

# 20世纪以来强火山喷发对中国温度变化区域差异的影响

郝志新<sup>1</sup>, 孙迪<sup>1,2</sup>, 张学珍<sup>1</sup>, 郑景云<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 本文根据1901年以来的62次强火山( $VEI \geq 4$ )喷发年表和英国东安格利亚大学气候研究中心发布的格点气温资料(CRU TS v.3.22), 采用时序叠加分析方法, 辨识了不同纬度、不同季节强火山喷发对中国温度变化区域差异的影响。结果表明: 不同纬度强火山喷发后的1~2年, 中国温度基本以下降为主, 但降温强度存在显著的区域与季节差异。高纬火山喷发后的显著降温区域发生在东北和东南地区, 冬半年温度下降达 $1.2^{\circ}\text{C}$ , 夏半年温度下降 $2.0^{\circ}\text{C}$ ; 中低纬火山喷发后, 冬半年温度的显著下降区域发生在青藏、东南和东中部地区, 幅度为 $1.3\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ , 夏半年温度下降幅度比冬半年小; 赤道火山喷发后, 冬半年温度显著下降区域发生在东北、东南和青藏地区, 且降温幅度均大于 $1.2^{\circ}\text{C}$ , 夏半年西北和东中部地区降温幅度偏小。此外, 强火山喷发后第3年, 部分地区还出现二次降温现象, 降幅甚至超过第一次; 然而, 同一纬度强火山喷发后, 其所造成的降温幅度和降温区域差异与强火山喷发的季节关系不大。

**关键词:** 20世纪以来; 强火山喷发; 温度变化; 区域差异; 中国

## 1 引言

火山活动是影响年至年代际尺度气候变化的重要自然驱动因子; 强火山喷发(通常指火山爆发指数 $VEI \geq 4$ 的喷发事件)的气候效应一直是气候变化研究领域的重要问题(Robock, 2000)。已有研究表明: 强火山喷发把大量含硫气体注入大气层, 这些气体经过一系列化学反应在平流层下部形成硫化物气溶胶, 同时还通过改变整个大气中的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 以及微小固体颗粒物平衡, 造成大气层的光化学过程异常。气溶胶与水汽混合形成火山云, 使到达地表的直接太阳辐射显著减少(最大的月份可达20%~30%), 散射太阳辐射增加, 从而导

致地表总辐射减少, 造成降温(Pinto et al, 1989; Zhao et al, 1995); 并通过平流层硫化物气溶胶颗粒吸收近红外波段短波辐射、地表及低层大气发射的长波辐射, 使平流层增温(Stenchikov et al, 1998; Andronova et al, 1999; Ramachandran et al, 2000)。火山云随大气环流在2~3周内迅速蔓延至全球, 影响区域甚至全球气候。通常情况下, 一次强火山喷发会导致半球或全球地表平均气温在1~2年内下降 $0.3^{\circ}\text{C}$ 左右, 然后逐渐回升, 约4~5年后恢复正常; 但其所造成的降温幅度存在区域差异, 且因其地理位置、喷发季节等不同而不同; 而强火山连续喷发的累积效应则会造成持续性降温。

中国气候受强火山喷发的影响极为显著, 许多

收稿日期: 2015-08; 修订日期: 2015-09。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41430528); 中国科学院地理科学与资源研究所基金项目(2014RC101); 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05080100) [Foundation: Key Program of the National Natural Science Foundation of China, No.41430528; Foundation of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, No.2014RC101; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA05080100]。

作者简介: 郝志新(1975-), 女, 内蒙赤峰人, 研究员, 主要从事气候变化研究, E-mail: haozx@igsnr.ac.cn。

通讯作者: 郑景云(1966-), 男, 福建莆田人, 研究员, 主要从事全球变化研究, E-mail: zhengjy@igsnr.ac.cn。

引用格式: 郝志新, 孙迪, 张学珍, 等. 2016. 20世纪以来强火山喷发对中国温度变化区域差异的影响[J]. 地理科学进展, 35(3): 331-338. [Hao Z X, Sun D, Zhang X Z, et al. 2016. Regional differences in temperature response in China to the large volcanic eruptions since the 20th century[J]. Progress in Geography, 35(3): 331-338.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.03.007

年际气候异常与强火山喷发事件有关。如1980年5月St.Helens火山喷发,导致自6月上旬开始,30°N以北地区的晴空直接辐射显著减少,造成夏季中纬度晴空直接辐射经向梯度显著增大,使当年7-8月的西太平洋副高及北侧的季风雨带异常偏南,从而造成了严重的江淮冷夏和北旱南涝(徐群, 1986)。1991年菲律宾的Pinatubo火山爆发后,1992年中国出现了大范围的夏秋季气温偏低,特别是夏季东北至内蒙地区和初夏长江下游地区还出现了不同程度的冷害(徐群, 1995)。1815年印尼的Tambora火山爆发使中国大多数地区在1815-1817年出现了夏秋低温冷害,导致云南省的主要农作物连续3年大幅欠收,造成大饥荒(杨煜达等, 2005)。1600年秘鲁的Huaynaputina火山喷发,导致1601年长江中下游地区夏季异常寒冷,黄河中下游夏、秋两季严重霜灾(费杰等, 2008)。公元934年冰岛Eldgjá火山喷发,导致洛阳、开封一带冬季气温甚至下降5~8℃(Fei et al, 2006)。此外,还有一些研究显示:强火山喷发对中国东部地区的夏季旱涝也有一定影响,强火山喷发后华北地区夏季多偏旱(张富国等, 1994)。

