

徐金勤,邱新法,曾 燕,等. 浙江茶叶春霜冻害的气候变化特征分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(22):101–105.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.22.022

# 浙江茶叶春霜冻害的气候变化特征分析

徐金勤<sup>1</sup>, 邱新法<sup>1</sup>, 曾 燕<sup>2</sup>, 施国萍<sup>3</sup>, 韦翔鸿<sup>4</sup>

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 2. 江苏省气候中心, 江苏南京 210009;  
3. 南京信息工程大学地理与遥感学院, 江苏南京 210044; 4. 江苏省丹阳市气象局, 江苏丹阳 212300)

**摘要:**利用浙江省 62 个气象站 1971—2016 年的日最低气温观测资料,借助数理统计方法和 ANUSPLIN(专用气候数据空间插值软件)平台,从气候致灾角度,探讨浙江省茶叶早春霜冻发生日数、频率和强度的时空变化特征。结果表明:1971—2016 年浙江省茶叶春霜冻总日数以  $-0.92\text{ d}/10\text{ 年}$  的倾向率显著降低,1996 年出现突变,但在 1997—2016 年又呈现增加趋势。霜冻日数的空间分布总体表现为北多南少,由东南向西北递增的趋势,其纬向和地形地势特征明显。浙江省茶叶春霜冻气候发生频率普遍较高,除东南沿海和金衢盆地,浙江省大部分地区发生霜冻的频率高达 95% 以上,且轻度霜冻发生频率明显大于中、重度霜冻。各等级霜冻强度影响最大的区域均位于浙西北、中东部的山地丘陵区,而浙东南沿海地区的强度较低。研究可为浙江省应对茶叶春霜冻害、区域防灾减灾以及农业保险理赔等提供理论依据。

**关键词:**茶叶;春霜冻;ANUSPLIN;气候变化特征

**中图分类号:**S425 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2018)22–0101–05

茶树作为中国的一种特色经济作物,其栽培历史悠久,具有较高的经济价值和生态效应。浙江省地处中国东南沿海的亚热带季风气候区,其充足的光温水等气候资源为茶叶生产创造了优越的环境。浙江除海岛以外的各个地区基本上都有茶树栽培,是中国绿茶的主要生产基地<sup>[1]</sup>。其中,春茶是浙江茶农的主要收入来源之一,并且近年来浙江各地早生品种茶叶的种植面积不断扩增<sup>[2]</sup>。但是,浙江省由于地处中低纬度的过渡地带,加上地形复杂多样,早春季节经常会遭受大面积的霜冻灾害和区域性极端冻害,这就导致其早春茶叶的品质和产量下降,经济损失加大。在全球变暖的背景下,研究浙江省早春茶叶春霜冻害的时空演变规律,对于其茶叶生产布局的合理规划和发展具有重要的现实意义。

目前,关于浙江茶叶春霜冻害特征的研究相对较少,现有的研究<sup>[3–4]</sup>中也仅从霜冻日数上分析茶叶春霜冻害的发生规律。为此,本研究利用 1971—2016 年浙江全省 62 个气象站的日最低气温观测资料,构建霜冻强度指数,逐站统计和计算茶叶春霜冻害发生的日数、频率和强度,详细分析以上 3 个气候致灾因子的分布特征和变化趋势,并基于 ANUSPLIN(专用气候数据空间插值软件)引入海拔高程项,以此体现霜冻强度随地形变化的特征。研究结果可为浙江省制定茶叶春霜冻害防御措施、区域结构调整和决策以及农业保险理赔等提供一定的科学依据。

收稿日期:2017–07–27

基金项目:国家自然科学基金(编号:41330529);中国气象局气候变化专项(编号:CCSF201411)。

作者简介:徐金勤(1995—),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为农业气象灾害与防灾减灾。E-mail:xujinqin0307@163.co。

