

闫平, 王秋京, 李永生, 等. 1961年以来火山喷发年份黑龙江省温水及主要灾害变化特征初探[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 37–44. [YAN Ping, WANG Qiujiing, LI Yongsheng, et al. Preliminary Study on the Characteristics of Temperature, Precipitation and Main Disasters in Heilongjiang Province in the Years of Volcanic Eruption Since 1961[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 37–44. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.04.007.]

## 1961年以来火山喷发年份黑龙江省温水及 主要灾害变化特征初探<sup>\*</sup>

闫平<sup>1</sup>, 王秋京<sup>1</sup>, 李永生<sup>2</sup>, 曹蕾<sup>3</sup>, 初征<sup>1</sup>,  
刘丹<sup>1</sup>, 翟墨<sup>1</sup>, 姜丽霞<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030;  
3. 哈尔滨市气象台, 哈尔滨 150028)

**摘要:** 强火山喷发对气候影响复杂, 研究强火山及汤加火山喷发对黑龙江省温水及低温冷害、干旱的影响, 以为农业防灾减灾、保障粮食安全提供参考。利用1961—2021年黑龙江省80个气象观测站资料, 基于5—9月平均气温和距平指标、水分亏缺指数距平指标分别判识低温冷害、干旱, 采用数理统计及对比分析、典型年分析等方法, 分析强火山喷发及汤加火山喷发对黑龙江省温度、降水、低温冷害和干旱的影响。结果表明: 强火山喷发后1年, 研究区生长季温度呈现低温特征, 低温冷害发生概率大, 程度重; 强火山喷发年及喷发后2年, 生长季温度呈现正常偏高特征, 低温冷害发生概率小, 强火山喷发后2年低温冷害发生概率存在不确定性; 强火山喷发年生长季降水呈现偏少趋势, 6月、7月发生干旱概率增加, 干旱发生程度较重; 强火山喷发后1~2年, 生长季降水充足, 强火山喷发后1年, 5月发生干旱概率增加, 强火山喷发后2年, 5月、6月发生干旱概率增加; 汤加火山喷发年后1年, 生长季温度表征正常或偏高, 生长季总降水量呈现偏多趋势, 低温冷害和干旱发生概率低。

**关键词:** 火山; 喷发年份; 低温冷害; 干旱; 黑龙江省

**中图分类号:** P49; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2022)04-0037-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.04.007

2022年1月15日, 南太平洋岛国汤加发生的火山喷发引起了世界广泛关注。多年来, 世界各国科学家持续研究火山喷发对气候变化的影响, 研究表明, 火山活动是气候变化的驱动因素之一<sup>[1-2]</sup>, 利用火山活动观测资料分析指出, 小火山喷发对全球温度影响很小, 影响时间也较短, 而大火山喷发后的1~2年全球年均温下降约0.3℃<sup>[3-4]</sup>, 同时通过数值模拟研究发现, 近百年强火山喷发可造成地表年平均温度下降约0.4℃<sup>[5-7]</sup>, 可见观测与模拟研究结论较为接近。许多专家学者对火山活动与我国气候变化的关系开展了研究工作<sup>[8]</sup>, 张先恭等<sup>[9]</sup>分析指出火山活动对我国气候确有一定影响, 火山活动对气温的影响要比对降水的影响明显得多, 于革等<sup>[10]</sup>利用三维大气环流

模式进行气候模拟试验, 结果显示火山灰阳伞效应造成我国长江流域以北的广大地区普遍出现了0.2℃的降温, 李明启等<sup>[11]</sup>分析发现10°S~10°N的强火山喷发后第一年青藏高原东部出现降温; 从近540年火山喷发对中国地区降水的影响看, 由于火山纬度不同以及火山喷发强度不同, 火山喷发对中国地区降水量影响不同, 夏季降水量变化较全年更加显著, 中国不同地区降水量对火山喷发的响应也存在差异, 胡昌新<sup>[12]</sup>研究了火山喷发对长江流域干旱的影响, 分析提出在太阳活动低值年(黑子数最小时)背景下, 当火山猛烈喷时, 将形成灰尘幕—长江流域旱情—河口咸潮入侵。

总体来看, 火山活动与气候变化关系较为复杂, 火山喷发性质、季节、纬度以及区域不同,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2022-03-31 修回日期: 2022-08-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费(2020SYIAEHZ1); 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室项目(stqx2019zd01)

第一作者简介: 闫平(1979-), 女, 满族, 黑龙江齐齐哈尔市人, 高级工程师, 主要从事应用气象研究。

E-mail: di-chun@163.com

通信作者: 姜丽霞(1972-), 女, 汉族, 吉林德惠人, 正研级高级工程师, 主要从事应用气象、气候资源和气候变化的相关研究。

E-mail: hljlx@163.com

其产生影响也存在差异。目前关于火山喷发对黑龙江省气候影响的相关研究较少,在火山喷发年份,黑龙江省温水特征以及低温冷害、干旱特征如何变化仍不明确,基于此,本文利用 1961—2021 年气象资料,对 1961 年以来火山喷发年份黑龙江省温水条件状况进行分析,探讨温度、降水以及灾害特点,以期为气候预测评价、灾害监测评估及农业防灾减灾提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

气象资料包括 1961—2021 年黑龙江省 80 个气象观测站日平均气温、日降水资料。火山喷发强弱按火山喷发指数(VEI)区分,VEI 共分为 8 级,即 VEI-1 级至 VEI-8 级,1 级是最小级别,8 级是最大级别<sup>[10]</sup>。5 级和 5 级以上是比较强烈的火山喷发,在地球上并不多见,1961 年以来 5 级及以上火山喷发 6 次,共计 5 年(表 1)<sup>[13]</sup>。汤加火山在 2009 年、2014 年、2015 年、2019 年和 2021 年曾发生多次喷发。多次均是小规模喷发,未达到 5 级。

