

陶 瑶,黄京平,余焰文,等. 江西省茶叶春霜冻发生的时空演变规律[J]. 江苏农业科学,2020,48(15):158-164.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.15.028

江西省茶叶春霜冻发生的时空演变规律

陶 瑶¹,黄京平¹,余焰文²,刘 丹³,蔡 哲³

(1. 江西省上饶市气象局,江西上饶 334000; 2. 江西省抚州市气象局,江西抚州 344000; 3. 江西省农业气象中心,江西南昌 330096)

摘要:基于江西省茶叶主产区 1961—2019 年早春日最低气温观测资料,运用气候倾向率、Mann-Kendall 突变检验等气候统计诊断方法,分析了近 59 年春霜冻发生的时空演变规律。结果表明,近 59 年江西省茶区平均终霜期南部早于北部,平均春霜日数赣西北出现最多,赣中南出现最少;3 月份发生春霜冻的可能性最高,且以轻度霜冻为主;特晚终霜期均出现在 1997 年之前,偏晚终霜期均出现在 2011 年之前;茶叶春霜冻的长期变化趋势表现为终霜期明显提早,春霜日数显著减少,且变化速率赣东北大于赣西北,赣西北大于赣中南;平均终霜期赣东北、赣西北、赣中南发生突变的年份分布在 1988 年、1996 年、1980 年,平均春霜日数赣东北、赣西北发生突变的年份分别是 1997 年和 2016 年,而赣中南在 95% 的显著性水平下未发生突变。

关键词:茶叶;春霜冻;时空演变;江西省

中图分类号: S425 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)15-0158-07

江西省是我国传统的茶叶大省,2017 年全省茶园面积达 9.87 万 hm^2 ,茶叶总产量为 6.1 万 t。2017 年 12 月,江西省人民政府发布了《关于加快农业结构调整的行动计划》^[1],文件中指出,至 2020 年,全省茶园面积达到 17.33 万 hm^2 ,总产量达到 12 万 t。近年来,随着茶叶产业结构的调整,江西茶叶

生产逐渐转向经济产出较高的名优春茶生产为主。春霜冻(3—4 月)是影响茶叶生长的主要气象灾害之一,对茶叶生产有严重影响^[2-3]。2010 年 3 月发生的持续霜冻导致江西省茶园受灾面积达 3.86 万 hm^2 ,春茶产量损失 0.6 万 t 左右,茶产业直接经济损失高达 3.7 亿元以上^[4],部分地区几近无收。2018 年 4 月上旬春霜冻导致江西省浮梁县春茶减产减收幅度超过 40%^[5],婺源县 50% 以上茶园遭遇不同程度霜冻灾害,直接经济损失约 1.2 亿元^[6]。随着气候变化,春霜冻灾害对江西省茶产业的健康发展产生了威胁,因此,了解和掌握春茶霜冻的发生规律,对保障茶叶安全生产具有十分重要

收稿日期:2020-03-28

基金项目:上饶市气象局科研项目“茶叶气候品质评价技术研究”。

作者简介:陶 瑶(1992—),女,江西萍乡人,硕士,助理工程师,主要从事农业气象服务与研究。E-mail:1240447330@qq.com。

通信作者:蔡 哲,硕士,高级工程师,主要从事气象灾害监测与评价研究。E-mail:caizheread@163.com。

[13]邢彩云,王 震,马 东,等. 河南郑州葡萄炭疽病的发生及防治措施[J]. 果树,2017(6):313-314.

[14]费关键,王西会,贾春雷,等. 葡萄炭疽病的发生规律及综合防治技术[J]. 陕西农业科学,2007(3):176-177.

[15]穆玉侠. 葡萄炭疽病的发生与防治[J]. 安徽农学通报,2005,11(4):106.

[16]孙执中. 葡萄炭疽病及其防治[J]. 河北果树,2007(5):49-50.

[17]高迎娟,刘玉忠,陈启发. 山葡萄霜霉病发生规律及其抗病性的进一步探讨[J]. 中国农学通报,2010,26(20):279-282.

[18]庞 建. 昌黎产区赤霞珠葡萄病虫害发生情况的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.

[19]乔宝营,黄海帆,刘崇怀,等. 几种理化因素与葡萄霜霉病抗性的关系[J]. 果树学报,2014,31(5):901-905.

[20]位志浩. 昌黎县葡萄酒产业现状调查与分析[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2014.

