

冰芯中所记录的气候异常与 ENSO 事件*

杨梅学 姚檀栋

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放实验室, 兰州, 730000)

摘 要

通过对300 BP 以来记录于中国古里雅冰芯中的降水和 $\delta^{18}\text{O}$ 等环境气候信息记录及 ENSO 事件的分析,发现 ENSO 的发生与古里雅降水异常显著相关。在厄尔尼诺年,古里雅冰芯中的降水与 $\delta^{18}\text{O}$ 均负异常,即 ENSO 与古里雅的降水偏少,温度偏低相联系。

关键词: 降水异常, $\delta^{18}\text{O}$ 比率, ENSO 事件, 遥相关。

1 引 言

近年来许多观测研究表明低纬地区,有时甚至是中纬和高纬地区降水的年际变化与发生在热带的厄尔尼诺和南方涛动有关^[1~3]。在全球中低纬度的大部分地区,厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)事件是气候年际变化的一个非常重要的因子^[4]。ENSO 事件是大尺度的海-气相互作用的结果。ENSO 事件是非周期性的,但以2~10 a 的频率发生^[5]。通常所用的一个 ENSO 指标是用 Tahiti 和 Darwin 的气压差而计算的南方涛动指数(SOI)。

在过去的十多年里,有人用降水和其它变量等代用资料深入研究了有仪器记录前的 ENSO 事件^[6],对这样的 ENSO 事件的最细致的分析是在美洲,文献[7~9]根据常与厄尔尼诺的发生相联系的秘鲁沿海的洪水记录给出了秘鲁厄尔尼诺年表。最详细的年表^[9](Quinn and Neal, 1992, 下面叫做 QN 年表),时间跨度从1525年至今,表明特定的厄尔尼诺现象在拉美的整个西班牙殖民区都发生,频率上有较小的变化。文献[4]以一个 ENSO 的模式特征在全球同时发生的事件为基础,给出了它们的厄尔尼诺及拉尼娜遥相关年的年表。但不同研究者给出的年表有所不同^[4, 8, 9]。

不少学者研究了 ENSO 对中国气候的影响^[10, 11],表明赤道东太平洋海表温度(SST)与西太平洋副热带高压系统的位置和强度之间存在着长期的耦合。众所周知,后者对中国东部降水有很大的影响。而文献[12]研究了中国北方半干旱地区降水波动与 ENSO 之间的关系,发现厄尔尼诺期间中国北方降水减少,SOI 与降水波动显著相关。

ENSO 现象是一个产生于大尺度海-气相互作用的全球事件,为了了解这个极端事件并进而预测它,就需要过去事件的记录,而包含有过去古环境气候信息的冰芯记录,可以提供非常极端的 ENSO 事件的一个长而详细的记录^[13]。

* 初稿时间: 1997年2月11日; 修改稿时间: 1997年11月24日。
资助课题: KZ951-A 1-204-02, KZ951-A 1-402和95-Yu-24。

本文是用青藏高原上古里雅冰芯中所记录的环境气候信息记录, 主要是降水与 $\delta^{18}\text{O}$ 记录, 分析了300 BP 以来它们的异常与 ENSO 之间的关系。