通信作者:邱新法,博士,教授,主要研究方向为农业气象灾害与防灾减灾、应用气象等。E-mail:xfqiu135@nuist.edu.cn。

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

浙江省( $27^{\circ}03' \sim 31^{\circ}11'N$ ,  $118^{\circ}02' \sim 123^{\circ}08'E$ )地处中国东南沿海,地形复杂多样,以山地和丘陵居多,约占全省面积的 70.4%,平原和盆地次之,占 23.2%,河流和湖泊占 6.4%,耕地面积仅为 208.17 万  $\text{hm}^2$ ,故有“七山一水两分田”之说<sup>[5]</sup>。境内地势由东南向西北倾斜,西北部以中山丘陵居多,西南山地高峻,谷地幽深,主要山峰海拔高达千米以上,中部多为盆地,东部丘陵广布,东北部和东南沿海以平原为主。浙江地属亚热带季风气候区,四季分明,年气温适中,光照较多,雨量丰沛,空气湿润,为茶叶生长提供了优越的条件。

### 1.2 数据

气象资料来源于浙江省气候中心,为浙江省 62 个基本气象站 1971—2016 年逐日最低气温观测资料,包括各站点的经纬度、海拔等地理属性数据,气象站点分布见图 1。地理信息数据包括浙江省行政区划和分辨率为  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  的数字高程模型(digital elevation model,简称 DEM)数据。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 茶叶春霜冻等级指标** 早春(3、4 月)气温回升较快,浙江省茶叶正处于生长期,此时大幅度降温将会对茶叶生长造成很大的危害。本研究基于前人研究成果<sup>[3–6]</sup>,结合实际调研考察情况,将 3、4 月日最低气温( $T_{\min}$ ) $\leq 4^{\circ}\text{C}$  定义为茶叶春霜冻指标,并将其划分为 3 个等级:轻度霜冻( $2^{\circ}\text{C} < T_{\min} \leq 4^{\circ}\text{C}$ )、中度霜冻( $0^{\circ}\text{C} < T_{\min} \leq 2^{\circ}\text{C}$ )、重度霜冻( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ )。根据霜冻指标统计茶叶早春霜冻发生日数,利用线性倾向估计法<sup>[7]</sup>分析其变化趋势,并采用累计距平法与滑动  $t$  检验<sup>[7–8]</sup>计算茶叶春霜冻日数的气候突变点。

**1.3.2 基于 ANUSPLIN 的气象要素插值** ANUSPLIN 是一款专门针对气候数据曲面拟合的软件<sup>[9]</sup>,其基于薄盘光滑样

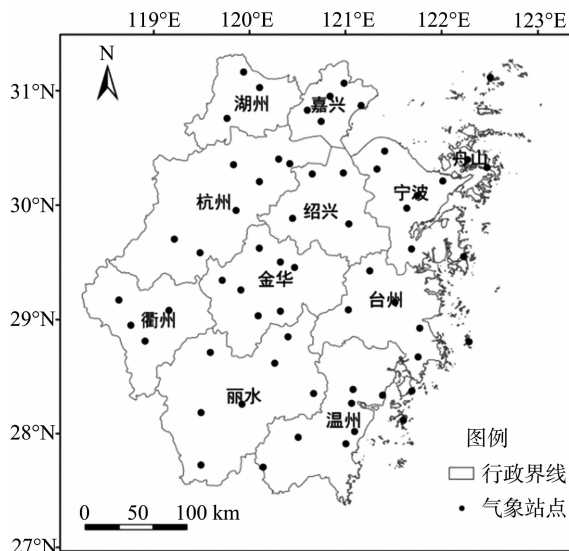


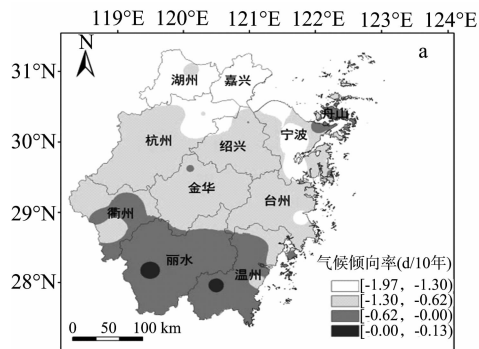
图1 浙江省气象站点分布

条理论,同时允许引进多元协变量线性子模型。同其他插值方法相比,ANUSPLIN 可以较好地提高气象要素的插值精度,并能够反映气象要素随其影响因子的变化关系<sup>[10-11]</sup>。本研究基于 ANUSPLIN 平台,引入海拔高程作为协变量,对日最低气温进行插值处理。