目前,中国对强火山喷发导致温度变化的区域差异研究较少。虽有研究显示,1950-1997年间的强火山喷发后中国主要降温区以青藏高原地区为中心,东北及东南沿海地区为升温区(贾朋群等, 2001),但该结果与1980年St.Helens和1991年Pinatubo两次强火山喷发所造成的降温格局(徐群, 1986, 1995)并不一致;这可能与强火山喷发的地理位置、喷发季节不同有关,因为火山灰在上层大气中扩散的传输过程受所处纬度和季节的大气环流特征影响(Robock et al, 2013)。为此,本文拟利用过去百年强火山喷发年表和格点温度数据,采用时序叠加分析方法,辨识不同纬度、不同季节强火山喷发后,中国温度变化的区域差异特征,以期为进一步理解自然外强迫异常造成中国气候变化区域差异的原因及其机制提供依据。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

本文所用的温度资料为英国东安格利亚大学气候研究中心(Climatic Research Unit, University of East Anglia, CRU)发布的0.5°×0.5°逐月气温距平格点数据(CRU TS v. 3.22, <http://www.cru.uea.ac.uk/>

[cru/data/hrg/](http://cru.data/hrg/))。该数据集是根据世界气象组织(WMO)涵盖的2200个气象观测国际交换站的逐月气温距平(基准时段为1961-1990年)资料插值而得,覆盖时间段为1901-2013年(Harris et al, 2014)。

强火山喷发资料取自美国Smithsonian研究院收集、整编的全新世强火山喷发年表([http://volcano.si.edu/search\\_eruption.cfm](http://volcano.si.edu/search_eruption.cfm); Simkin et al, 1994)。该年表在1901-2013年时段共记录了77次火山喷发指数大于4的事件,本文仅从中选取62次地理纬度位于10°S以北的强火山喷发事件开展相关分析(图1)。

为分类统计不同季节和不同纬度喷发的火山对中国气候变化影响的区域差异,将62次火山分成夏半年(4-9月)和冬半年(10月-次年3月)2个时段,10°S~15°N, 15°N~50°N和>50°N等3个不同纬度带,具体喷发次数见表1。

### 2.2 方法

时序叠加分析(Superposed Epoch Analysis, SEA)是分析强火山喷发后温度变化趋势的有效手段(Blarquez et al, 2010),目前已用于欧洲强火山爆发后的温度变化区域差异检测。例如,强火山喷发后2年,北欧的6-8月出现大幅降温(约0.52℃);而

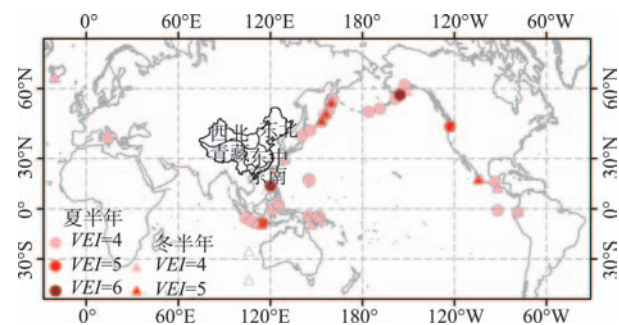


图1 1901-2013年强火山喷发事件空间分布图及中国的5个区域划分范围(引自Ge et al, 2010, 有改动)

Fig.1 Spatial distribution of large volcanic eruptions from 1901 to 2013, and five climate regions of China (adapted from Ge et al, 2010)

表1 1901-2013年各纬度带夏、冬半年的强火山(VEI≥4)喷发事件次数

Tab.1 Numbers of large volcanic eruptions (VEI≥4) by latitude and season, 1901-2013

季节	位置			合计
	赤道两侧 10°S~15°N	中低纬 15°N~50°N	高纬 >50°N	
夏半年	16	8	10	34
冬半年	9	8	11	28
合计	25	16	21	62