2 300 BP 以来年降水量与 ENSO 之间的关系

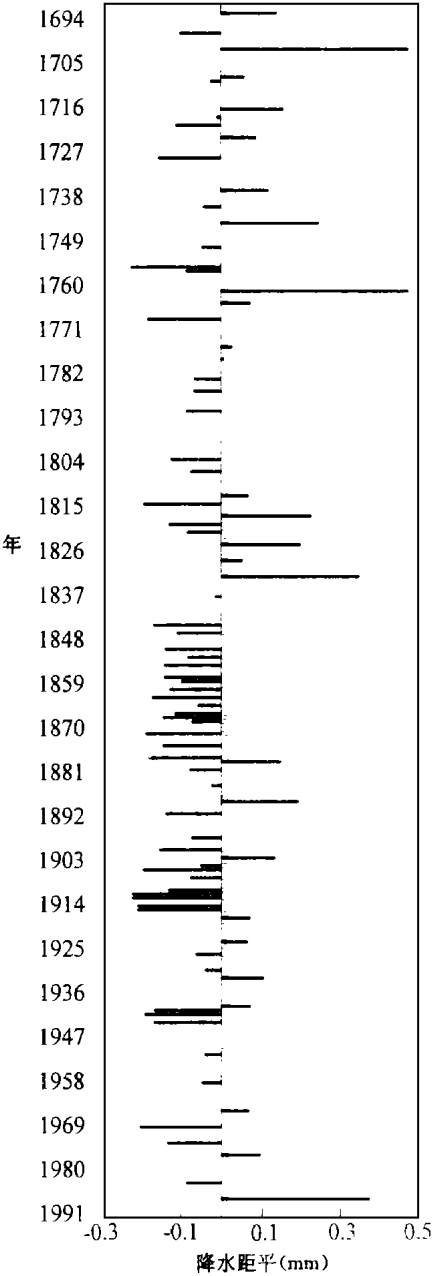


图1 300 BP 以来厄尔尼诺年古里雅降水距平

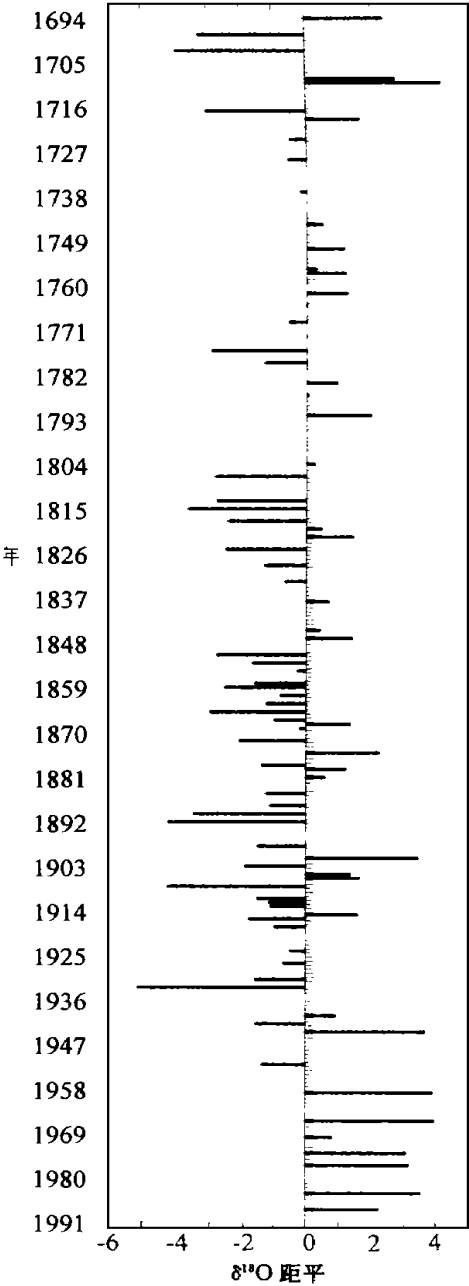


图2 300 BP 以来厄尔尼诺年古里雅 $\delta^{18}\text{O}$ 距平(‰)

图1是 QN 厄尔尼诺年降水距平图。从图中可以看出, 如果以 QN 厄尔尼诺年表来判断, 1690~1987 年的近 300 a 间, 共有 85 个厄尔尼诺年, 其中 60 a 为负距平, 即降水偏少。在 1837~1914 年的这 88 a 中, 共发生了 34 次厄尔尼诺, 其中有 31 次降水为负距平。特别是 19 世纪 60 年代, 这十年为厄尔尼诺多发年(共 6 次), 这十年降水距平一直为负。在厄尔尼诺年, 降水偏少, 但也存在一些例外。有不少研究者^[4, 7]指出, 在 ENSO 事件的判别上会存在误差, QN 厄尔尼诺年表中的 85 个厄尔尼诺年中有 25 个古里雅冰芯降水距平为正, 而这 25 a 中就有 13 a 在文献^[4]的年表中并没有被判定为厄尔尼诺年, 并指出^[7]有些 ENSO 事件期间不存在一个典型的中纬度信号, 即是说有些厄尔尼诺年并不引起全球气候异常。当然, 并非所有降水偏少年就一定为厄尔尼诺年, 因为降水还受其它因素的影响。