1.3.3 霜冻发生频率和强度 将每年早春霜冻日数 $\geq 1$  d 视为有霜冻发生的年份,则各等级春霜冻发生频率计算公式如下:

$$P_i = \frac{n_i}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $i$  表示霜冻等级, $P_i$  表示各级霜冻发生的频率, $n_i$  表示各级早春霜冻次数 $\geq 1$  的年数, $N$  为资料总年数。



本研究以最低气温表示霜冻强度,同一霜冻等级下最低气温越低表示其强度越强<sup>[12]</sup>。为了统一规范和便于分析,定义霜冻强度指数(AT)如下:

$$AT = \frac{(I - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})} \quad (2)$$

其中:

$$I = \frac{1}{T_{\min}} \quad (3)$$

式中: $T_{\min}$  表示日最低气温( $^{\circ}\text{C}$ ), $I$  表示日最低气温的倒数( $^{\circ}\text{C}$ ), $I_{\max}$  和  $I_{\min}$  分别表示日最低气温倒数的最大值( $^{\circ}\text{C}$ )和最小值( $^{\circ}\text{C}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶叶春霜冻日数的时间变化分析

2.1.1 气候趋势分析 由图 2-a 可见,浙江省春霜冻日数的气候倾向率为 $(-1.97 \sim 0.13)$  d/10 年,说明浙江省春霜冻日数大都呈现下降趋势。除丽水和温州部分地区呈现略微增加趋势外,浙江省大部分地区霜冻日数的气候倾向率为负值,其降低趋势由南向北增大,其中变化趋势最大的地区位于湖州、嘉兴以及宁波和杭州的部分地区,气候倾向率低于 $-1.30$  d/10 年;衢州、丽水和温州等浙南地区,以及舟山附近沿海地区的变化趋势较小,气候倾向率为 $(-0.62 \sim 0.13)$  d/10 年。此外,有近 63% 的站点通过了 0.05 的显著性检验,除湖州、嘉兴、杭州、绍兴和宁波西部以及台州和金华中东部地带通过了 0.05 的显著性检验外,浙江省其他地区霜冻日数的变化趋势并不显著(图 2-b)。就浙江省平均而言,1971—2016 年春霜冻日数以  $-0.92$  d/10 年的趋势极显著降低( $P < 0.01$ ),46 年间浙江省早春霜冻日数平均降低了 4.23 d。

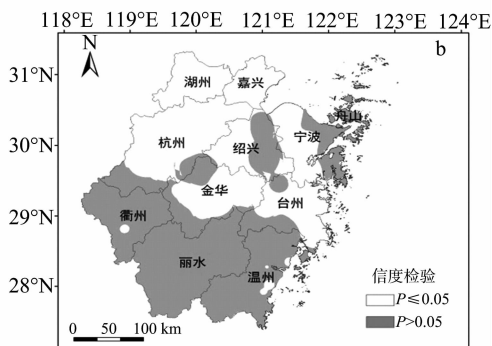


图2 浙江省春霜冻日数变化趋势的空间分布(a)及通过信度检验的区域分布(b)

2.1.2 年际变化 由图 3 可见,1971—2016 年浙江省春霜冻总发生日数随时间呈振荡式变化,在 1996 年过渡至 1997 年时,霜冻日数出现了急剧下降现象。近 46 年来,浙江省春霜冻日数总体表现为下降趋势,以 1996 年为界,1971—1996 年的平均春霜冻日数明显高于 1997—2016 年,但从变化趋势来看,1997 年之后的霜冻日数又呈现出增加趋势( $1.35$  d/10 年),尤其是 2005 年的春霜冻总日数达到了 11 d。