表 1 5 级及以上强度火山喷发概况

时间	火山名	所属国家	强度
1963.3	阿贡火山	印尼	5
1980.5	圣海伦火山	美国	5
1982.3	埃尔奇琼火山	墨西哥	5
1991.6	皮纳图博火山	菲律宾	6
1991.8	哈德森火山	智利	5
2011.8	普耶韦火山	智利	5

### 1.2 数据处理方法

#### 1.2.1 数据处理分析

利用 80 个气象观测站日平均气温、日降水资料分别计算黑龙江省 1—12 月各月、春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月—次年 2 月)、生长季(5—9 月)平均气温、平均降水含量以及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 无霜期、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初霜冻日期。研究表明,火山喷发及喷发后 1~2 年,其对气候产生较大影响<sup>[4,9,11,14]</sup>,因此本文重点分析火山喷发年及喷发后 1~2 年黑龙江省温水及灾害特征。

#### 1.2.2 距平计算方法

考虑气候变暖影响,历年平均采取 30 年滑动平均方式计算,即滚动计算 1961—1990 年平均值、

1962—1991 年平均值、1963—1992 年平均值,……,依次类推。在进行距平计算时,1961—1990 年期间的各年份均与 1961—1990 年平均值进行比较,从 1991 年开始,则利用滚动计算的 30 年平均值,如 1991 年与 1962—1991 年平均值进行比较,1992 年与 1963—1992 年平均值进行比较,依次类推。采用此种方式计算,可以减少气候变化的影响,确保数据比较结果的科学性,使计算结果准确性更高。

#### 1.2.3 低温冷害年判识

利用日平均气温资料,计算 1961—2021 年黑龙江省 80 个气象观测站 5—9 月平均气温和。依据国家标准《北方水稻低温冷害等级:QX/T 34967—2017》<sup>[15]</sup>划分的水稻 5—9 月平均气温和距平等级(表 2),判定低温冷害年。

#### 1.2.4 干旱年判识

采用水分亏缺距平指数( $CW_a$ )作为农业干旱指数计算基础<sup>[16]</sup>, $CW_a$ 计算公式为:

$$CW_a = \begin{cases} \frac{CW - \overline{CW}}{100 - \overline{CW}} \times 100\%, & \overline{CW} > 0; \\ CW, & \overline{CW} \leq 0. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $CW_a$ 为某时段作物水分亏缺距平指数(%); $CW$ 为某时段作物水分亏缺指数(%); $\overline{CW}$ 为历年同期作物水分亏缺指数平均值(%)。

$$\overline{CW} = a \times CW_j + b \times CW_{j-1} + c \times CW_{j-2} + d \times CW_{j-3} + e \times CW_{j-4}.$$

(2)

式中: $CW_j$ 为第  $j$  时间单位(取 10 d)的水分亏缺指数(%); $CW_{j-1}$ 为第  $j-1$  时间单位的水分亏缺指数(%); $CW_{j-2}$ 为第  $j-2$  时间单位的水分亏缺指数(%); $CW_{j-3}$ 为第  $j-3$  时间单位的水分亏缺指数(%); $CW_{j-4}$ 为第  $j-4$  时间单位的水分亏缺指数(%); $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 为权重系数, $a$ 取值为 0.3; $b$ 取值为 0.25; $c$ 取值为 0.2; $d$ 取值为 0.15; $e$ 取值为 0.1。

$CW_j$ 计算公式为:

$$CW_j = (1 - \frac{P_j + I_j}{ET_{qj}}) \times 100\%. \quad (3)$$

式中: $P_j$ 为某 10 d 的降水量(mm); $I_j$ 为某 10 d 的灌溉量(mm); $ET_{qj}$ 为作物某 10 d 实际蒸散量(mm),由 $ET_{qj} = k_c \times ET_0$ 计算; $ET_0$ 为某 10 d 的作物可能蒸散量,可采用联合国粮农组织(FAO 1998)推荐的 Penman-Monteith 公式计算<sup>[17]</sup>。

以作物水分亏缺距平指数为指标,根据表 3 确定干旱等级。

表 2 东北地区不同热量区域的延迟型冷害指标( $^{\circ}\text{C}$ )

$\sum T_{5-9}$	早熟区		中熟区		晚熟区	
	$\leq 83$	83.1~88	88.1~93	93.1~98	98.1~103	$> 103$
轻度 $\Delta T_{5-9}$	-1.0~-1.4	-1.3~-1.8	-1.6~-2.0	-1.8~-2.5	-2.4~-3.0	-2.8~-3.5
中度 $\Delta T_{5-9}$	-1.5~-2.0	-1.9~-2.2	-2.1~-2.6	-2.6~-3.2	-3.1~-3.8	-3.6~-4.2
严重 $\Delta T_{5-9}$	$< -2.0$	$< -2.2$	$< -2.6$	$< -3.2$	$< -3.8$	$< -4.2$

注: $\Delta T_{5-9}$ 为当年 5—9 月各月月平均气温之和的距平值,下同; $\sum T_{5-9}$ 为 5—9 月各月月平均气温之和的多年平均值。

表 3 作物水分亏缺距平指数的等级

类型	作物水分亏缺距平指数/%
轻旱	$40 < CW_a \leq 55$
中旱	$55 < CW_a \leq 70$
重旱	$70 < CW_a \leq 85$
特旱	$CW_a > 85$

## 2 结果与分析

### 2.1 火山喷发年份黑龙江省温度特征

#### 2.1.1 强火山喷发年份温度特征

强火山喷发年, 黑龙江省 1—12 月各月平均气温总体以偏高为主, 其中正距平范围在  $0.1 \sim 3.1^\circ\text{C}$  之间, 负距平为  $-3.1 \sim -0.1^\circ\text{C}$ , 正距平月份较负距平月份偏多 28.0%。2 月、8 月未出现负距平, 1 月、3 月、5 月、9 月、10 月、12 月出现 3 年负距平, 其它月份出现 1~2 年负距平(图 1)。