3 300 BP 以来 $\delta^{18}\text{O}$ 与 ENSO 之间的关系

$\delta^{18}\text{O}$ 比率值由下式计算:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = (\text{H}_2^{18}\text{O} / \text{H}_2^{16}\text{O}_{\text{样品}} - \text{H}_2^{18}\text{O} / \text{H}_2^{16}\text{O}_{\text{标样}}) / (\text{H}_2^{18}\text{O} / \text{H}_2^{16}\text{O}_{\text{标样}}) \times 1000$$

降水中的稳定同位素比率 δ 值之高低与同位素分馏过程中的温度有关, 即与云团形成降水时的凝结温度有关, 较高的温度对应着较高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值^[14]。

图2为 300 BP 以来 QN 厄尔尼诺年 $\delta^{18}\text{O}$ 距平图。其中 48 个厄尔尼诺年 $\delta^{18}\text{O}$ 距平小于零, 34 个厄尔尼诺年 $\delta^{18}\text{O}$ 距平大于零, 分别占总数的 56.5% 和 40%, 这说明厄尔尼诺与古里雅冰芯中的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录有微弱的相关。在厄尔尼诺年, $\delta^{18}\text{O}$ 记录偏低。

4 古里雅冰芯中降水指数(包括 $\delta^{18}\text{O}$) 与 SOI 之间的关系

分析 1883 年到 1990 年古里雅冰芯中降水和 $\delta^{18}\text{O}$ 异常与 SOI^①(年平均, 3 到 4 月) 之间的关系, 发现该期间 $\delta^{18}\text{O}$ 异常与 SOI 呈微弱相关, 但降水异常与 SOI 之间呈显著的相关($R = 0.217, \alpha = 0.95$), 即低 SOI 与低降水(干旱)相联系。

5 ENSO 期间古里雅冰芯中序列(降水和 $\delta^{18}\text{O}$) 的平均异常

在单独的气候学时间序列的分析中, 用累积异常图来判别负异常占优势的区间(累积异常曲线向下倾向)和正异常占优势的区间(向上倾向)。在这个分析中允许在变量之间的关系中判别趋势。这些变量一个是连续序列(象冰芯中的降水序列), 而另一个是极端事件年表(象 ENSO 年表)。

图3和图4分别是 QN 厄尔尼诺年表年份降水和 $\delta^{18}\text{O}$ 累积异常图。只有在 QN 厄尔尼诺年表中的厄尔尼诺年, 异常现象才进行累积, 而对其它年份则不进行累积。在图中序列表示出下降趋势的地方, 在这个序列中就有与厄尔尼诺相联系的负异常倾向。强调这一点是重要的, 即累积异常图的斜率是重要的, 而不是它相对于零的位置。

① SOI 值来自 NCEP Climate Prediction Center.

表1 ENSO 年古里雅冰芯序列的平均异常

序列	整个时段(年)	1690 ~ 1840	1841 ~ 1980	1841 ~ 1991
降水(mm)	- 2. 64***	- 0. 15	- 3. 17****	- 3. 33**
$\delta^{18}\text{O}$	- 1. 713**	- 0. 70	- 1. 79	- 1. 714**

注: 统计检验是基于 Mann-Whitney U-检验, 星号表示: $P < 0. 1(^{*}), P < 0. 05(^{**}), P < 0. 01(^{***}), P < 0. 005(^{****}), P < 0. 001(^{*****})$ 。

任何关系的统计显著可以通过比较 QN 厄尔尼诺年期间的值和整个序列值, 并用一个非参数化 Mann-Whitney U-检验进行检验。在检验所期望的负倾向方向用的是 One-tailed 检验。这个检验应用于该资料的4个区间: 1690 ~ 1840 年, 1841 ~ 1980 年, 1841 ~ 1991 年, 1690 ~ 1991 年, 结果在表1中给出, 本文认为任何好于10%水平的显著就是值得注意的。