2.1.3 突变分析 由图 4-a 可见,浙江省春霜冻日数的累计距平值在 1971—1996 年振荡式上升,在 1997—2016 年波动式下降,于 1996 年出现累计距平的最大值。由滑动  $t$  检验

(图 4-b)可知,浙江省总春霜冻日数在 1996 年发生了显著突变,从一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期。由上述分析可知,累计距平法与滑动  $t$  检验法均表明在 1996 年浙江省早春霜冻日数发生突变。突变前(1971—1996)的平均年霜冻日数为 7.97 d,突变后(1997—2016)的平均年霜冻日数为 5.08 d,较突变前降低了 2.89 d(图 3)。

### 2.2 茶叶春霜冻日数的空间分布

由图 5-a、图 5-b、图 5-c 可见,轻度霜冻发生的日数明显比其他 2 个级别要高,霜冻日数北多南少,浙北大部分地区以及温州西南部的霜冻日数平均每年达 3.65 d 以上,丽水

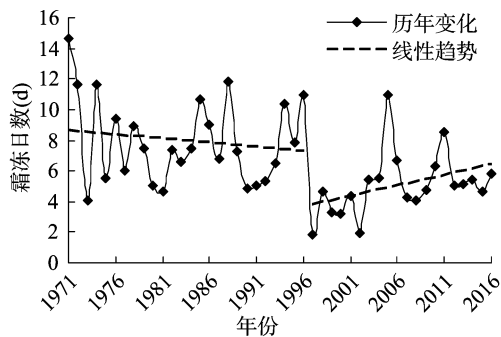


图3 1971—2016 年浙江省春霜冻日数的年际变化

的中南部和温州地区的霜冻日数较低,平均低于 2.64 d/年。中度霜冻日数的分布与轻度霜冻基本一致,高值区位于浙北,年平均不低于 2.04 d,低值区主要位于温州和丽水中东部地

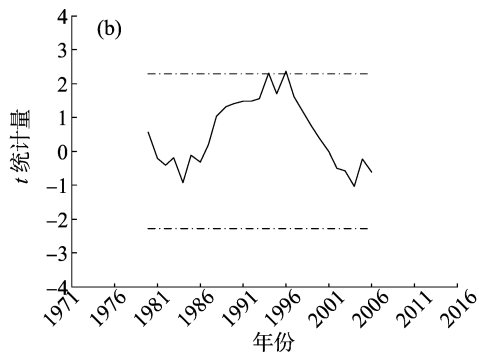
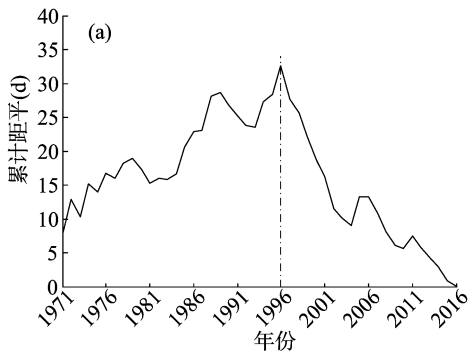


图4 1971—2016 年浙江省春霜冻日数的累计距平图(a)与滑动  $t$  检验图(b)

