的, 那么这个  $\delta^{18}\text{O}$  变化模式表明, 4 月各站点的降水量偏少, 且几

第一作者简介: 谭 明 男 61 岁 研究员 第四纪地质学专业 E-mail: tanming@mail.iggcas.ac.cn

\* 中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”项目(批准号: XDA05080501)和国家自然科学基金项目(批准号: 41030103 和 41272204)共同资助

2016-01-13 收稿, 2016-03-16 收修改稿

近相同。事实如此吗？因为是观测时期的问题，应该不难查证。下面结合笔者的观测数据和水汽输送图进行分析。

### 3 观测站降水量及降水 $\delta^{18}\text{O}$ 在2012年春夏的变化

过去几年，我们曾联合数个研究团队对中国东部8个洞穴进行了从大气降水到洞穴滴水的稳定同位素逐月观测(采用IAEA规范，方法与结果见文献[5])，其间发现2012年比较特别：除了北京石花洞和云南仙人洞，广东、重庆、湖北、甘肃、安徽和见于文献的湖南长沙<sup>[6]</sup>其他各站点，不仅春季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值高于夏季，而且降水量也高于夏季；贵州站点的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值春季显著高于夏季，而降水量春季非常接近夏季(表1)。从表1可见，春季各站点降水量差异很大，并不符合前面“几近相同”的假设。

表1数据还提出两个问题：一是高降水量对应高 $\delta^{18}\text{O}$ ，显然违背“降水量效应”定义，这个有违经典的现象，我们可称之为“降水量效应佯谬”。但真相是什么呢？二是春季降水量高于夏季，这符合我们熟悉的季风气候定义吗？换句话说，我们以往的认识是否有误？笔者希望从2012年的春夏水汽输送对比来解答这两个问题。

采用NCEP-NCAR再分析数据，根据全球逐月 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 水平风场、比湿和表面气压做水汽输送图(图1)。从图1中春夏水汽输送对比可见，果然在多数站点分布范围内，春季水汽输送强度大于夏季。需要进一步了解的是，与正常年份或多年平均比较，2012年到底是春季特别，还是夏季特别，还是都特别。所以，还需要做出春夏水汽输送的气候态图进行比较，同时探讨其气候学原因。

## 4 分析区气候态水汽输送季节对比

用与图1相同方法和相同表示做气候图(图2)，与图1对比不难看出，2012年的春季水汽输送状况与平均态非常接近(稍强于平均态)，而十分异常的是夏季的水汽输送。看来正是由于2012年夏季，多数站点所在区域获得水汽远少于常年，于是就得到表1中的异常数据。并且，从图1和图2对比还能看出，春季水汽输送机制主要为西太副高西伸，在北纬 $10\sim 30$ 度范围内，其西缘风向由东南转向西南，并将太平洋的近源水汽输送到中国大陸，所以无论降水量多还是少，春季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 都偏高。在夏季，西太副高东撤，西南季风将远源的印度洋水汽自西向东输送至中国大陆。所以，无论是多年平均态的强输送(图2b)，还是2012年的弱输送(图1b)，即无论降水量多还是少，夏季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 都偏低。在这些季节尺度的关系组合中，降水量与降水 $\delta^{18}\text{O}$ 呈反相关关系即被称为“降水量效应”<sup>[2]</sup>；但如果是正相关关系，即出现所谓“降水量效应佯谬”，怎么理解？下面拟采用笔者近几年提出的环流效应原理<sup>[7-10]</sup>，对上述现象整体加以合理解释。

基于“雨水冲刷原理”(rainout effect，或称“雨除效应”)，笔者曾提出降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的环流效应假说：在确定空间上(区域或站点)考察大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 在不同尺度上的变化(从单场降水到季节、年际甚至更长)，如果决定其变化的主控因素为环流变化导致的远近源水汽比率的变化，称为降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的环流效应<sup>[7-10]</sup>。大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的环流效应分别在年际尺度<sup>[7,8]</sup>和单场降水中<sup>[9,10]</sup>被发现。而在这两个尺度之间，显然还有一个季节尺度。过去我们不太清