在整个区间(1690 ~ 1991年), 古里雅冰芯中所记录的降水在厄尔尼诺年显著的减少($P < 0. 005$)。尤其在1841 年以来(1841 ~ 1980 年), 这种负相关趋势更为显著($P < 0. 001$), 但在1690 ~ 1980年区段, 尤其在其前部分, 这种关系有所减弱甚至有时出现反相情况, 这主要发生在小冰期的中后期。文献[4]曾指出 ENSO 遥相关在小冰期(约1550 ~ 1850年)要比其后的时期更不活跃, 这与本文的结果基本一致。

文献[15]等判定1915 ~ 1940年是弱 ENSO 遥相关时段之一, 文献[4]曾指出这样的 ENSO 活动的减弱在它影响领域的边远地区(像中国)可能更明显。这在累积异常图上也有所反映。

与降水相比, 尽管 $\delta^{18}\text{O}$ 异常累积大约在1940年以后出现了相反趋势(斜率为正), 但就整个时段(1690 ~ 1991 年)来说, 负异常倾向相当显著($P < 0. 05$), 尤其在19世纪及20世纪初, 这种负异常倾向更为显著(图4)。

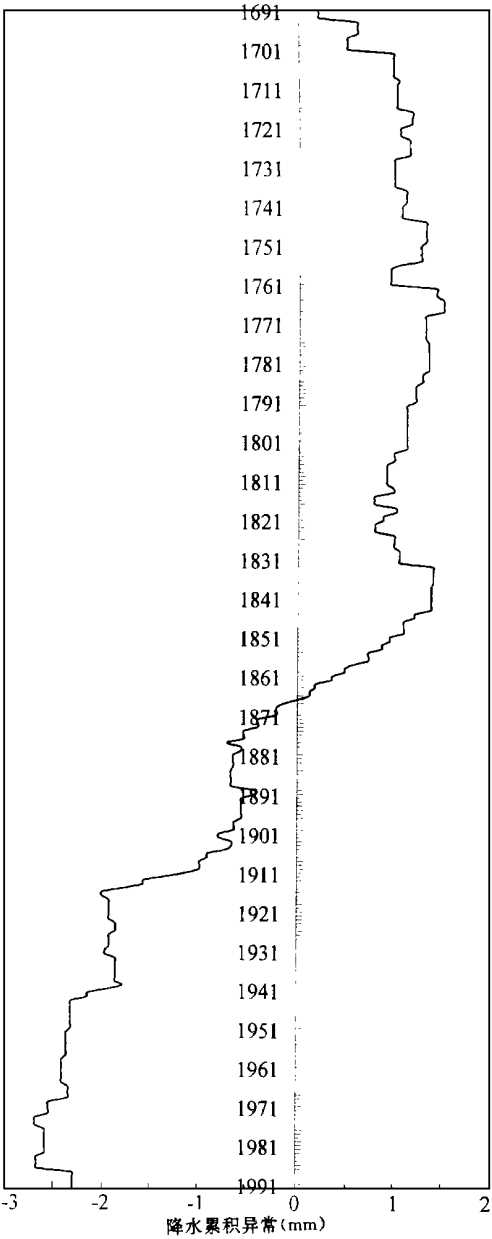


图3 QN 厄尔尼诺年降水累积异常

一般地说, $\delta^8\text{O}$ 比率的大小可作为一个反映温度高低的理想指标, 这就是说, 在厄尔诺年, 古里雅冰芯中所记录的温度是偏低的。因此, 在厄尔尼诺年古里雅温度偏低, 降水减少。