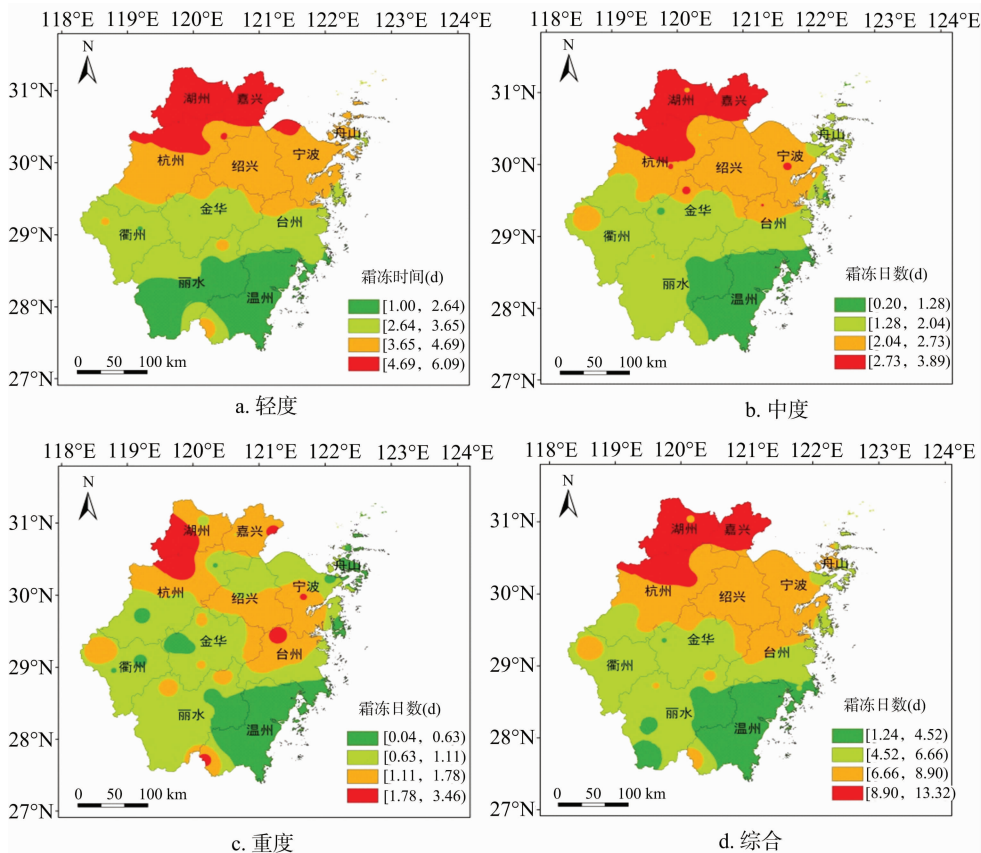


图5 浙江省茶叶各等级春霜冻日数的空间分布

区,其霜冻日数年平均低于 1.28 d。重度霜冻日数的高值区主要分布在浙西北部和浙中东部的高山、丘陵地带,以及温州西南部的南雁荡山区域,在这些地区平均每年发生重度霜冻达 1.11 d 以上,温州以及金衢盆地的霜冻日数较低,年均低于 0.63 d。

从总霜冻日数的空间分布来看(图 5 - d),霜冻日数北多南少,由东南向西北递增,这种分布体现了其纬度和地形地势的分布特征。其中,高值区主要分布在浙北和浙中东部地区,尤其是纬度和海拔均较高的西北地区,平均每年的霜冻总日数达到了 8.90 d 以上;在纬度较低的温州西南部也出现了一个相对高值区,平均每年达 6.66 d 以上,这主要是由于其地处南雁荡山区域,海拔相对较高所致。低值区主要分布在温州以及丽水西南部,平均每年霜冻日数低于 4.52 d。

2.3 茶叶春霜冻发生频率的空间分布

由图 6 可见,浙江全省轻度霜冻发生的频率在 54% 以上,其中大部分地区的频率达到 87% 以上,说明浙江全省遭受轻度霜冻的历史频率普遍较高。中度霜冻发生的频率以温州沿海地区最低,在 51% 以下,而在浙北和浙中的大部分地区,霜冻频率高达 81% 以上。重度霜冻发生频率的空间分布总体表现为北高南低、从东南向西北增大的趋势,低值区主要

集中在浙南以及金衢盆地,频率低于 38%,浙北、浙中东部及温州西南部地区较高,在 72% 以上。

以  $T_{min} \leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  为茶叶春霜冻综合指标,统计浙江省 1971—2016 年霜冻发生的频率,如图 6-d 所示,温州沿海地区以及金衢盆地部分地区的频率相对较低,在 86% 以下,除此之外的大部分地区高达 95% 以上。