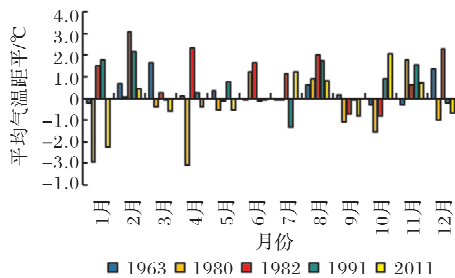


图 1 强火山喷发年黑龙江省 1—12 月平均气温距平

从季节变化看, 强火山喷发 5 年夏季、生长季均呈现正距平, 以暖为主导, 冬季总体偏暖, 春季、秋季冷暖不一。无霜期有 3 年偏少 1~3 d, 初霜冻日期 2 年提前,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 2 年略偏少(表 4)。

表 4 强火山喷发年黑龙江省四季、生长季温度条件

年	1963	1980	1982	1991	2011
春季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.7	-1.3	0.8	0.3	-0.5
夏季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.2	0.7	1.6	0.1	0.7
秋季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.2	-0.3	-0.3	0.8	0.7
冬季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.3	0.0	1.2	1.8	-1.6
生长季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.2	0.1	0.8	0.2	0.2
$\Delta T_{10}/^\circ\text{C}$	83	-22	171	134	-19
$2^\circ\text{C}$ 无霜期距平/d	-1	-3	8	13	-1
$0^\circ\text{C}$ 初霜日距平/d	1	-5	0	5	-5

注:  $T_a$  为平均气温距平,  $\Delta T_{10}$  为  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温距平。

进一步分析强火山喷发后 1~2 年温度变化情况, 强火山喷发后 1 年黑龙江省 1—12 月各月正距平为  $0.1 \sim 3.2^\circ\text{C}$ , 负距平为  $-4.0 \sim -0.1^\circ\text{C}$ , 月平均气温正距平月份较负距平月份偏少 9.7%, 6 月、10 月、11 月出现 4 年负距平, 2 月、8 月、9 月

出现 3 年负距平, 其它月份出现 1~2 年负距平(图 2a); 强火山喷发后 2 年 1—12 月各月正距平为  $0.1 \sim 4.4^\circ\text{C}$ , 负距平为  $-4.2 \sim -0.1^\circ\text{C}$ , 正距平月份与负距平月份持平, 4 月出现 4 年负距平, 1—3 月出现 3 年负距平, 其它月份出现 1~2 年负距平(图 2b)。

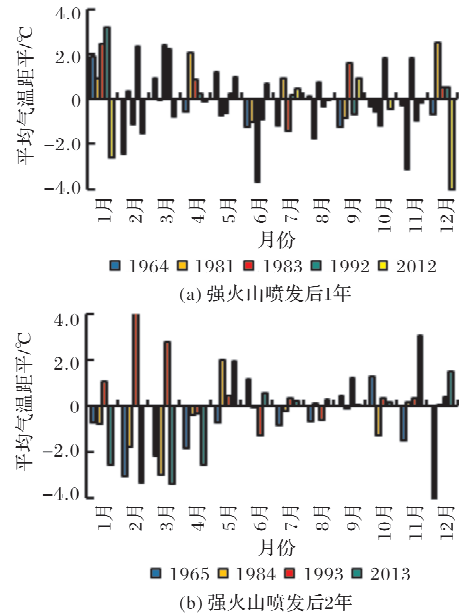


图 2 强火山喷发后 1~2 年黑龙江省 1—12 月平均气温距平

强火山喷发后 1 年, 春季 5 年均为正距平, 呈偏暖趋势, 夏季、生长季出现 4 年负距平, 总体偏冷, 秋季和冬季冷暖并存,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温以偏少为主, 无霜期 1 年缩短, 初霜冻日期 3 年提前; 强火山喷发后 2 年, 冷、暖并存在主导趋势, 春季和冬季出现 3 年负距平, 其它季节出现 1~2 年负距平, 生长季平均气温和  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 1 年呈现负距平, 无霜期 1 年缩短, 初霜冻日期 2 年提前(表 5)。

#### 2.1.2 汤加火山喷发年份温度分析

汤加火山喷发 5 年正距平为  $0.1 \sim 4.6^\circ\text{C}$ , 负距平为  $-2.8 \sim -0.1^\circ\text{C}$ , 正距平月份多于负距平月份, 偏多 43.5%, 2009 年负距平出现最多为 7 个月, 其它年份出现 2~6 个月负距平(图 3a); 汤加火山喷发后 1 年 1—12 月各月正距平为  $0.1 \sim 4.0^\circ\text{C}$ , 负距平为  $-4.9 \sim -0.1^\circ\text{C}$ , 正距平月份多于负距平月份, 偏多 53.8%, 2020 年负距平出现最少为 2 个月, 2010 年、2016 年分别出现 6 和 5 个月负距平(图 3b)。汤加火山喷发 5 年和后 1 年中 2009 年 3 个季节出现负距平, 2014 年未出现负距平, 其他年份均是 1~2 个季节出现负距平, 生长季平均气温 2009 年和 2019 年偏低  $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ ,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 1 年偏少, 无霜期正常或偏长, 初霜冻日期 2 年提前。汤加火山喷发后 1 年生长季平均气温和  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温均偏多, 无霜期偏长, 初霜冻日期 2 年提前(表 6)。