[21]张小转. 河北昌黎产区葡萄与葡萄酒质量的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.

[22]吉沐祥,毛妮妮,彭燕琼,等. 鲜食葡萄绿色发展目标与“双减”增效关键技术[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):143-147.

[23]孙丽华,张天云,戴 伟. 昌黎酿酒葡萄全生育期气象指标与预报模型[C]//2011 年第二十八届中国气象学会年会论文集. 厦门:中国气象学会,2011:6.

[24]颜 雨. 河北省酿酒葡萄气候区划与品种区划研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.

[25]孙丽华,张宝贵,陈连友. 酿酒葡萄白腐病的发生与气象条件的关系[J]. 安徽农业科学,2010,38(32):18179-18181.

[26]周华江. 灌南县葡萄常见病害的症状与防治对策[J]. 现代农业科技,2015(23):150-151.

[27]周晓宇,张新宜,崔 妍,等. 1961—2009 年东北地区日照时数变化特征[J]. 气象与环境学报,2013,29(5):112-120.

的意义。

国内学者对茶叶春霜冻的研究主要集中在江苏省、浙江省、安徽省等茶区^[7]。王学林系统地分析了江南茶区茶树春霜冻的多时间尺度特征及精细化风险评估,并运用模糊数学理论构建了春茶气候适宜度评价模型^[8]。刘瑞娜等分析了安徽省茶叶春霜冻的发生规律,建立灾害风险指数,实现了安徽省茶叶春霜冻灾害风险区划^[9]。王俊等对江苏省春茶霜冻发生时空演变规律作了分析,建立了由温度指标推算茶叶开采期的模型^[10]。吴杨等分析了浙江茶树霜冻的时空分布特征和演变趋势,并建立了春霜冻日与太平洋海温的遥相关关系^[11]。关于江西省茶叶春霜冻灾害的研究还鲜见报道,开展茶叶气象灾害保障服务工作缺乏相关技术及理论指导。本研究在气候变暖背景下,分析江西省茶叶春霜冻灾害的时空分布特征和趋势变化预测,以期江西省茶叶安全生产提供科学指导,为提高茶叶气象服务的专业性和针对性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

江西省茶园分布在 11 个地级市 90 多个县(市、区),根据 2016—2017 年各县(市、区)的茶园面积和产量,以及气候对茶叶生产的影响评估,选取 18 个茶叶主产区划分为 3 个茶区,即赣东北茶区、赣西北茶区、赣中南茶区。赣东北茶区:以婺源县、浮梁县、玉山县、铅山县、广丰区为主,茶园面积占 33.9%,产量占 48.4%;赣西北茶区:主要分布在修水县、铜鼓县、靖安县、瑞昌市、湖口县、都昌县,茶园面积占 29.2%,产量占 27.8%;赣中南茶区:以遂川县、井冈山市、上犹县、资溪县、崇义县、宁都县、会昌县,茶园面积占 36.9%,产量占 23.8%(图 1)。

1.2 资料来源

江西省茶园面积和产量资料来源于江西省统计局 2016—2017 年统计年鉴。本研究以江西省 18 个气象站 1961—2019 年逐日气温观测资料为研究对象,采用 3—4 月日最低气温(T_{\min}) $\leq 4^{\circ}\text{C}$ 作为春茶霜冻发生的临界值,按照轻度($2^{\circ}\text{C} < T_{\min} \leq 4^{\circ}\text{C}$)、中度($0^{\circ}\text{C} < T_{\min} \leq 2^{\circ}\text{C}$)、重度($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$)将茶叶春霜冻灾害划分为 3 个等级^[12-14]。

1.3 研究方法

1.3.1 气候倾向率 用 Y 表示霜冻要素, t 表示对应的年序,拟合得到一元线性回归方程^[15]