表1 各测站2012年春夏降水量与降水稳定同位素数据

Table 1 Stable isotope data of precipitation and precipitation amount during spring and summer of 2012 from observation stations

观测点	春季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值 /‰	春季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 加权平均值 /‰	春季降水 $d$ 加权平均值 /‰	春季 降水量 /mm	夏季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值 /‰	夏季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 加权平均值 /‰	夏季降水 $d$ 加权平均值 /‰	夏季 降水量 /mm
广东宝晶宫*	-4.33	-4.17	12.78	771.8	-7.59	-7.18	8.76	730.2
重庆芙蓉洞	-3.4	-4.08	15.82	413.0	-9.75	-9.78	8.36	307.2
湖北和尚洞	-2.33	-3.23	20.44	287.6	-8.51	-8.93	6.38	211.2
甘肃万象洞*	-4.36	-4.61	14.2	187.6	-11.13	-11.16	6.66	141.8
安徽蓬莱洞*	-5.03	-5.05	10.53	324.0	-8.55	-8.62	5.48	240.2
贵州凉风洞	-3.45	-4.27	14.52	561.6	-8.77	-8.52	6.48	581.4
湖南长沙*	-4.19	-5.77	16.79	813.1	-8.49	-9.06	9.55	398.2

\* 宝晶宫夏季取样时段为6月3日到9月20日；万象洞由于缺3月 $\delta^{18}\text{O}$ 数据，而8月取水样于月中，故春季时段取为4月1日至6月1日，夏季时段取为6月2日至8月15日；蓬莱洞由于春夏各缺一个月的 $\delta^{18}\text{O}$ 数据，故春季时段取为4月7日到6月6日，夏季时段取为6月7日至8月13日；长沙数据引自文献[6]中表3( $\delta^{18}\text{O}$ 平均值及 $d$ 加权平均值为作者提供)