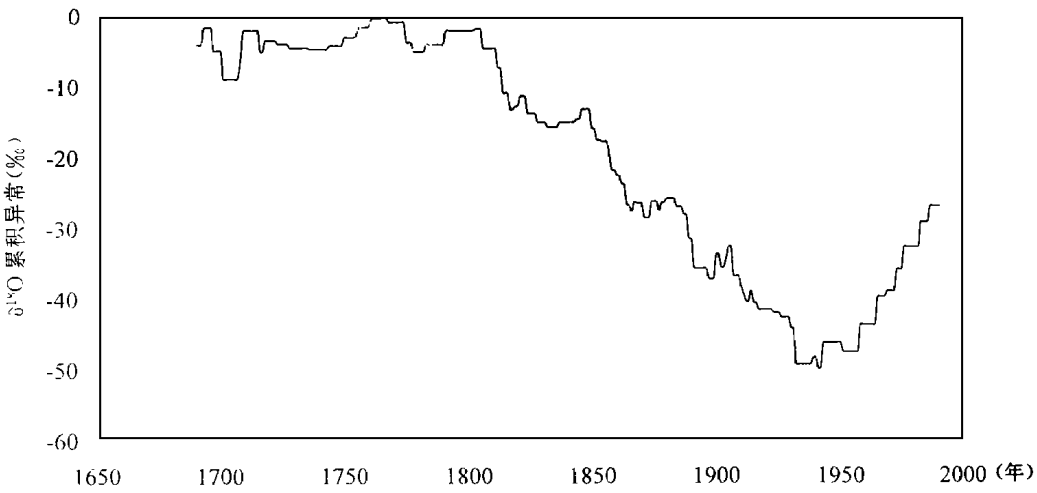


图4 QN 厄尔尼诺年 $\delta^{18}\text{O}$ 累积异常

尽管 $\delta^8\text{O}$ 记录在 QN 厄尔尼诺年累积异常曲线的负倾向在整个所研究的时段(1690 ~ 1991 年) 是十分显著的, 但在本世纪40年代以后却出现了相反情况, 即在厄尔尼诺年温度有所上升, 这是否与本世纪50 ~ 60年代以来全球的普遍增暖相联系, 还有待进一步的研究和解释, 但不管怎样, 这会加重厄尔尼诺年的干旱程度。

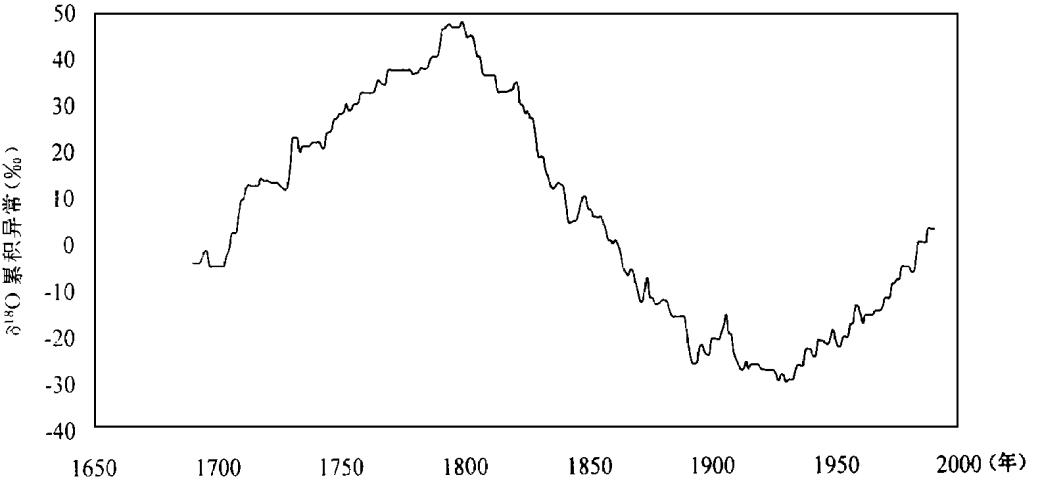


图5 降水为负距平时 $\delta^{18}\text{O}$ 累积异常

从绘出的降水为负距平时的 $\delta^{18}\text{O}$ 累积异常图(图5), 可以看出一个比较有趣的现象, 即在18世纪, 斜率为正, 19世纪及20世纪初为负, 而在20世纪30 ~ 40年代以后又为正, 也就

是说, 在18世纪和20世纪30~40年代以来, 降水的负距平与 $\delta^{18}\text{O}$ 正距平相关, 即高温年对应降水偏少; 而19世纪及20世纪初, 降水负距平与 $\delta^{18}\text{O}$ 负距平相关, 即低温对应降水偏少。