中欧则在喷发后1年有小幅度降温现象(约 $0.18^{\circ}\text{C}$ ) (Esper et al, 2013)。利用该方法计算中国温度变化区域差异的具体步骤如下:①利用1960年以来中国年温度变化一致性的分区结果,按东北、西北、东中、青藏、东南5个区域(图1)(Ge et al, 2010)分别计算各区区内所有格点逐月气温距平的均值,从而形成1901年以来的各区气温距平序列。②因强火山喷发影响的温度变化信号一般持续1~3年,而ENSO信号为2~7年,为了减弱ENSO信号对温度上升或下降的干扰,采用带通滤波方法,移除温度序列中2~7年的波动信号。③为分析强火山喷发后是否迅速导致冬(10月-次年3月)、夏(4-9月)半年的温度变化,本文计算强火山喷发前、后5年各区的冬、夏气温距平(以1901-2013年的冬半年和夏半年温度平均值为标准)。即以强火山喷发日期所在的冬、夏半年为0点,计算其前、后(不含其所在的冬半年或夏半年)各5个冬、夏半年的气温距平值;但如果强火山发生在某个冬、夏半年的前3个月,则以该冬、夏半年作为第1年,以火山喷发后逐月气温距平的平均值作为第1个冬、夏半年的气温距平,再依次计算其后4年的冬、夏半年气温距平值;同时为了消除气候序列本身的10年尺度变化对判断火山喷发后温度变化趋势的影响,以火山喷发的前5个冬(夏)半年的温度平均值作为基准值,前、后5年分别减去该基准值,从而获得最终的火山喷发前后5年的温度变化序列。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同纬度、不同季节强火山喷发对冬半年温度变化区域差异的影响

图2的SEA分析结果显示:高纬夏半年和冬半年火山喷发对中国各个区域影响差异较大(图2a-2b),如夏半年的火山喷发后第一年,除东南和青藏地区温度下降外,其他地区温度升高;在随后的第二年,东北、西北和东中部地区温度下降,东南和青藏地区温度上升;至第三年,青藏地区温度再次下降,且降温幅度强于第一年,而其他区域温度上升。冬半年的火山喷发后第一年,东北、青藏地区温度降低,西北地区无上升和下降趋势,其他地区温度上升;至第二年青藏地区温度上升,西北、东中部和东南地区均降温;至第三年,东中部、东南和青藏高原地区均降温,西北和东北地区温度升高。总体上看,高

纬喷发的火山对青藏地区的影响主要表现为第三年降温( $-1.2^{\circ}\text{C}$ ),东中部和西北地区则表现为第二年降温,幅度大于 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,降温趋势不如青藏高原地区显著。

中低纬夏半年和冬半年喷发的火山对冬半年温度的影响较高纬显著(图2c-2d)。当中低纬夏半年火山喷发后,东中部、东南和青藏高原地区降温幅度达 $1.7\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ ,且通过90%可信度检验水平,东北和西北地区温度上升;第二年变化趋势与第一年相反,东北和西北地区开始出现微弱的降温,其余地区温度上升;第三年东中部和东南地区表现出2次降温,但幅度明显小于第一年,为 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 。中低纬冬半年火山喷发后,各区域温度变化一致,均在第一年温度下降,变幅为 $0.5\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ ;第二年温度上升,幅度为 $0.6\sim 1.7^{\circ}\text{C}$ ;第三年发生2次降温,幅度为 $0.9\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ ,总体降幅强于第一年。

赤道地区冬半年和夏半年火山喷发对中国各区域影响也存在较大差异(图2e-2f)。夏半年火山喷发后的第一年,西北、东北和东中部地区降温 $0.6\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ ,且以东北地区最明显,东南和青藏地区温度上升;第二年东南和西北地区降温;第三年西北、东北和东中部地区发生2次降温,且降温幅度超过火山喷发后的第一年,达 $0.8\sim 2.4^{\circ}\text{C}$ 。冬半年火山喷发后的第一年,降温区域也发生在西北、东北和东中部地区,幅度达 $0.6\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ;第二年和第三年,除东北地区外,其余区域温度下降,其中青藏和东南地区在第二年降温显著,东南和东中部地区则在第三年降温显著。

以上结果显示,不同纬度、不同季节喷发的火山对中国冬半年的温度变化影响具有明显的区域差异。东北地区的降温均发生在火山喷发后1~2年,其中中低纬和高纬夏半年火山喷发,东北地区在第二年降温;其余火山喷发后,东北地区均在第一年降温。东中部地区主要表现为中低纬和赤道火山喷发后,第一年均降温,而高纬火山喷发后则表现为第二年降温。东南地区表现为火山喷发后1~3年降温,特别是冬半年火山喷发导致第二年和第三年温度持续下降。西北地区当赤道附近火山喷发后,产生3年连续降温;高纬和中低纬的火山喷发后以第一年小幅升温,但第二年降温为主。青藏地区主要表现是高纬和中低纬火山喷发后在第一和第三年降温;赤道附近夏半年火山喷发后,温度上升,而冬半年火山喷发后的第二年和第三年温度