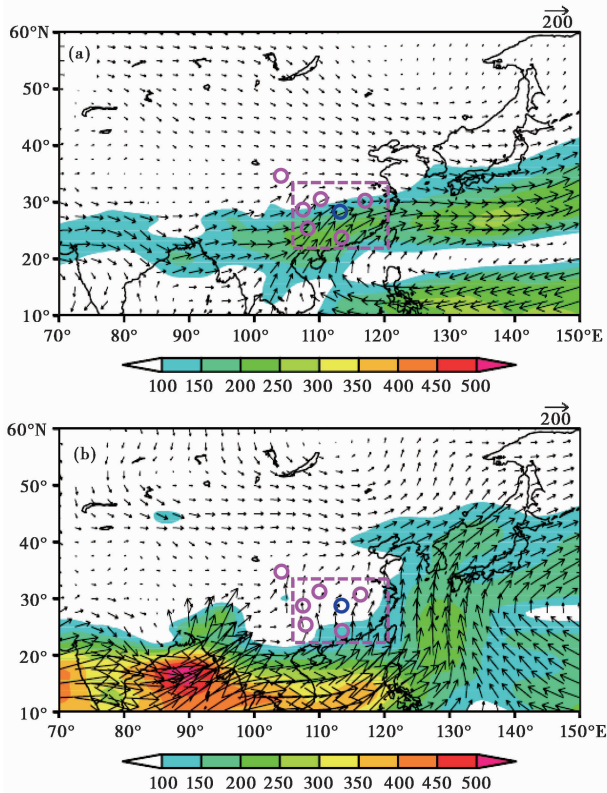


图 1 2012 年春 (a) 和夏 (b) 整层水汽输送形势及观测点分布图中矢量和色阶单位是  $\text{kg/s} \cdot \text{m}$ , 虚线矩形框出中国东南部春季水汽输送大值区; 框外紫色圆圈是万象洞 ( $33^{\circ}19'N$ ,  $105^{\circ}00'E$ ), 框内紫色圆圈自西向东依次为芙蓉洞 ( $29^{\circ}13'N$ ,  $107^{\circ}54'E$ )、凉风洞 ( $25^{\circ}16'N$ ,  $108^{\circ}03'E$ )、和尚洞 ( $30^{\circ}27'N$ ,  $110^{\circ}25'E$ )、宝晶宫 ( $24^{\circ}07'N$ ,  $113^{\circ}21'E$ ) 和蓬莱洞 ( $30^{\circ}14'N$ ,  $117^{\circ}32'E$ ), 蓝色圆圈为长沙 ( $27^{\circ}51' \sim 28^{\circ}40'N$ ,  $111^{\circ}54' \sim 114^{\circ}15'E$ .)

Fig. 1 The whole layer of integral water vapor transport vector of spring (a) and summer (b) in 2012. Vector unit:  $\text{kg/s} \cdot \text{m}$ , the dashed rectangle covers the large value area of water vapor transport during spring in the southeast of China. The purple circle out of the rectangle Wanxiang cave is ( $33^{\circ}19'N$ ,  $105^{\circ}00'E$ ), in the rectangle the purple circles are, from west to east, Furong cave ( $29^{\circ}13'N$ ,  $107^{\circ}54'E$ ), Lingfeng cave ( $25^{\circ}16'N$ ,  $108^{\circ}03'E$ ), Heshang cave ( $30^{\circ}27'N$ ,  $110^{\circ}25'E$ ), Baojing cave ( $24^{\circ}07'N$ ,  $113^{\circ}21'E$ ) and Penglai cave ( $30^{\circ}14'N$ ,  $117^{\circ}32'E$ ) in turn, and the blue circle is Changsha Station ( $27^{\circ}51' \sim 28^{\circ}40'N$ ,  $111^{\circ}54' \sim 114^{\circ}15'E$ )

楚, 降水  $\delta^{18}\text{O}$  是否在季节尺度也具有环流效应? 如果有, 其表现和机理又是什么? 而现在我们知道了, 本文所讨论的观测事实, 显然就是大气降水  $\delta^{18}\text{O}$  的季节尺度环流效应的生动表现。并可推测, 前述降水  $\delta^{18}\text{O}$  的哑铃型季节变化模式, 最有可能是由于各个站点春季水汽来源比较一致或此时远近源水汽比率较为一致造成。

前述利用环流效应解答了表 1 提出的第一个问

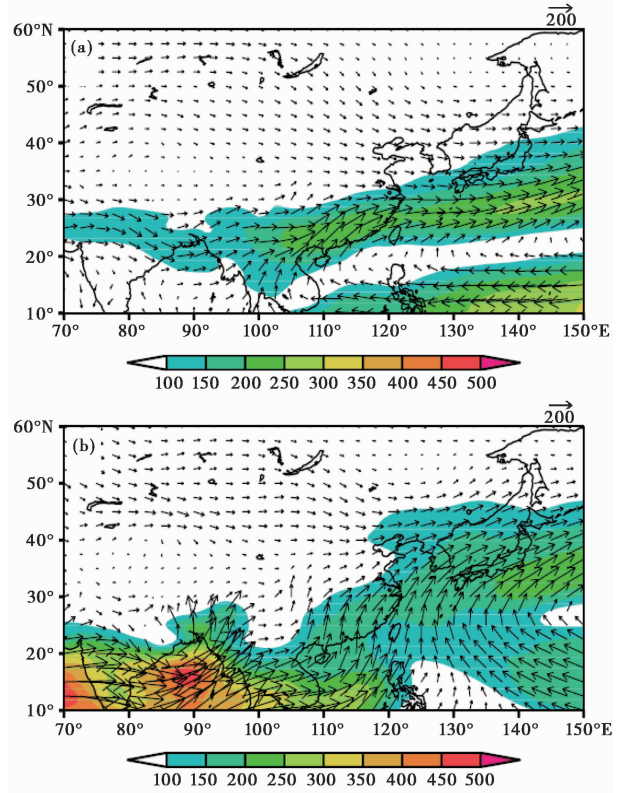


图 2 1981~2010 年平均水汽输送图

(a) 春季, (b) 夏季; 数据来源和矢量色阶单位与图 1 同

Fig. 2 The whole layer of integral water vapor transport vector of 1981~2010 average. (a) is the spring, (b) the summer.