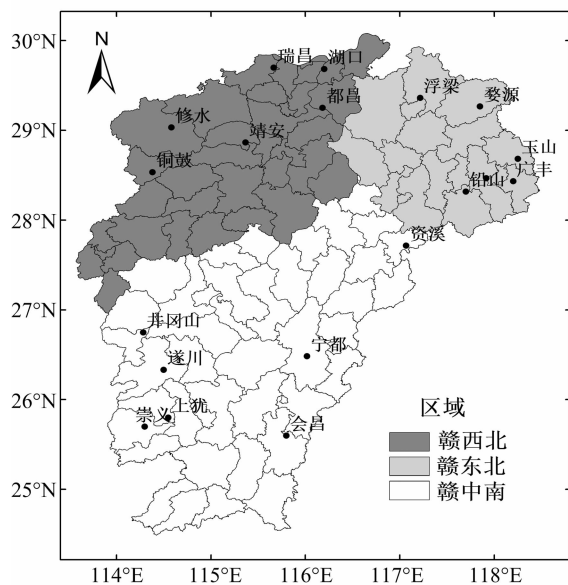


图1 江西省茶叶主产区分布

$$Y = a_0 + a_1 t. \quad (1)$$

式中: t 为对应的年序, a_0 为常数项, a_1 为系数, a_1 大于 0 时表示霜冻要素随时间呈增加或推迟趋势,反之呈下降或提前趋势,其值的大小反映变化速率,并以 $a_1 \times 10$ 作为霜冻要素的线性倾向率。变化趋势是否显著用相关系数 r 来判断,超过 $\alpha = 0.05$ 显著性水平则认为变化趋势显著。

1.3.2 春霜冻异常特征值 选定每年 3—4 月出现的霜冻为春霜冻,最后一次春霜冻出现的日期为终霜期。由于春霜冻是因大气温度降低而引起农作物受冻的一种灾害,因此它同气温一样具有正态分布特征,设定极端霜冻日的概率值为 0.05,将样本终霜期与平均终霜期(D)之差 $> 1.65\sigma$ 和 $\sigma \sim 1.65\sigma$ 分别定义为特晚终霜期和偏晚终霜期,其中, D 为 1961—2019 年终霜期的平均值, σ 为 1961—2019 年终霜期的标准差^[9]。

1.3.3 Manner - Kendall 突变检验 Manner - Kendall 突变检验^[16-18] (简称 M - K 检验)是世界气象组织推荐并广泛应用的非参数统计方法,它能客观表征样本序列的变化趋势,明确突变发生时间、区域及其范围。它的 2 个重要参数是统计量 M 和趋势变化的斜率 β , M 大于 0 表示增加或推迟趋势,小于 0 为下减少或提前趋势,斜率 β 表示趋势变化的方向和程度,即变化速率。

2 结果与分析

2.1 江西省茶叶春霜冻时间变化特征

2.1.1 茶叶春霜冻年际变化特征 由图 2 可见,赣

东北茶区近59年平均终霜期提早了14.2 d,平均春霜日数减少了5.3 d,其气候倾向率分别为 -2.4 d/10年和 -0.9 d/10年,均通过0.01显著性检验。20世纪60年代平均终霜期出现在3月25日,从20世纪70年代起出现明显提早的变化趋势,其中21世纪以来平均终霜期比20世纪60年代提早了11 d。平均春霜日数在20世纪60年代出现最多,年均8 d,20世纪70年代和80年代比60年代少了2 d,20世纪90年代开始平均春霜日数明显减少,年均只有3~4 d。

由图2可见,赣西北茶区59年间平均终霜期提早了11.8 d,平均春霜日数减少了4.7 d,其气候倾向率分别为 -2.0 d/10年和 -0.8 d/10年,均通过0.01显著性检验。20世纪60年代平均终霜期出现

在3月26日,20世纪70年代、80年代不断提前,20世纪90年代比20世纪80年代偏晚1 d,21世纪后平均终霜期又提前到了3月15日。平均春霜日数年代变化与赣东北茶区相似,也表现为20世纪60年代(年均8 d)最多,20世纪70年代起逐渐减少,21世纪年均只有4~5 d。

由图2可见,赣中南茶区59年间平均终霜期提早了7.1 d,平均春霜日数减少了2.2 d,其气候倾向率分别为 -1.2 d/10年和 -0.4 d/10年,终霜期通过0.1显著性检验,春霜日数通过0.01显著性检验。赣中南茶区平均终霜期年代变化规律不明显,20世纪60和20世纪70年代分别为3月20日和3月23日,20世纪80年代提前到3月13日,20世纪90年代又推迟到3月20日,21世纪后又提前到3月