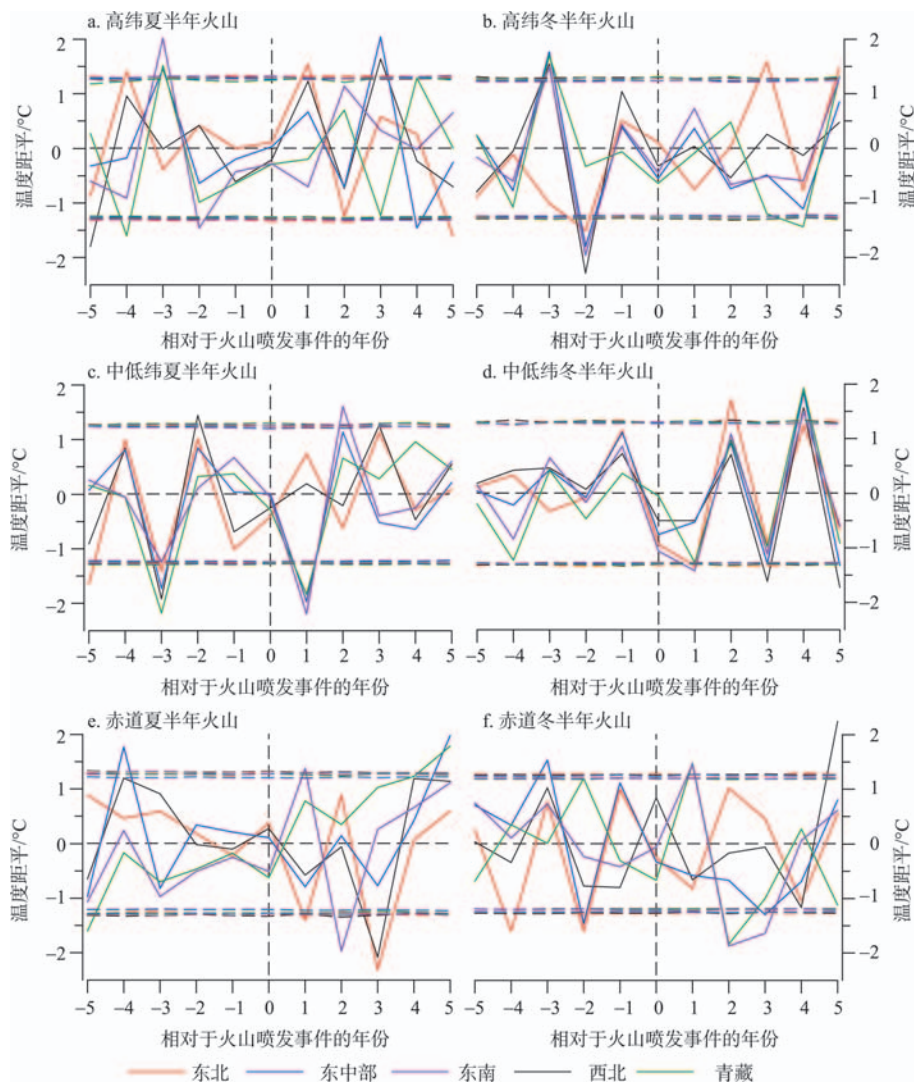


图2 不同纬度、不同季节的强火山喷发对中国冬半年温度区域差异影响的SEA分析  
(不同颜色虚直线代表不同区域90%的信度检验水平;所有温度数值为相对于火山喷发前5年的距平值,下同)

Fig.2 Superposed epoch analysis (SEA) for regional differences of winter half-year temperature from the impact of large volcanic eruptions at different latitude bands and seasons

(Dashed lines indicate the 90% confidence level for corresponding regions; All SEA time series expressed as temperature anomalies with respect to the 5 years preceding the volcanic events, the same below)

下降。

### 3.2 不同纬度、不同季节强火山喷发对夏半年温度变化区域差异的影响

图3的SEA分析结果显示:高纬夏半年和冬半年火山喷发后的降温主要发生在第一年和第二年(图3a-3b)。夏半年火山喷发后的第一年,东南和青藏地区小幅升温;东中部、东北和西北地区降温,其中东北地区降幅最大,达 $1.4^{\circ}\text{C}$ ;喷发后的第二年,中国所有区域均降温,且以东南地区最为明显,达 $1.4^{\circ}\text{C}$ ,而青藏地区仅表现为较弱的降温过程。冬半年火山喷发后,东北、东南和东中部地区在第一

年降温,最大降温幅度 $2.0^{\circ}\text{C}$ ,发生在东北地区;西北地区降温出现在第二年;青藏地区在火山喷发后的三年内未出现降温现象。

中低纬火山喷发后,中国各区域降温现象并不普遍(图3c-3d)。夏半年火山喷发后第一年,降温现象仅发生在青藏地区;第二年也仅有西北地区发生降温;而东北、东中部和东南地区仅在第三年才表现出降温过程,最大降幅为 $1.2^{\circ}\text{C}$ (发生在东北和东中部地区)。冬半年火山喷发后的第一年,除东北地区外,其他区域降温,但最大幅度为 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,小于其他火山喷发后的降温幅度;火山喷发后的第二