Data sources and vector units are the same as fig.1

题。下面回答第二个问题: 从图 2b 可知, 正常年份印度洋水汽输送是在南海转为经向往北延伸, 而 2012 年 (图 1b) 却纬向穿过南海, 在东海转向向北延伸, 好似大陆南部横亘着一座“水汽坝” (atmospheric water vapor dam), 阻挡着水汽正常向北输送。究其原因, 一个假设是该年夏季大陆气温较低, 气压较高, 对南面水汽的吸引力较小。但查证该年的气温, 虽然全年显著偏低, 但主要是由于冬温偏低造成, 夏温仍然偏高 (数据来自 <http://cmdp.ncc-cma.net/cn/index.htm>)。另一个假设是, 该年夏季西太副高似乎比正常年份更为东缩 (对比图 1b 和图 2b), 致使西南风长驱东进而未能在南海转向北上, 这可能是 2012 年夏季水汽输送异常的一个机理。另外, 在 2012 年, 南支槽 (Southern Branch Trough in the Subtropical Westerlies) 偏强也更加促使夏季水汽输送异常。

## 5 “江南春雨”和环流效应的空间尺度

若进一步观察, 从图 2 可见, 在中国东南部, 即使多年平均气候态, 也表现为水汽输送春季强于

夏季。所以,就季节降水量对比而言,就不仅仅是2012年的问题。那么,现代气候学家对此是否已经有解释呢?答案是肯定的。

宋代诗人黄庭坚曾有诗云:“春风春雨花经眼,江北江南水拍天。”黄庭坚是江西人,曾在江西泰和做知县,并创“江西诗派”。写这首诗时,正在泰和。诗作所赠之人苏辙,当时被贬往江西高安(宋时称筠州)上任酒监。如果说,诗中所写之境应是诗人所见所感,而非想像,那么这两句写的就是江西春季的气候景象。而作为现代气候学中重要概念的“江南春雨”(Spring Persistent Rains, 或 SPR)直至20世纪末才提出<sup>[11]</sup>。尔后,气候学家确定了SPR的大致区域:30°N以南,110°E以东<sup>[12]</sup>,即包括中国东南五省:湖南、江西、浙江、福建和广东;并且进一步确认了SPR形成的青藏高原、南岭武夷山等地形条件<sup>[12]</sup>,西太副高春季西伸控制的环流条件以及水汽来源于西太的水汽输送条件<sup>[13]</sup>。为此,笔者根据多年观测东部降水数据做了春夏雨量分布图(根据国家气候中心160个台站数据),表明该区域春季降水量确实多于或相当于夏季(图3)。

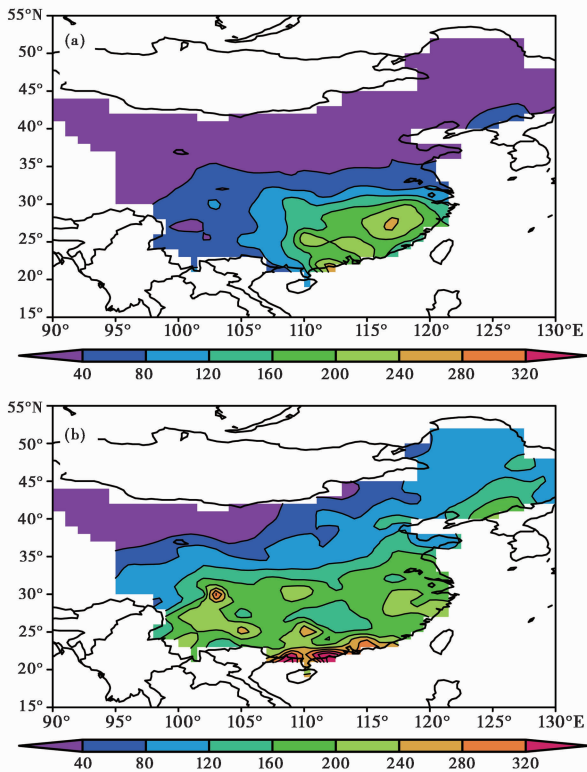


图3 1981~2010年春季(a)和夏季(b)中国东部降水(单位:mm)