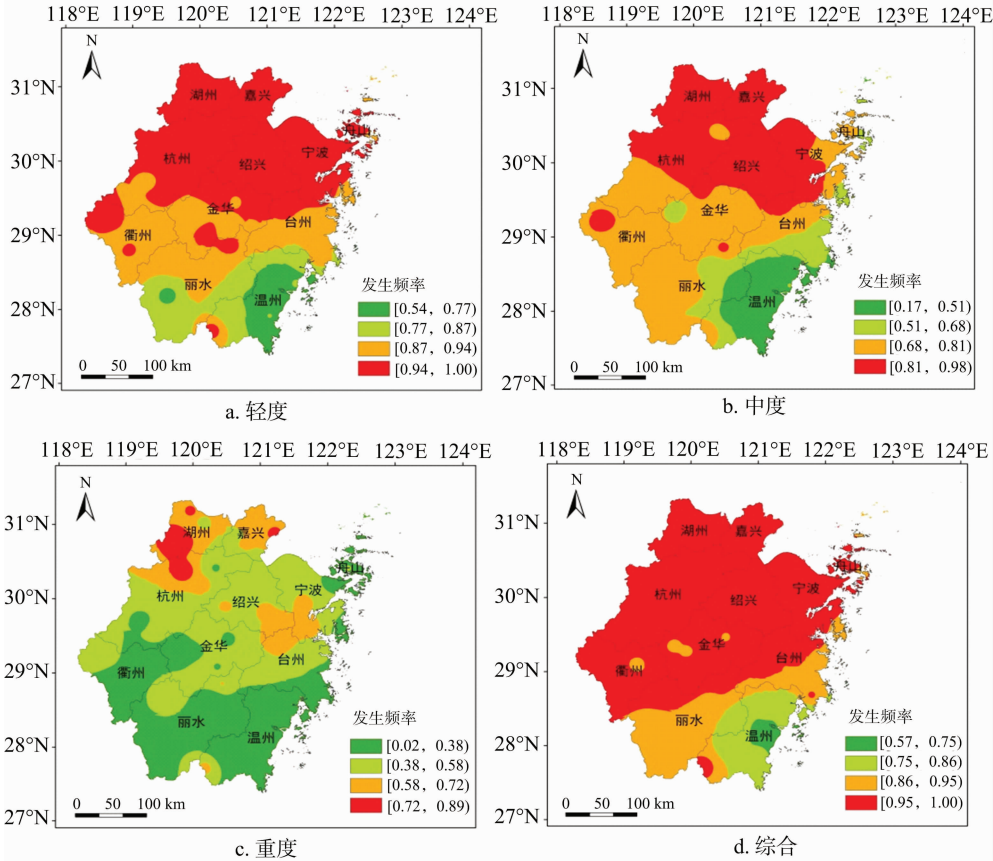


图6 浙江省春霜冻发生频率的空间分布

2.4 茶叶春霜冻强度的空间分布

基于 ANUSPLIN 对最低气温插值,借助前面介绍的数理方法,得到如图 7 所示的浙江省茶叶各等级春霜冻强度指数精细化分布空间图。

由图 7-a 可见,浙江省茶叶轻度霜冻强度整体表现为北

高南低的趋势,强度较大的区域主要集中在浙西北、中东部地区以及衢杭西部高山区,强度指数达 0.81 以上;在湖州和嘉兴北部、金衢盆地、丽水西南山区、温州丘陵地带,其强度指数为 0.65~0.81;低值区主要分布在浙南和金衢盆地部分地带,强度指数低于 0.53。