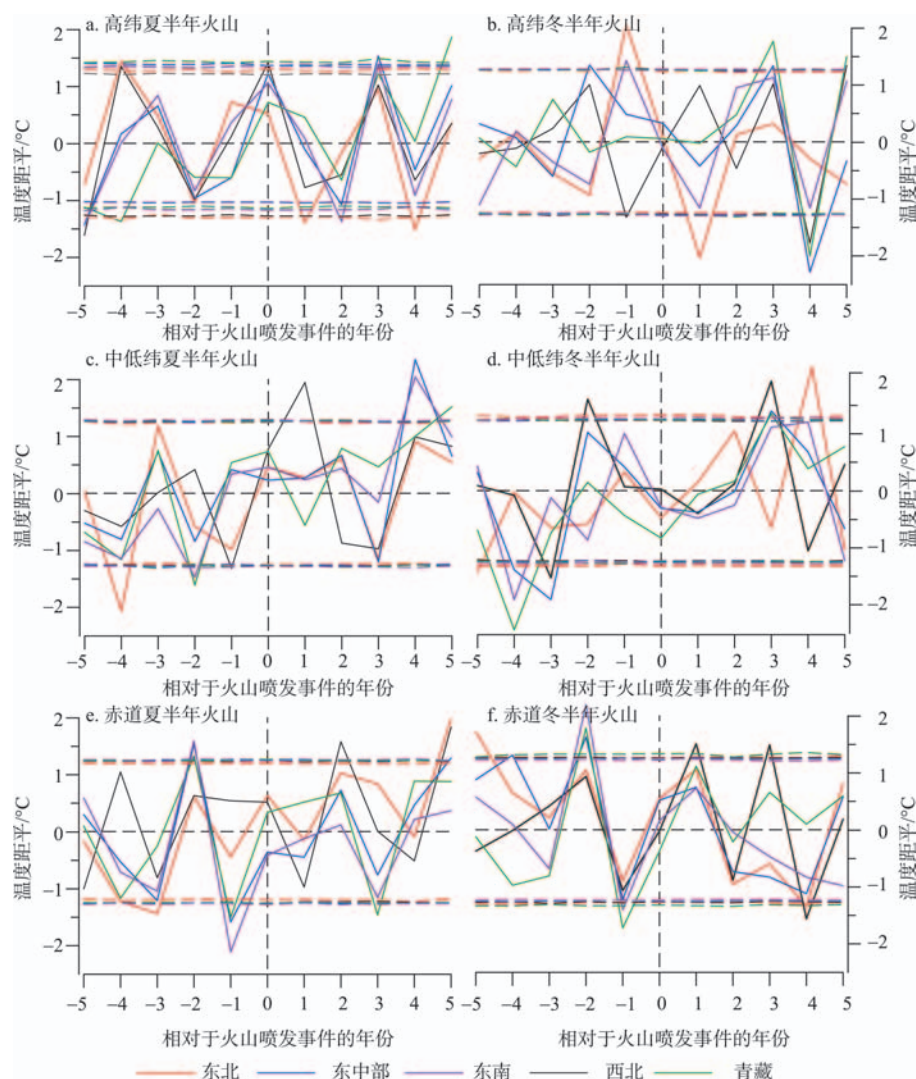


图3 不同纬度、不同季节的强火山喷发对中国夏半年温度区域差异影响的SEA分析

Fig.3 Superposed epoch analysis (SEA) for regional differences of summer half-year temperature from the impact of large volcanic eruptions at different latitude bands and seasons

年,仅有东南地区降温,幅度为 $0.3^{\circ}\text{C}$ ;第三年则只有东北地区降温,幅度为 $0.6^{\circ}\text{C}$ 。

赤道地区夏半年火山喷发后,各个区域主要表现为第一年和第三年降温;冬半年火山喷发后各区域的降温过程主要发生在第二年(图3e-3f)。具体为:夏半年火山喷发后第一年,除青藏地区外,其他区域均降温,且以西北地区降幅最大,接近 $1.0^{\circ}\text{C}$ ;喷发后第三年,青藏、东南和东中部地区均降温,且最显著地区发生在青藏地区,幅度达 $1.4^{\circ}\text{C}$ ;西北地区温度与爆发前5年均值相当;东北地区则呈升温趋势。冬半年火山喷发后的第一年,所有区域均升温;第二年所有区域降温;第三年温度变化表现出一定的区域差异,其中西北和青藏地区升温,东南、东北和东中部地区降温,但降幅较上一年偏小。