Fig. 3 Distribution of average precipitation from 1981~2010 over the Eastern China, (a) spring and (b) summer (unit: mm)

然而,我们要讨论的问题还不能限于此,因为表1中只有广东宝晶宫和湖南长沙位于SPR区域内,而“类SPR同位素现象”(高降水量对应高 $\delta^{18}\text{O}$ 值)却并不仅限于这两个站点。如前面提到的“哑铃型”降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的站点分布范围<sup>[4]</sup>,就远远超出了SPR区域。那么“江南春雨”这个仅限于降水因素的气候学概念就不足以说明表1与文献[4]中发现的现象。作为同位素气候学概念的环流效应所能影响的范围,远比SPR区域更为广大。

此外,既然春夏两季的水汽来源海区不同,那么其氡盈余也就可能具有示踪的意义。Dansgaard<sup>[2]</sup>首先提出了氡盈余( $d\text{‰}$ )的概念,认为其大小可以指示水汽源区的湿度、风速和最初蒸发时海表温度。Froehlich等<sup>[14]</sup>系统总结了全球尺度 $d$ 值的变化特征,指出 $d$ 值可作为海洋水汽来源的指示剂,在其文章中的图4显示,北半球热带印度洋 $d$ 值较低,30°N太平洋海区 $d$ 值较高。而我们的观测数据经计算表明(表1),各观测站点的 $d$ 值春季均 $>10$ ,夏季均 $<10$ 。也就是说,春季来自西太平洋的水汽 $d$ 值高于全球平均,而夏季来自印度洋的水汽 $d$ 值低于全球平均。稍不同于Froehlich等<sup>[14]</sup>的总结,在本文的图1a或图2a中,西太水汽输送纬度低于30°N,所以说,本文提供的数据是对Froehlich等<sup>[14]</sup>总结的补充。

## 6 简短的结论

从以上分析可见,包括 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$ 和 $d$ 在内的大气降水同位素不仅指示了水汽源远近,而且还指示了水汽源的位置特征,这些特性均与大气环流变化有关,即主要与同热带太平洋海温梯度密切关联的西太副高的强弱变化、西伸东缩有关<sup>[15]</sup>。据此我们可以将降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的环流效应概念扩展为降水同位素环流效应。本文讨论的中国大气降水同位素季节尺度环流效应是理解“环流效应”的一个关键尺度;同时,对作为自然记录代用指标的同位素的气候信号讨论<sup>[16-18]</sup>,或同位素古气候学的研究<sup>[19-21]</sup>具有一定的启发意义。

致谢 感谢章新平教授提出有益建议并提供长沙数据;感谢参加洞穴观测的多位同行。

## 参考文献 (References)

- 1 Wang Y, Cheng H, Edwards R L *et al.* High-resolution absolute-dated Late Pleistocene monsoon record from Hulu cave, China.