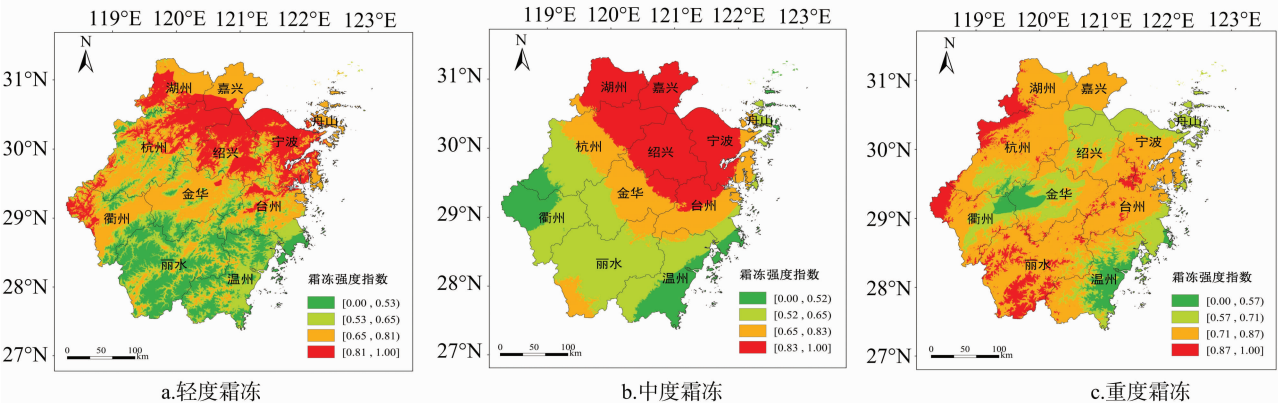


图7 浙江省茶叶春霜冻强度指数分布

由中度霜冻强度指数的空间分布(图 7-b)可见,其强度指数较大值主要分布在浙江西北部和中东部地区,高达 0.83 以上;丽水西南部存在 1 个相对高值区,其强度指数为 0.64~0.83;浙江省东南部以及衢州西北部的强度指数相对较低,在 0.52 以下。

由图 7-c 可见,重度霜冻的强度指数整体偏大,较低值仅分布在温州东南沿海地区、金衢盆地以及绍兴、宁波北部的平原地带,其中温州东南沿海和金衢盆地部分地区的强度指数最低,在 0.57 以下;除此之外的大部分地区其强度指数均高达 0.71 以上,尤其是浙西北和衢州西北部中山区、中东丘陵区以及浙南高山区,其强度指数不低于 0.87,且部分山脉地区的强度指数高达 0.93 以上。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

在全球变暖的背景下,1971—2016 年浙江省平均茶叶春霜冻总日数以  $-0.92 \text{ d}/10$  年的倾向率极显著降低( $P < 0.01$ ),在 1996 年出现突变,从一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期。其中,1971—1996 年的平均霜冻日数为 7.97 d,1997—2016 年的霜冻日数呈现上升趋势( $1.35 \text{ d}/10$  年),平均霜冻日数为 5.08 d,较突变前降低了 2.89 d。

浙江省近几十年春霜冻日数的空间分布总体表现为北多南少,由东南向西北递增的趋势。轻度霜冻发生的日数比其他 2 个级别要高,各等级霜冻日数的空间分布基本一致,其中高值区主要分布在浙北和浙中东部地区的高山、丘陵地带,低值区集中分布在浙东南以及金衢盆地,这种分布体现了其纬度和地形地势特征。

总体来看,浙江省茶叶春霜冻害发生频率普遍较高,除东南沿海以外,浙江省大部分地区发生霜冻的频率高达 95% 以上。低、中度春霜冻发生频率的空间分布与综合春霜冻一致,其中,轻度霜冻发生频率相对较高,全省皆在 54% 以上;重度霜冻发生频率相对较低,空间分布总体表现为北高南低,从东南向西北增大的趋势,低值区主要集中在浙南以及金衢盆地,频率低于 38%,浙北和浙中东部及温州西南部地区较高,在 72% 以上。

浙江省茶叶重度春霜冻的强度整体偏大,除温州东南部、金衢盆地以及绍兴、宁波北部的平原地带,大部分地区的强度均高达 0.71 以上;低、中等级霜冻强度的高值区均集中位于浙西北、中东部的山地丘陵地带,而浙东南沿海地区的强度较低。