表 5 强火山喷发后 1~2 年黑龙江省四季、生长季温度条件

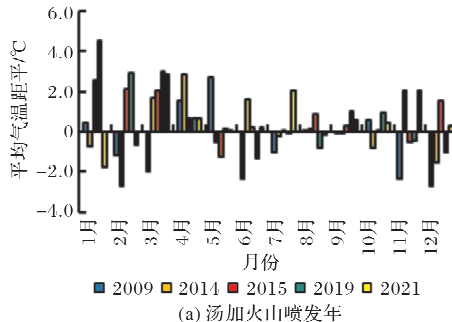
年份	1964*	1981*	1983*	1992*	2012*	1965**	1984**	1993**	2013**
春季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.5	0.4	0.9	0.9	0.1	-1.6	-0.5	1.0	-1.3
夏季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.8	-0.6	-1.4	-0.3	0.4	-0.1	0.0	-0.5	0.3
秋季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.6	-1.5	0.7	0.1	0.1	0.1	-0.4	0.6	1.1
冬季 $T_a/^\circ\text{C}$	-1.5	2.3	-0.7	1.9	-3.3	-2.1	-0.8	0.1	-0.6
生长季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.5	-0.7	-0.7	-0.3	0.6	-0.2	0.4	0.0	0.6
$\Delta T_{10}/^\circ\text{C}$	-64	-190	-83	-262	197	-34	140	42	150
$2^\circ\text{C}$ 无霜期距平/d	-11	3	7	1	15	-5	11	3	8
$0^\circ\text{C}$ 初霜日距平/d	-8	-3	2	-1	6	0	-2	2	-2

注: \* 为火山喷发后 1 年, \*\* 为火山喷发后 2 年。

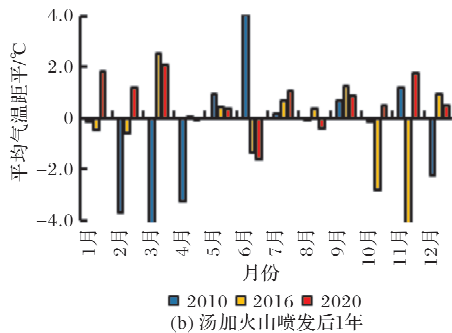
表6 汤加火山喷发年及后1年黑龙江省四季、生长季温度条件

年	2009	2014	2015	2019	2021	2010*	2016*	2020*
春季 $T_a/^\circ\text{C}$	0.7	1.3	0.5	1.3	1.2	-2.2	1.0	0.8
夏季 $T_a/^\circ\text{C}$	-1.1	0.5	0.4	-0.7	0.7	1.4	-0.1	-0.3
秋季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.6	0.4	-0.1	0.5	1.0	0.6	-2.1	1.0
冬季 $T_a/^\circ\text{C}$	-2.1	1.0	0.2	0.6	-0.6	-1.4	1.6	-0.9
生长季 $T_a/^\circ\text{C}$	-0.1	0.2	0.0	-0.2	0.5	1.2	0.3	0.1
$\Delta T_{10}/^\circ\text{C}$	92	51	-55	0	67	132	73	83
2℃无霜期距平/d	5	6	0	0	8	3	6	6
0℃初霜日距平/d	5	-4	2	-1	6	-5	-2	6

注：\* 为火山喷发后1年。



(a) 汤加火山喷发年



(b) 汤加火山喷发后1年

图3 汤加火山喷发年及后1年黑龙江省1—12月平均气温距平

## 2.2 火山喷发年份黑龙江省降水量特征

### 2.2.1 强火山喷发年份降水量特征

强火山喷发年，黑龙江省1—12月各月降水量总体以偏少为主，其中正距平为2.8%~93.5%，负距平为-72.2%~-1.1%，负距平月份较正距平月份偏多18.2%。出现5年负距平的月份是11月，出现4年负距平的月份是2月和3月，其它月份出现1~3年负距平(图4)。

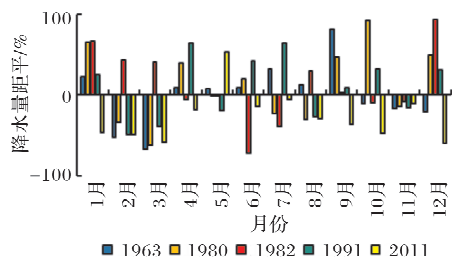


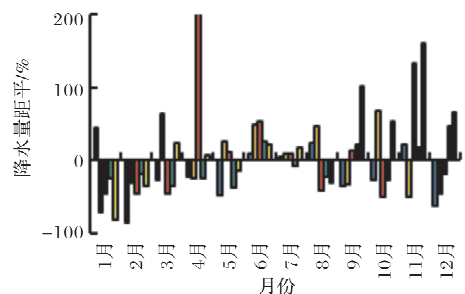
图4 强火山喷发年黑龙江省1—12月降水量距平

从季节变化看，强火山喷发年春季降水均为正距平，夏季、冬季、生长季出现3年负距平，秋季出现2年负距平(表7)。

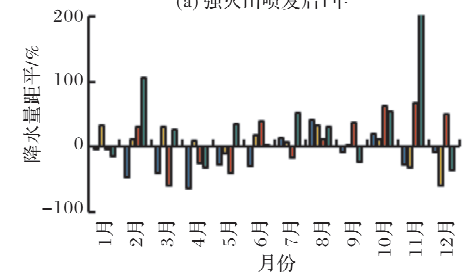
表7 强火山喷发年黑龙江省四季、生长季降水距平

项目	1963	1980	1982	1991	2011
春季/%	1	5	1	5	17
夏季/%	20	-15	-23	28	-16
秋季/%	48	53	-1	13	-37
冬季/%	-27	-6	14	1	-60
生长季/%	27	-6	-17	21	-11

强火山喷发后1年正距平月份与负距平月份接近，但月份间降水距平差异较大，1983年4月降水距平高达226.2%，1964年2月降水距平少至-85.5%，二者相差311.7%，1992年负距平月份最多，占全年66.7%，其它年份33.3%~58.3%的月份出现负距平。6月未出现负距平，1月、2月出现4~5年负距平，其它月份出现1~3年负距平(图5a)；强火山喷发后2年正距平月份较负距平月份偏多13.0%，正距平月份与负距平月份差距较大，1965年负距平月份最多，占全年75.0%，其它年份25.0%~41.7%的月份出现负距平，1月、4月、5月、12月出现3年负距平，其它月份出现0~2年负距平(图5b)。