上述结果显示:东北地区在高纬火山喷发后的第一年降温,中低纬火山喷发后的第三年降温,赤道夏半年火山喷发后的第一年小幅降温;而赤道冬半年火山喷发后,降温现象发生在第二年和第三年。东中部地区除中低纬夏半年和赤道冬半年的火山喷发后的第三年降温外,其他纬度和季节的火山喷发后均为第一年降温;此外,在赤道冬半年和高纬夏半年火山喷发后也同时存在第二年降温现象。东南地区在高纬冬半年、中低纬冬半年和赤道夏半年火山喷发后第一年降温,高纬夏半年、中低纬冬半年和赤道冬半年火山喷发后的第二年降温,赤道发生火山喷发后的第三年均降温。西北地区在高纬夏半年、中低纬冬半年和赤道夏半年火山喷发后的第一年降温,高纬、中低纬夏半年和赤道冬

半年火山喷发后的第二年降温,而第三年降温的现象仅在中低纬夏半年火山喷发事件中检测到。青藏地区除在赤道夏半年火山喷发后的第三年有明显降温外,其余强火山喷发后降温并不明显,如高纬夏半年火山喷发后第二年和低纬夏半年火山喷发后的第一年,小幅降温约 $0.5^{\circ}\text{C}$ ;有的甚至出现升温现象。

从图2和图3的显示结果看,不同纬度、不同季节的强火山喷发对中国冬/夏半年温度变化的影响存在明显的区域差异。如果仅从火山喷发纬度看,高纬火山喷发后的第一年,东北地区表现为降温(图2a-2b和图3a-3b共4个统计类别中发生3次,简称3/4,下同);喷发后的第二年,西北和东中部地区多出现降温(4/4和3/4)。中低纬火山喷发后第一年,青藏、东中部和东南部地区多为降温(4/4,3/4和3/4);喷发后的第二年,无一致降温区域;喷发后的第三年,东北地区主要表现为降温(3/4)。赤道火山喷发后第一年,西北、东中部和东北地区降温(均为3/4),喷发后第二年东南和西北地区降温(3/4);喷发后第三年主要降温区域发生在东中部和东南地区(4/4和3/4)。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

1901-2013年,不同纬度、不同季节的强火山喷发后中国温度变化的区域差异主要呈现以下几个特征:冬半年温度变化明显的区域主要集中在青藏、东中部地区,其次为东南地区,最后为西北和东北地区。高纬火山喷发后第一年冬季,东中部地区小幅升温约 $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ ,青藏高原地区小幅降温约 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ ;第二年青藏高原地区升温约 $0.5\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ ,东中部和西北地区降温超过 $0.5^{\circ}\text{C}$ ;第三年青藏高原明显降温约 $1.2^{\circ}\text{C}$ ,东北地区升温。中低纬火山喷发后,第一年东南、东中部和青藏高原地区均降温,第二年东南、青藏和东中部地区升温,第三年东南和东中部地区降温。赤道火山喷发后,第一年东北、西北和东中部地区降温,东南和青藏地区升温;第二年东北地区升温约 $0.8\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ,东南地区大幅降温接近 $2.0^{\circ}\text{C}$ ;第三年东中部地区降温 $0.7\sim 1.3^{\circ}\text{C}$ 。

中国夏半年温度变化受火山喷发影响的区域较冬半年偏少,主要集中在青藏和东北地区,且各区域升、降温变化差异明显。高纬火山喷发后第一

年,东北地区降温明显,约 $1.3\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ ;第二年西北地区降温约 $0.5^{\circ}\text{C}$ ;第三年各区域升温。中低纬火山喷发后第一年,青藏地区小幅降温,东北地区小幅升温;第二年东北地区持续升温,青藏地区转为升温;第三年东北地区降温,青藏地区继续升温。赤道火山喷发后夏季第一年,青藏地区升温;第三年东中部和东南地区降温 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.2 讨论

在目前已有的关于火山个例分析中,如:Graf等(1993)通过对1982年的El Chichón火山和1991年的菲律宾Pinatubo火山喷发后的温度观测和模拟结果分析发现,北半球的高纬地区冬季在火山喷发后的1~2年内明显升温。本文的结果也证实中低纬地区火山喷发后的1~2年东北地区冬季升温,升温幅度分别达 $0.7^{\circ}\text{C}$ 和 $1.7^{\circ}\text{C}$ 。但Robock等(1995)的研究发现不同地理位置喷发的火山对温度变化具有明显的区域差异,如强火山喷发后两年的夏季, $0\sim 30^{\circ}\text{N}$ 区域降温 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ ;  $30\sim 60^{\circ}\text{N}$ 区域降温 $0.3^{\circ}\text{C}$ ;热带火山喷发后的第一个冬季,高纬火山喷发后的第二个冬季,北半球、北美和欧亚大陆的高纬地区大幅升温,而亚洲的西南部和非洲北部降温 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。CCSM模式模拟结果发现(Driscoll et al, 2012),小冰期期间4次热带和4次高纬火山喷发后2年的夏季,中国明显降温;但对冬季的影响较复杂,低纬火山喷发后的第一年冬季东北地区升温,第二年冬季发生全国性降温;高纬火山喷发后的第一年中国东北和南方地区升温,第二年降温范围扩大,仅青藏高原升温。这些认识与本文存在一定的差异。主要原因为:他们更强调火山对全球温度变化格局的影响,对中国区域的影响并未细化;没有将火山按照不同季节、更多纬度带分类研究对温度变化区域差异的影响。此外,与温度变化区域差异有关的火山对气候的调节机制和原因仍有待模式的进一步检测和分析。