6 结 论

古里雅冰芯中降水和 $\delta^{18}\text{O}$ 记录异常与 ENSO 事件显著相关, 在厄尔尼诺年, 降水负异常, $\delta^{18}\text{O}$ 亦负异常。

在某种程度上, 从冰芯记录中可以判定 ENSO 等全球气候的异常变化。古里雅冰芯中所记录的降水与 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化揭示了18世纪中叶以来直到现在 ENSO 的遥相关特性, 这个遥相关特性, 尽管统计显著, 但在个别时段还是比较弱的, 这正如文献[4]所说任何序列自身将是 ENSO 活动的一个弱的指示器, 但他指出这个问题可以通过同时使用多个序列的综合比较来解决。

参考文献

1 Rasmusson E M and Wallace J M . Meteorological aspects of the El Nino/ Southern Oscillation . Science, 1983, 222: 1195- 1202

2 Ropelewski C F and Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns association with the El Nino/ Southern Oscillation . Mon Wea Rev, 1987, 115: 1606- 1626

3 Bradley R S, Diaz H F, Kiladis G N and Eischeid J K. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. Nature, 1987, 327: 497- 501

4 Peter Whetton and Ian Rutherford. Historical ENSO teleconnections in the Eastern Hemisphere, Climatic Change, 1994, 28: 221- 253

5 Rasmusson E M and Carpenter T H. Variation in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Sothern Oscillation/ El Nino. Mon Wea Rev, 1982, 110: 354- 384

6 Diaz H F and Markgraf. El Nino: Historical and palaeoclimatic aspects of the Southern Oscillation . Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 175- 192

7 Hamilton K and Garcia R R. El Nino/ Southern Oscillation events and their association midlatitude teleconnections, Bull Amer Meteor Soc, 1986, 67: 1354- 1361

8 Quinn W H, Neal V T and Antuniez de Mayolo S E. El Nino occurreneces over the past four and half centuries . J Geophys Res, 1987, 92: 14449- 14461

9 Quinn W H and Neal V T . The historical record of El Nino events . in: Bradley R S and Jones, P D, eds. Climate Since A. D. 1500. London: Routledge, 1992. 623- 648

10 Wang S W and Zhao Z C. Droughts and floods in Chnia, 1470- 1979. in: Wigley, et al, eds. Climate and History. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 271- 288

11 Guo Q. The east Asia monsoon and the Southern Oscillation: 1871- 1980, The Climate of China and Global Climate, Ocean Press, 1987. 249- 255

12 Wang Wei-Chyung and Li Kerang. Precipitation fluctuation over semiarid region in northern Chima and the relationship with El Nino/ Southern Oscillation . Amer Meteor Soc, 1990, 30: 769- 783

13 Thompson L G, Mosley-Thompson E and Arnao B M. El Nino-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the Quelccays ice cap, Peru. Science, 1984, 226: 50- 53

14 秦大何. 南极冰盖表层雪内的物理过程和现代气候及环境记录. 北京: 科学出版社, 1995. 60- 70

15 Parthasarathy B, Rupa Kumar K and Munot A A. Evidence of secular variations in India monsoon rainfall-circulation relationship. J Climate, 1991, 4: 927- 938

CLIMATE ANOMALY RECORDED IN GULIYA ICE
CORE AND ENSO EVENTS

Yang Meixue Yao Tandong

(Laboratory of Ice Core and Cold Region Environment,
Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou, 730000)

Abstract

Examination of the ENSO events and the accumulated precipitation and $\delta^{18}\text{O}$ values recorded in the Guliya icecore, China, showed that the relationship between the occurrence of ENSO events and precipitation anomaly in Guliya is significant. In the years of El Nino events, the anomalies of precipitaion and $\delta^{18}\text{O}$ values in the Guliya icecore were negative anomalies, that is, the ENSO events related to the deficit of precipitation as well as low temperature in the west of China.

Key words: Precipitatin anomaly, $\delta^{18}\text{O}$ ratio, ENSO events, Teleconnection.