(a) 强火山喷发后1年



(b) 强火山喷发后2年

图5 强火山喷发后1~2年黑龙江省1—12月降水量距平

表 8 强火山喷发后 1~2 年黑龙江省四季、生长季降水距平

项目	1964 <sup>*</sup>	1981 <sup>*</sup>	1983 <sup>*</sup>	1992 <sup>*</sup>	2012 <sup>*</sup>	1965 <sup>**</sup>	1984 <sup>**</sup>	1993 <sup>**</sup>	2013 <sup>**</sup>
春季/%	-39	13	72	-34	-3	-39	0	-37	15
夏季/%	12	31	2	-4	2	13	19	8	32
秋季/%	-28	-9	7	8	95	-2	2	47	32
冬季/%	-43	10	2	30	53	-14	38	10	-24
生长季/%	0	22	4	-4	13	6	14	7	25

注: \* 为火山喷发后 1 年, \*\* 为火山喷发后 2 年。

表 9 汤加火山喷发年及后 1 年黑龙江省四季、生长季降水距平

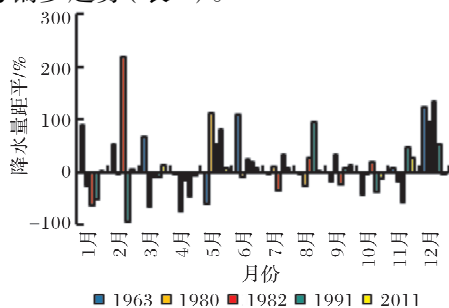
项目	2009	2014	2015	2019	2021	2010 <sup>*</sup>	2016 <sup>*</sup>	2020 <sup>*</sup>
春季/%	-25	38	28	37	13	62	44	6
夏季/%	28	-6	1	51	17	-8	-11	27
秋季/%	-22	17	-15	0	30	-36	60	108
冬季/%	92	83	66	35	1	77	-6	-3
生长季/%	13	12	4	49	39	-5	10	43

注: \* 为火山喷发后 1 年。

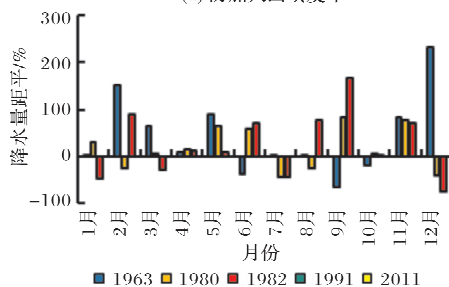
强火山喷发后 1 年, 夏季、冬季、生长季降水以偏多为主导趋势, 春季、秋季则出现 2~3 年负距平。强火山喷发后 2 年, 夏季、秋季、生长季降水总体偏多, 而春季和冬季出现 2 年负距平(表 8)。

### 2.2.2 汤加火山喷发年份降水分析

汤加火山喷发 5 年降水量正距平月份多于负距平月份, 偏多 19.2%, 2014 年负距平月份最多, 占全年 66.7%, 其它年份 25.0%~50.0% 的月份出现负距平, 4 月出现 5 年负距平, 10 月出现 4 年负距平, 1 月、3 月出现 3 年负距平, 其它月份出现 0~2 年负距平(图 6a)。汤加火山喷发后 1 年正距平月份较负距平月份偏多 109.1%, 每年 25.0%~33.3% 的月份出现负距平, 7 月、12 月出现 2 年负距平, 其它月份出现 0~1 年负距平(图 6b)。汤加火山喷发 5 年中 0~2 个季节出现负距平, 生长季降水量均偏多。汤加火山喷发后 1 年中的 1~2 个季节出现负距平, 生长季降水量为偏多趋势(表 9)。



(a) 汤加火山喷发年



(b) 汤加火山喷发后 1 年

图 6 汤加火山喷发年及后 1 年黑龙江省 1—12 月降水量距平

## 2.3 火山喷发年份灾害发生特征

### 2.3.1 低温冷害

强火山喷发年黑龙江省  $\Delta T_{5-9} > 0$ , 均未发生低温冷害; 强火山喷发后 1 年中 1964 年、1981 年、1983 年发生严重低温冷害, 1992 年  $\Delta T_{5-9}$  为 -1.0, 未达到低温冷害程度, 为低温年, 2012 年  $\Delta T_{5-9} > 0$ , 未发生低温冷害; 强火山喷发后 2 年中仅 1965 年发生轻度低温冷害, 其它年份  $\Delta T_{5-9} > 0$ (图 7)。由此可见, 强火山喷发年黑龙江省低温冷害发生频率为 0%, 强火山喷发后 1 年低温冷害发生频率较大, 为 60%, 强火山喷发后 2 年低温冷害发生频率为 20%。

汤加火山喷发年均未达到低温冷害标准, 其中 2009 年和 2019 年  $\Delta T_{5-9} < 0$ , 为低温年, 2014 年、2015 年、2021 年为正常或高温年; 汤加火山喷发后 1 年均为正常或高温年(图 7)。可见在汤加火山喷发年及次年, 黑龙江省发生低温冷害频率为 0%。