除了强火山喷发事件外,其他与温度变化年际信号有关的驱动因素,如太阳活动和ENSO也影响中国温度变化的区域差异。侯章栓等(2000)的研究表明,近百年温度变化在5年左右的年际尺度上还受到ENSO的影响。当ENSO事件与强火山喷发事件同时发生时,强火山喷发带来的降温效应会不同程度地被“掩盖”。例如,1982年的El Chichón火山喷发发生在强厄尔尼诺年(Robock, 2000),在其喷发后1~2年间,温度变化与其他火山喷发后的趋势几



乎相反,直至第3年才与其他火山喷发所致的温度变化趋势接近(贾朋群等, 2001)。除此之外,太阳活动的11年周期震荡也不同程度的影响强火山喷发带来的温度效应。一方面,在1930年代以后太阳常数变化超前于地表温度变化,太阳常数在30年代初-60年代初强度减小,随后的50年代初-70年代末出现降温时段(张博等, 2015),太阳活动减弱和强火山喷发均产生降温效应。

受温度资料时间序列长度的限制,本文开展的不同纬度、不同季节火山喷发对中国区域温度变化影响差异的统计分析,使用的样本量从8~16次火山事件不等,尽管可以从统计结果中发现一定的规律,但仍存在较大不确定性。因此,在本文的基础上,下一步将借助时段足够长的、分辨率较高的温度代用资料研究这一问题,增加统计样本量将有助于改善统计结果的可靠性(Hao et al, 2012; Baillie et al, 2015)。此外,1950年代以前,观测资料的站点主要分布在中国东部地区,而西北地区和青藏高原的观测站点较为稀少,可能影响CRU数据在中国西部地区的插值质量,同时也进一步影响本文对西部地区温度变化的结果分析。

## 参考文献(References)

- 侯章栓, 李晓东. 2000. 近百年全球气候变化与外强迫因子信号检测[J]. 北京大学学报, 36(5): 641-650. [Hou Z S, Li X D. 2000. Signal detection of global climate change and external forcing factors[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 36(5): 641-650.]
- 费杰, 张志辉. 2008. 公元1600年秘鲁Huaynaputina火山喷发与长江中下游地区的气候异常[J]. 长江流域资源与环境, 17(4): 645-650. [Fei J, Zhang Z H. 2008. The AD 1600 Huaynaputina eruption(peru) and climatic anomalies in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 17 (4): 645-650.]
- 贾朋群, 石广玉. 2001. 近50年火山喷发和太阳活动对我国气候影响的研究[J]. 高原气象, 20(3): 225-233. [Jia P Q, Shi G Y. 2001. Study on the effects of volcanic eruption and solar activity on climate in China in recent 50 years [J]. Plateau Meteorology, 20(3): 225-233.]
- 徐群. 1986. 1980年夏季我国天气气候反常和St.Helens火山爆发的影响[J]. 气象学报, 44(4): 426-432. [Xu Q. 1986. The abnormal weather of China for summer 1980 and its relationship with the volcanic eruptions of St.Helens[J]. Acta Meteorologica Sinica, 44(4): 426-432.]
- 徐群. 1995. 皮纳图博火山云对1992年大范围气候的影响[J]. 应用气象学报, 6(1): 35-42. [Xu Q. 1995. Influences of Pinatubo volcanic clouds on large scale climate in 1992 [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 6(1): 35-42.]
- 杨煜达, 满志敏, 郑景云. 2005. 嘉庆云南大饥荒(1815-1817)与坦博拉火山喷发[J]. 复旦学报: 社会科学版, (1): 79-85. [Yang Y D, Man Z M, Zheng J Y. 2005. A serious famine in Yunnan (1815-1817) and the eruption of tambora volcano[J]. Fudan Journal: Social Sciences Edition, (1): 79-85.]
- 张博, 赵滨, 陈隆勋, 等. 2015. 温室气体、海表面温度、太阳常数及火山活动对中国地表气温影响之初探[J]. 气候与环境研究, 20(1): 63-70. [Zhang B, Zhao B, Chen L X, et al. 2015. Influences of greenhouse gas, sea surface temperature, solar constant, and volcanic activity on surface temperature in China[J]. Climatic and Environmental Research, 20(1): 63-70.]
- 张富国, 张先恭. 1994. 强火山爆发与我国华北地区夏季旱涝的关系[J]. 灾害学, 9(2): 69-73. [Zhang F G, Zhang X G. 1994. The relationship between large volcanic eruptions in the world and the drought and flood of summer for North China[J]. Journal of Catastrophology, 9(2): 69-73.]
- Andronova N G, Rozanov E V, Yang F L, et al. 1999. Radiative forcing by volcanic aerosols from 1850 to 1994[J]. Journal of Geophysical Research, 104(D14): 16807-16826.
- Baillie M G L, McAneney J. 2015. Tree ring effects and ice core acidities clarify the volcanic record of the first millennium[J]. Climate of the Past, 11(1): 105-114.
- Blarquez O, Carcaillet C. 2010. Fire, fuel composition and resilience threshold in subalpine ecosystem[J]. Plos One, 5 (8): e12480.
- Driscoll S, Bozzo A, Gray L J, et al. 2012. Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5) simulations of climate following volcanic eruptions[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117: D17105.
- Esper J, Schneider L, Krusic P J, et al. 2013. European summer temperature response to annually dated volcanic eruptions over the past nine centuries[J]. Bulletin of Volcanology, 75(7): 736.
- Fei J, Zhou J. 2006. The possible climatic impact in China of iceland's Eldgjá eruption inferred from historical sources [J]. Climatic Change, 76(3-4): 443-457.
- Ge Q S, Zheng J Y, Hao Z X, et al. 2010. Temperature variation through 2000 years in China: An uncertainty analysis of reconstruction and regional difference[J]. Geophysical Research Letters, 37: L03703
- Graf H F, Kirchner I, Robock A, et al. 1993. Pinatubo eruption