- Science*, 2001, **294**(5550): 2345~234
- 2 Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 1964, **16**(4): 436~468
  - 3 Rozanski K, Araguás-Araguás L, Gonfiantini R. Isotopic patterns in modern global precipitation, in climate change in continental isotopic records. In: Swart P K, Lohmann K C, Mckenzie J *et al.* eds. American Geophysical Union, Washington, D.C.: 1993, doi: 10.1029/GM078p0001
  - 4 程 海, 艾思本, 王先锋等. 中国南方石笋氧同位素记录的重要意义, 第四纪研究, 2005, **25**(2): 157~163  
Cheng Hai, Edwards R L, Wang Xianfeng *et al.* Oxygen isotope records of stalagmites from Southern China. *Quaternary Sciences*, 2005, **25**(2): 157~163
  - 5 Duan Wuhui, Ruan Jiaoyang, Luo Weijun *et al.* The transfer of seasonal isotopic variability between precipitation and drip water at eight caves in the monsoon regions of China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2016, doi: 10.1016/j.gca.2016.03.037
  - 6 黄一民, 章新平, 孙 霞等. 长沙大气水汽、降水中稳定同位素季节变化及与水汽输送关系. 地理科学, 2015, **35**(4): 498~506  
Huang Yimin, Zhang Xinping, Sun Jia *et al.* Seasonal variations of stable isotope in precipitation and atmospheric water vapor and their relationship with moisture transportation in Changsha City. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, **35**(4): 498~506
  - 7 谭 明, 南素兰. 中国季风区降水氧同位素年际变化的“环流效应”初探. 第四纪研究, 2010, **30**(3): 620~622  
Tan Ming, Nan Sulan. Primary investigation on interannual changes in the circulation effect of precipitation oxygen isotopes in monsoon China. *Quaternary Sciences*, 2010, **30**(3): 620~622
  - 8 Tan Ming. Circulation effect: Response of precipitation  $\delta^{18}\text{O}$  to the ENSO cycle in monsoon regions of China. *Climate Dynamics*, 2014, **42**(3~4): 1067~1077
  - 9 陶 涛, 谭 明, 段武辉. 最短时间尺度环流效应: 单场降水  $\delta^{18}\text{O}$  对复合水汽来源的示踪. 第四纪研究, 2013, **33**(3): 615~617  
Tao Tao, Tan Ming, Duan Wuhui. Circulation effect on the shortest time scale: Multiple water sources traced by  $\delta^{18}\text{O}$  during single precipitation event. *Quaternary Sciences*, 2013, **33**(3): 615~617
  - 10 Li Jie, Tao Tao, Pang Zhonghe *et al.* Identification of different moisture sources through isotopic monitoring during a storm event. *Journal of Hydrometeorology*, 2015, **16**(4): 1918~1927
  - 11 Tian Shao-Fen, Yasunari Tetsuzo. Climatological aspects and mechanism of spring persistent rains over Central China. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 1998, **76**(1): 57~71
  - 12 万日金, 吴国雄. 江南春雨的时空分布. 气象学报, 2008, **66**(3): 310~319  
Wan Rijin, Wu Guoxiong. Temporal and spatial distribution of the spring persistent rains over Southeastern China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, **66**(3): 310~319
  - 13 李 超. 江南春雨气候特征及其形成机制的研究. 南京: 南京信息工程大学硕士论文, 2009 (<http://www.docin.com/p-167182948.html>)  
Li Chao. Study on the Characteristics and Formation Mechanism of the SPR. Nanjing: The Master Thesis of Nanjing University of Information Science & Technology, 2009 (<http://www.docin.com/p-167182948.html>)
  - 14 Fröhlich K, Gibson J J, Aggarwal P K. Deuterium excess in precipitation and its climatological significance. In: Proceedings: Study of Environmental Change Using Isotope Techniques, C & S Papers Series. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012. 54~65
  - 15 Tan Ming. Circulation background of climate patterns in the past millennium: Uncertainty analysis and re-reconstruction of ENSO-like state. *Science China: Earth Sciences*, 2016, doi: 10.1007/s11430-015-5256-6
  - 16 赵景耀, 杨 琰, 彭 涛等. 河南鸡冠洞降水、滴水 and 现代生碳酸钙的  $\delta^{18}\text{O}$  变化特征及其环流意义. 第四纪研究, 2014, **34**(5): 1106~1116  
Zhao Jingyao, Yang Yan, Peng Tao *et al.* Variation of  $\delta^{18}\text{O}$  values in the precipitation, cave drip water and modern calcite deposition in Jiguan cave, Henan Province and its atmospheric circulation effect. *Quaternary Sciences*, 2014, **34**(5): 1106~1116
  - 17 刘小康, 饶志国, 张肖剑等. 天山地区大气降水氧同位素的影响因素及其对西风环流变化的指示意义. 地理学报, 2015, **70**(1): 97~109  
Liu Xiaokang, Rao Zhiguo, Zhang Xiaojian *et al.* Variations in the oxygen isotopic composition of precipitation in the Tianshan Mountains region and their significance for the Westerly circulation. *Acta Geographica Sinica*, 2015, **70**(1): 97~109
  - 18 Xu C, Zheng H, Nakatsuka T *et al.* Oxygen isotope signatures preserved in tree ring cellulose as a proxy for April-September precipitation in Fujian, the subtropical region of Southeast China. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2013, **118**: doi: 10.1002/2013JD019803
  - 19 谭 明. 信风驱动的中国季风区石笋  $\delta^{18}\text{O}$  与大尺度温度场负耦合——从年代际变率到岁差周期的环流效应 (纪念 GNIP 建网 50 周年暨葫芦洞石笋末次冰期记录发表 10 周年). 第四纪研究, 2011, **31**(6): 1086~1097  
Tan Ming. Trade-wind driven inverse coupling between stalagmite  $\delta^{18}\text{O}$  from monsoon region of China and large scale temperature——Circulation effect on the scales from decadal variability to precession cycle. *Quaternary Sciences*, 2011, **31**(6): 1086~1097
  - 20 Li Guoqiang, Wen Lijuan, Xia Dunsheng *et al.* Quartz OSL and K-feldspar pIRIR dating of a loess/paleosol sequence from arid Central Asia, Tianshan Mountains, NW China. *Quaternary Geochronology*, 2015, **28**: 40~53
  - 21 Wang Haipeng, Chen Jianhui, Zhang Xiaojian *et al.* Palaeosol development in the Chinese Loess Plateau as an indicator of the strength of the East Asian summer monsoon: Evidence for a Mid-Holocene maximum. *Quaternary International*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.013>