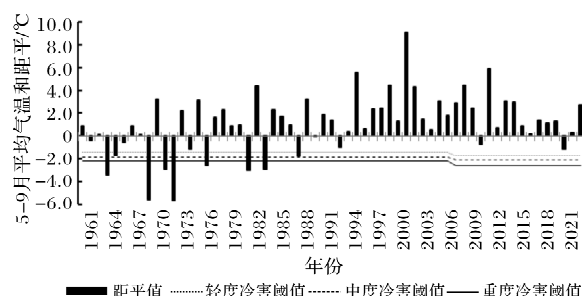


图 7 黑龙江省 5—9 月平均气温和距平

由图 8a 至图 8f 可见, 强火山喷发年低温冷害发生频率明显低于历年发生频率; 强火山喷发后 1 年低温冷害发生频率明显高于历年; 强火山喷发后 2 年低温冷害发生频率大部地区低于历年, 西部和东南部部分地区低温冷害发生频率略高于历年。汤加火山喷发年除了个别站点外, 其它地区低温冷害发生频率低于历年平均状况, 汤加火山喷发后 1 年全省低温冷害发生频率均低于历年平均状况。



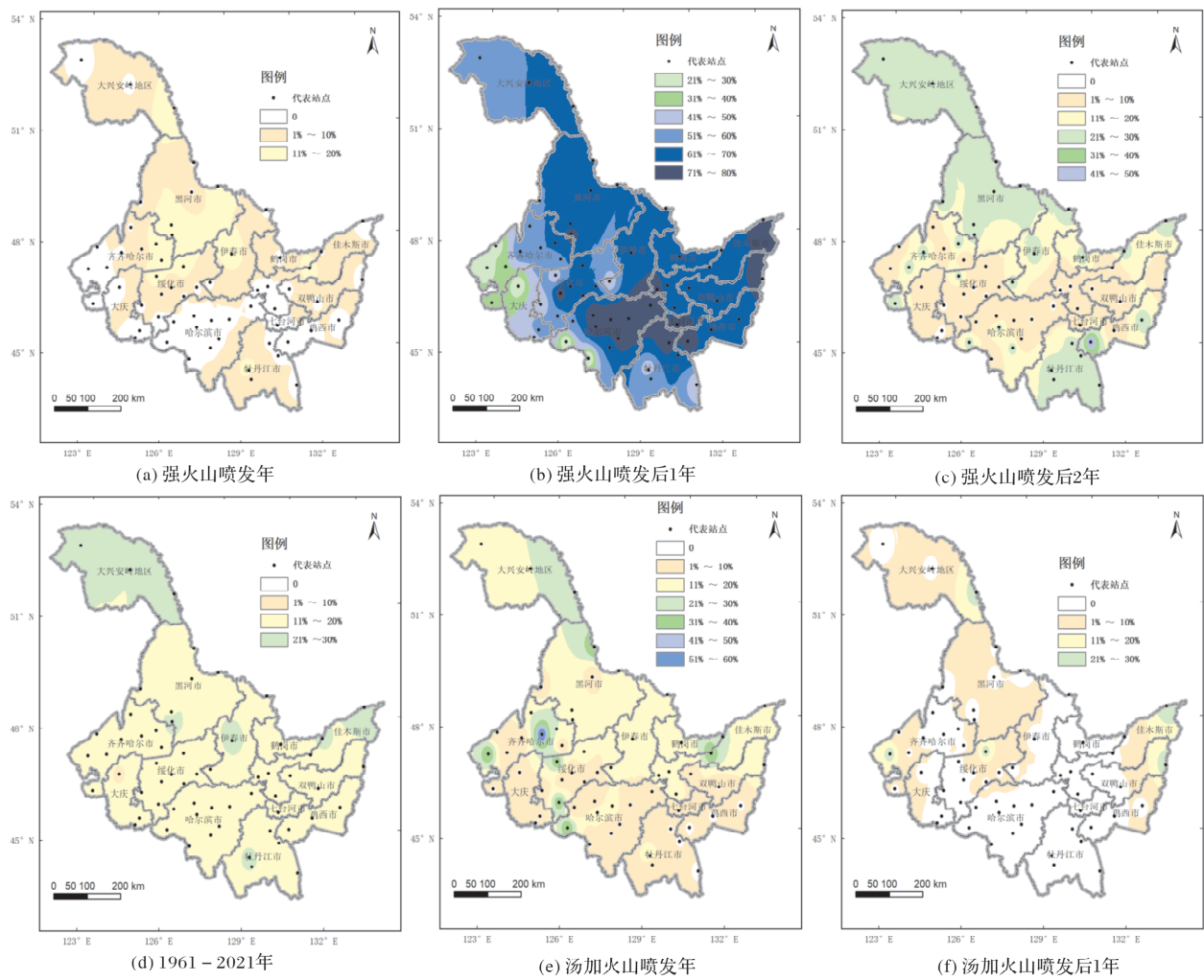


图8 黑龙江省低温冷害发生频率分布图(审图号GS(2017)3320号,底图无修改)