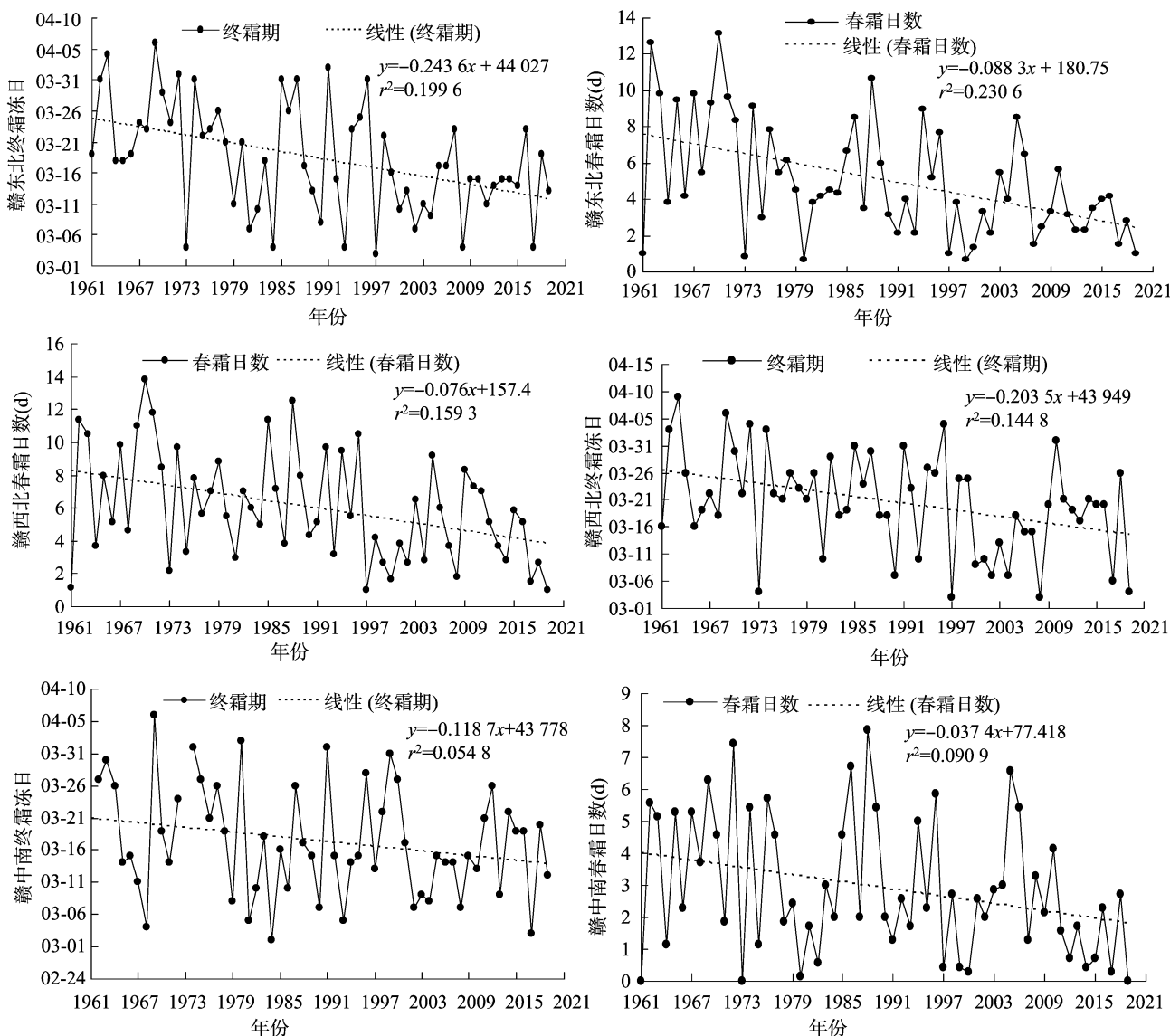


图2 江西各茶区不同年代平均终霜期及平均春霜日数

14 日。平均春霜日数 20 世纪 60 年代和 20 世纪 80 年代出现最多,年均 4 d,其他年代年均均为 1~3 d。

2.1.2 茶叶春霜冻的月变化特征 根据茶叶春霜冻的气象指标,分别统计赣东北、赣西北和赣中南茶叶主产区在 3—4 月不同等级霜冻日数的变化趋势,从表 1 可以看出,从 3—4 月发生茶叶春霜冻的等级来看,近 59 年轻度和中度春霜冻赣西北茶区发生时间最多,赣东北茶区次之,赣中南茶区最少;重度春霜冻赣东北茶区发生时间最多,赣西北茶区次之,赣中南茶区最少。按月份来看,赣东北、赣西北和赣中南茶区均在 3 月份发生春霜冻的可能性最高,年均霜冻日数分别为 4.6、5.7、2.8 d,占总霜冻