#### 3.2 讨论

众多学者研究认为,中国霜冻日数表现为一致的下降趋势<sup>[13-14]</sup>。本研究也表明,近 46 年来浙江省早春霜冻日数总体表现为下降趋势,但是其霜冻日数在 1997 年之后又呈现出增加趋势。此外研究表明,霜冻日数与最低气温之间存在极为密切的关系<sup>[15]</sup>,在全球变暖的大背景下,浙江省 1971—2016 年的最低气温随时间持续上升,但霜冻日数对其变化的响应却呈现出阶段性不同,这是一个非常值得关注和探讨的问题。同时这也说明浙江省的茶叶春霜冻预警和防御工作目

前仍需进一步加强,以应对这种春霜冻害的特殊气候响应现象。

本研究基于 ANUSPLIN,引入海拔高程作为协变量对最低气温进行插值,一方面可以提高其插值精度,另一方面,基于最低气温得到的霜冻强度指数可以体现出地形海拔项的作用,进一步提高了结果的真实性和可靠性。总体来看,本研究从气候致灾角度出发,详细分析了浙江省茶叶春霜冻发生日数、频率和强度的时空变化特征,研究结果可为浙江省大尺度的茶叶春霜冻害防御工作提供一定的科学参考。但是,浙江省部分地区的茶叶在春季到来之前已进入开采期,且浙江省南北地区的茶叶开采期也不尽一致,如浙南地区,在 2 月中下旬左右茶叶就已进入开采期,此时发生霜冻也会对茶叶生长造成一定危害。因此,在未来研究中将会进一步考虑茶叶采摘期的问题,以期对茶叶春霜冻害进行更为精准化的气候变化特征评估。

#### 参考文献:

- [1] 蒯志敏,程佳,王建根,等. 影响碧螺春茶叶采摘的天气类型分析[J]. 中国农业气象,2010,31(增刊1):104-106.
- [2] 娄伟平,肖强. 浙江省茶叶生产中的不利气象条件及对策建议[J]. 中国茶叶,2016(10):26.
- [3] 吴杨,金志凤,叶建刚,等. 浙江茶叶春霜冻发生规律及其与太平洋海温的遥相关分析[J]. 中国农业气象,2014,35(4):434-439.
- [4] 胡波,金志凤,严甲真,等. 基于 FastICA 的浙江省茶叶早春霜冻时空分布特征[J]. 中国农学通报,2014,30(10):190-196.
- [5] 金志凤,叶建刚,杨再强,等. 浙江省茶叶生长的气候适宜性[J]. 应用生态学报,2014,25(4):967-973.
- [6] 李仁忠,金志凤,杨再强,等. 浙江省茶叶春霜冻害气象指标的修订[J]. 生态学杂志,2016,35(10):2659-2666.
- [7] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京:气象出版社,2007.
- [8] 符宗斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- [9] Hutchinson M F. ANUDEM version 5.2 user guide[M]. Canberra: The Australia National University, Center for Resource and Environment Studies,2004.
- [10] 刘志红,McVicar T R,Tao L L,等. 基于 ANUSPLIN 的时间序列气象要素空间插值[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(10):227-234.
- [11] 钱永兰,吕厚荃,张艳红. 基于 ANUSPLIN 软件的逐日气象要素插值方法应用与评估[J]. 气象与环境学报,2010,26(2):7-15.
- [12] 李红英,张晓煜,曹宁,等. 宁夏霜冻致灾因子指标特征及危险性分析[J]. 中国农业气象,2013,34(4):474-479.
- [13] 王冀,江志红,丁裕国,等. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学,2008,30(7):1084-1092.
- [14] 杜军,石磊,袁雷. 近 50 年西藏主要农区霜冻指标的变化特征[J]. 中国农业气象,2013,34(3):264-271.
- [15] 陈少勇,郑延祥,楼望萍,等. 中国西北地区初霜冻的气候变化特征[J]. 资源科学,2013,35(1):165-172.