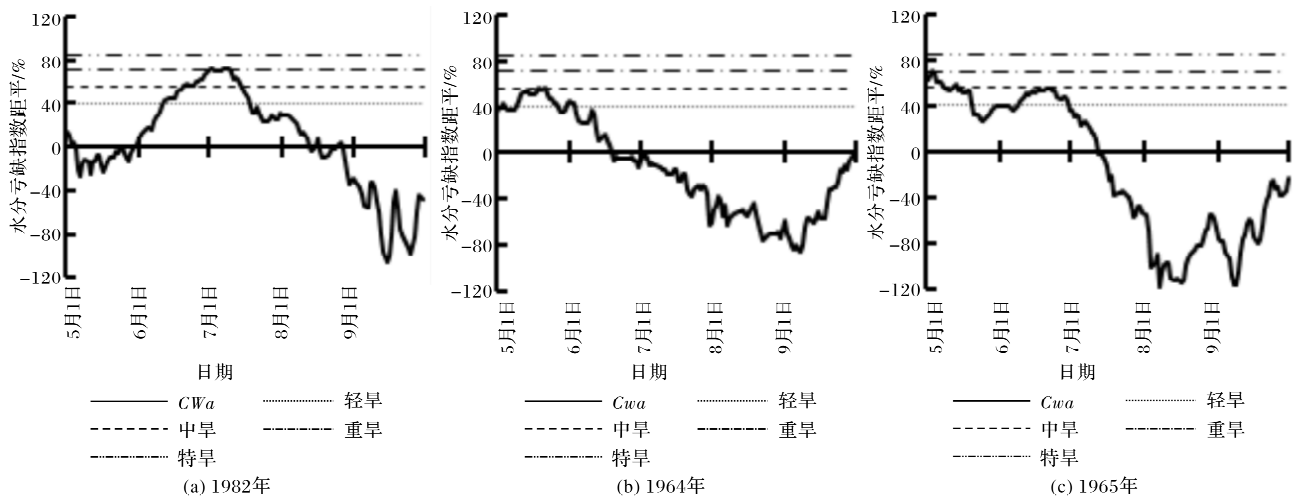


图9 水分亏缺指数距平变化

2.3.2 干旱灾害

从月尺度来看,强火山喷发年、强火山喷发后1~2年黑龙江省发生干旱的月份较少,其中强火山喷发年1982年6月、7月出现轻旱,其发生频率为20.0%,分别较1961—2021年同期偏高15.0%、18.0%;强火山喷发后1年的1964年5

月份发生轻旱,发生频率为20.0%,比1961—2021年同期偏高10.0%;强火山喷发后2年的1965年5月、6月达到轻旱等级,发生频率为20.0%,分别较1961—2021年同期偏高10.0%、15.0%。进一步分析干旱日变化发现,1982年主要为夏季干旱,6月12日—7月17日作物水分亏

缺指数距平大于40.0%,持续干旱,其中6月30日—7月9日大部时段为重旱,最大值高达72.0%,旱情严重;1964年为春旱,5月4日—6月4日大部时段作物水分亏缺指数距平大于40.0%,但未达到重旱程度,干旱持续时间及影响程度明显弱于1982年;1965年为春旱和初夏旱,5月1—20日及5月31日—6月29日大部时段作物水分亏缺指数距平大于40.0%,干旱持续时间较长,其中5月3日达到重旱等级,最大值为70.0%,干旱影响程度弱于1982年,强于1964年(图9)。在生长季尺度上,强火山喷发年、强火山喷发后1年、强火山喷发后2年黑龙江省均未发生干旱。汤加火山喷发的5年及喷发后1年各月及生长季均未达到干旱程度。

### 3 讨论

本文研究结果表明强火山喷发后1年黑龙江省生长季温度呈现低温特征,夏季低温明显,低温冷害发生概率大,程度重,这与李平原等<sup>[4]</sup>、李明启等<sup>[11]</sup>、聂文政等<sup>[14]</sup>、WOOKDS等<sup>[18]</sup>研究结果一致,大量研究已明确造成低温的原因,即强火山喷发导致大量硫化物气体与水蒸汽进入平流层,半年至一年后逐渐转化形成气溶胶,大量的气溶胶扩散至周围区域甚至全球,反射和折射太阳辐射,进而使太阳对地表的直接辐射量减少,导致地表温度降低,低温多发生在强火山喷发后1年<sup>[4-5,19]</sup>。另外,本文分析表明强火山喷发后2年低温冷害发生概率不确定性较大,与李靖等<sup>[20]</sup>研究的强火山喷发后地面温度偏低持续1~3年略有差别,分析其原因,由于火山喷发对温度影响随时间、空间不同而存在差异,火山喷发对其附近的温度影响较明显<sup>[20]</sup>,而黑龙江省距离强火山较远,因此低温影响时间与全球平均状况存在差异。本研究还表明强火山喷发年、汤加火山喷发年和后1年,生长季温度呈现正常或偏高特征,低温冷害发生概率小,这与WIGNALL<sup>[21]</sup>研究结论相吻合,其分析指出火山喷发造成大气圈CO<sub>2</sub>浓度增加,引起温室效应,而强火山喷发短时间内以及低级别火山喷发并不能形成大范围气溶胶,因此不会造成低温,而温室效应却导致气温升高。

本研究中强火山喷发年、喷发后1~2年降水量及干旱趋势与张先恭等<sup>[9]</sup>研究结果相近,与张富国等<sup>[22]</sup>研究的强火山喷发对华北地区旱涝影响差异较大,已有研究结果显示世界不同火山区域强火山喷发对我国华南地区旱涝影响亦不同,甚至相反<sup>[23]</sup>。从目前有限数据分析结果来看,强火山喷发对黑龙江省降水、旱涝影响及影响幅度存在不确定性。

### 4 结论

(1)强火山喷发年温度正常或偏高,作物生长季热量条件较好;强火山喷发后1年,生长季温度呈现低温特征,夏季低温明显,初霜冻提前,但无霜期有增加趋势;强火山喷发后2年,生长季温度呈现正常偏高特征,春季、冬季温度表现为低

温特征,初霜冻正常或提前,无霜期有增加趋势。汤加火山喷发年和后1年,生长季温度正常或偏高,初霜冻正常或提前,无霜期有增加趋势。

(2)强火山喷发年春季降水略多,夏季、冬季、生长季降水呈现偏少趋势,作物生长期水分条件略差;强火山喷发后1~2年,生长季降水充足,夏季有偏多趋势。汤加火山喷发年和后1年,月降水量分布不均,生长季总降水量呈现偏多趋势。

(3)强火山喷发年黑龙江省发生低温冷害概率小;强火山喷发后1年低温冷害发生概率大,程度重;强火山喷发后2年低温冷害发生存在不确定性,西北局部和东南局部发生低温冷害的概率略呈增加趋势,其它地区持平或呈减少趋势。在汤加火山喷发年及后1年,黑龙江省未发生低温冷害。

(4)强火山喷发年6月、7月发生干旱的概率增加,干旱发生程度较重;强火山发生后1年,5月发生干旱概率增加;强火山发生后2年,5月、6月发生干旱概率增加;汤加火山喷发年及后1年发生干旱概率低。