## SEASONAL SCALE CIRCULATION EFFECT OF STABLE ISOTOPE IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE MONSOON REGIONS OF CHINA

Tan Ming<sup>①</sup> Nan Sulan<sup>②</sup> Duan Wuhui<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

<sup>②</sup>State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

The amount effect of  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation on a monthly scale proposed by Dansgaard in 1964 is widely applied to explain the variation of monsoon intensity or reconstruct precipitation amount over the paleoclimate research. However, it encounters difficulty in the monsoon regions of China (MRC), which have composite water vapor sources. Recently, the authors point out that, according to observed data, there is another isotope effect in the MRC: circulation effect. For most of the eastern parts of the MRC, the Pacific Ocean provides the adjacent source of water vapor, while the Indian Ocean provides the distant source of water vapor. The variability in the ocean and atmosphere circulations, such as the changes in the tropical Pacific SST gradient, or the West Pacific subtropical high, *etc.*, could induce the changes in the ratio of water vapor from the Pacific Ocean and the Indian Ocean, which can then lead to the changes in the atmospheric precipitation  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\delta^{18}\text{O}_p$ ): no matter how much of the precipitation amount, the  $\delta^{18}\text{O}_p$  value is relatively high if the water vapor from the Pacific Ocean, whereas the  $\delta^{18}\text{O}_p$  value is relatively low if the water vapor from the Indian Ocean. In this paper, the authors report the analysis the circulation effect of stable isotopes in precipitation on seasonal scale and cite the climatic concept of the SPR (spring persistent rains) to successfully explain the paradox of the amount effect in 2012. Overall, the circulation effect of stable isotopes in precipitation is of significant not only for the isotope meteorology and climatology, but also for our understanding of the  $\delta^{18}\text{O}$  as paleoclimatic proxy.

**Key words** stable isotopes in precipitation, seasonal scale, amount effect, circulation effect, spring persistent rains