- winter climate effects: Model versus observations[J]. *Climate Dynamic*, 9(2): 81-93.
- Hao Z X, Zheng J Y, Ge Q S, et al. 2012. Winter temperature variations over the middle and lower reaches of the Yangtze River since 1736 AD[J]. *Climate of the Past*, 8(3): 1023-1030.
- Harris I, Jones P D, Osborn T J, et al. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations- the CRU TS3.10 Dataset[J]. *International Journal of Climatology*, 34(3): 623-642.
- Pinto J P, Turco R P, Toon O B. 1989. Self-limiting physical and chemical effects in volcanic eruption clouds[J]. *Journal of Geophysical Research*, 94(D8): 11165-11174.
- Ramachandran S, Ramaswamy V, Stenchikov G L, et al. 2000. Radiative impact of the Mount Pinatubo volcanic eruption: Lower stratospheric response[J]. *Journal of Geophysical Research*, 105(D19): 24409-24429.
- Robock A. 2000. Volcanic eruptions and climate[J]. *Reviews of Geophysics*, 38(2): 191-219.
- Robock A, Mao J P. 1995. The volcanic signal in surface temperature observations[J]. *Journal of Climate*, 8(5): 1086-1103.
- Robock A, Oppenheimer C. 2013. *Volcanism and the earth's atmosphere*[M]. Boston, MA: the American Geophysical Union.
- Simkin T, Siebert L. 1994. *Volcanoes of the world*[M]. Tucson, AZ: Geoscience Press.
- Stenchikov G L, Kirchner I, Robock A, et al. 1998. Radiative forcing from the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption [J]. *Journal of Geophysical Research*, 103(D12): 13837-13857.
- Zhao J X, Turco R P, Toon O B. 1995. A model simulation of Pinatubo volcanic aerosols in the stratosphere[J]. *Journal of Geophysical Research*, 100(D4): 7315-7328.

## Regional differences in temperature response in China to the large volcanic eruptions since the 20th century

HAO Zhixin<sup>1</sup>, SUN Di<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuezheng<sup>1</sup>, ZHENG Jingyun<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Based on the chronology of 62 large volcanic eruption events (*Volcanic Explosivity Index*  $\geq 4$ ) since 1901 and gridded CRU TS v.3.22 monthly dataset from the Climatic Research Unit at the University of East Anglia, we examined the effects of large volcanic eruptions by different eruptive latitude bands and seasons on regional difference of temperature in China, using superposed epoch analysis (SEA). The results show that temperature decreased in most regions in 1~2 years after large volcanic eruptions at all latitude bands, but there were clear differences in cooling intensity of different regions and seasons. After volcanic eruptions in high latitude areas, temperature decreased in Northeast and Southeast China by 1.2°C in the winter half-year and 2.0°C in the summer half-year. After middle- and lower-latitudes volcanic eruptions, the cooling regions of the winter half-year were Tibet, Southeast, and Central East China, where the temperature decreased by 1.3~2.2°C; the cooling effects in the summer half-year were less intense than in the winter half-year. After equatorial volcanic eruptions, the winter half-year temperature significantly decreased in Northeast, Southeast, and Tibet, and the cooling magnitudes were greater than 1.2°C; the post-volcanic summer half-year temperature decreased slightly in Northwest and Central East. In some regions secondary cooling occurred in the third year after large volcanic eruptions, and the cooling intensity was even stronger than the initial temperature drop. However, we did not find significant relationship between the cooling magnitude and region and the eruptive seasons of large volcanos of the same latitude bands.

**Key words:** since the 20th century; large volcanic eruption; temperature change; regional difference; China