(5)受数据量限制,本文研究结果普适性仍需进一步验证,后期应继续收集火山喷发相关信息,结合气象数据、相关模拟模型进行深入研究。

### 参考文献:

- [1] 郭正府,刘嘉麒.火山活动与气候变化研究进展[J].地球科学进展,2002,17(4):595-604.
- [2] 陈幸荣,张志华,蔡怡.近百年气候变化及可能的自然影响因素研究进展[J].海洋预报,2013,30(1):78-85.
- [3] KELLY P M, SEAR C B. Climatic impact of explosive volcanic eruptions [J]. Nature, 2003, 4(24): 271-276.
- [4] 李平原,刘秀铭,刘植,等.火山活动对全球气候变化的影响[J].亚热带资源与环境学报,2012,7(1):83-88.
- [5] ROBOCK A. The Mount St. Helens volcanic eruption of 18 may 1980; minimal climatic effect [J]. Science, 1981, 212: 1383-1384.
- [6] ROBOCK A. climatic model simulations of the effect of the El Chichon eruption [J]. Geofisica Internacional, 1984, 23(3): 403-414.
- [7] 李晓东,王绍武,黄建平.火山活动对气候影响的数值模拟研究[J].应用气象学报,1994,5(1):90-97.
- [8] 费杰.公元1600年秘鲁 Huaynaputina 火山喷发在中国的气候效应[J].灾害学,2008,23(2):65-70.
- [9] 张先恭,张富国.火山活动与我国旱涝、冷暖的关系[J].气象学报,1985,43(2):196-207.
- [10] 于革,刘健.全球12 000aBP以来火山爆发记录及对气候变化影响的评估[J].湖泊科学,2003,15(1):11-20.
- [11] 李明启,邵雪梅.基于树轮资料初探过去千年强火山喷发与青藏高原东部温度变化关系[J].地球科学进展,2016,31(6):634-642.
- [12] 胡昌新.火山喷发对长江流域干旱影响初探[J].水资源研究,2011,32(4):29-31.
- [13] 蒋姗姗.近540年强火山喷发对中国地区降水的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [14] 聂文政,李明启.树轮数据揭示的强火山喷发对青藏高原地区气候的影响[J].应用生态学报,2021,32(10):3771-3780.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准管理委员会.北方水稻低温冷害等级:GB/T 34967—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准管理委员会.农业干旱等级:GB/T 32136—2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [17] 张强,邹旭恺,肖风劲,等.气象干旱等级:GB/T 20481—2006[S].北京:气象出版社,2006.
- [18] WOODS A W. A model of plumes above basaltic fissure eruptions

- [J]. *Geophys Res Lett*, 1993, 20: 1115 – 1118.
- [19] 贾朋群, 石广玉. 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*, 2001, 20(3): 225 – 233.
- [20] 李靖, 张德二. 火山活动对气候的影响[J]. *气象科技*, 2005, 33(3): 193 – 198.
- [21] WIGNALL P B. Large igneous provinces and mass extinction [J]. *Earth – Science Reviews*, 2001, 53: 1 – 33.
- [22] 张富国, 张先恭. 强火山爆发与我国华北地区夏季旱涝的关系[J]. *灾害学*, 1994, 9(2): 69 – 73.
- [23] 张富国, 张先恭. 世界不同区域火山爆发与我国华南夏季旱涝的关系[J]. *灾害学*, 1993, 8(2): 63 – 67.

## Preliminary Study on the Characteristics of Temperature, Precipitation and Main Disasters in Heilongjiang Province in the Years of Volcanic Eruption Since 1961

YAN Ping<sup>1</sup>, WANG Qiuqing<sup>1</sup>, LI Yongsheng<sup>2</sup>, CAO Lei<sup>3</sup>, CHU Zheng<sup>1</sup>,  
LIU Dan<sup>1</sup>, ZHAI Mo<sup>1</sup>, JINAG Lixia<sup>1</sup>

(1. *Heilongjiang Province Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China;*

*2. Heilongjiang Climate Center, Harbin 150030, China;*

*3. Harbin Meteorological Station, Harbin 150028, China)*

**Abstract:** The impacts of strong volcanic eruption on climate are complex. The impact of strong volcanic eruption and Tonga volcanic eruption on temperature, precipitation, cold damage and drought in Heilongjiang Province is studied in order to provide reference for agricultural disaster prevention and reduction and food security. Based on the observation data from 80 meteorological stations from 1961 to 2021 in Heilongjiang province, by using the indicators of accumulated average temperature anomaly index from May to September and water deficiency index anomaly for assessment of cold damage and drought separately, we analyze the effects of strong volcanic eruption and Tonga volcanic eruption on temperature, precipitation, cold damage and drought by mathematical statistical method and typical year analysis in Heilongjiang Province. The results show that: (1) One year after the strong volcanic eruption, the temperature in the growing season presented the characteristics of low temperature, and the occurrence probability of cold damage was high and the degree was serious in the study area; In the year of strong volcanic eruption and 2 years after the eruption, the temperature in the growing season was normal or high. The probability of cold damage in the year of strong volcanic eruption was small, and there was uncertainty in the probability of low – temperature cold damage in 2 years after strong volcanic eruption; (2) The precipitation in the growing season of strong volcanic eruption showed a trend of less, the probability of drought in June and July increased, and the degree of drought was relatively serious; From 1 to 2 years after strong volcanic eruption, there was sufficient precipitation in the growing season. The probability of drought increases in May from 1 year after strong volcanic eruption, and in May and June from 2 years after strong volcanic eruption; (3) In the years with low eruption level of Tonga volcano and the last 1 year, the temperature in the growing season was normal or high, the total precipitation in the growing season showed a tendency of more, and the probability of cold damage and drought was low.

**Keywords:** volcanic; years of volcanic eruption; cold damage; drought; Heilongjiang