表 1 茶叶春霜冻月变化特征

茶区	月份	不同等级春霜冻发生时间(d/年)			
		轻度	中度	重度	总日数
赣东北	3	2.5	1.4	0.7	4.6
	4	0.1	0.1	0.0	0.2
	3—4	2.6	1.5	0.7	4.8
赣西北	3	3.4	1.7	0.6	5.7
	4	0.2	0.1	0.0	0.3
	3—4	3.6	1.8	0.6	6.0
赣中南	3	1.7	0.7	0.4	2.8
	4	0.1	0.0	0.0	0.1
	3—4	1.8	0.7	0.4	2.9

表 2 江西各茶区特晚(偏晚)霜冻指标日及发生年份

区域	特晚终霜期		偏晚终霜期	
	指标日(月-日)	发生年份	指标日(月-日)	发生年份
赣东北	04-02	1963、1969	03-27	1962、1970、1972、1974、1985、1987、1991、1996
赣西北	04-04	1963、1969、1972、1996	03-29	1962、1970、1974、1982、1985、1987、1991、2010
赣中南	03-31	1969、1974、1980、1991	03-26	1962、1963、1975、1996、2000

2.2 江西省茶叶春霜冻空间分布特征

2.2.1 江西省茶叶终霜期空间分布 江西省茶叶终霜期的空间分布结构见图 3,其中平均终霜期为 1961—2019 年某茶叶主产县的年均终霜期,最晚终霜期为 1961—2019 年某茶叶主产县终霜期的最大值。从图 3 可以看出,赣东北茶区平均终霜期出现在 3 月 15—25 日,赣西北茶区出现在 3 月 18—24 日,而赣中南茶区平均终霜期最早,为 3 月 13—24 日,其中主产县中最早的出现在南部的会昌(3 月 12 日),最晚的出现在北部的婺源和铜鼓(3 月 25 日)。近 59 年中最晚终霜期除婺源县、修水县、铜鼓县、瑞昌市、都昌县、湖口县和资溪县出现在 4 月 14—16 日外,其他站点普遍在 4 月 5—10 日,其中

日数的 96%、95%、97%,并且 3 种等级的霜冻均有可能发生,其中发生轻度霜冻的次数明显多于中度和重度霜冻。随着时间的推移,气温逐渐升高,4 月发生春霜冻的次数明显减少,近 59 年中没有出现过重度春霜冻。

2.1.3 茶叶春霜冻异常特征分析 以 $D+1.65\sigma$ 确定各茶区特晚终霜期的指标日,赣东北茶区为 4 月 2 日,赣西北茶区为 4 月 4 日,赣中南茶区为 3 月 31 日。59 年中赣东北茶区出现 2 次特晚终霜冻,均出现在 20 世纪 60 年代;其他各区均出现 4 次,赣西北茶区出现在 1963、1969、1972、1996 年,赣中南茶区出现在 1969、1974、1980、1991 年。以 $D+\sigma$ 确定各茶区偏晚终霜期的指标日,赣东北茶区为 3 月 27 日,赣西北茶区为 3 月 29 日,赣中南茶区为 3 月 26 日。赣东北茶区偏晚终霜期共出现 8 次,20 世纪 60 年代出现 1 次,20 世纪 70 年代出现 3 次,20 世纪 80 年代和 90 年代各 2 次;赣西北茶区出现 8 次,20 世纪 70 年代出现 2 次,20 世纪 80 年代出现 3 次,另有 3 次分别出现在 20 世纪 60 年代、20 世纪 90 年代和 21 世纪;赣中南茶区共出现 5 次,有 2 次出现在 20 世纪 60 年代,20 世纪 70 年代、20 世纪 90 年代和 21 世纪各 1 次。2011 年以来全省各茶叶主产区均未出现偏晚霜冻(表 2)。

全省最晚的 1 次终霜期(2010 年 4 月 16 日)出现在赣西北的修水县、瑞昌市、都昌县和湖口县。

2.2.2 江西省茶叶春霜日数空间分布 从江西省茶叶春霜日数的空间分布图来看,江西北部发生春霜冻的概率要明显大于南部。平均春霜日数为 1961—2019 年某茶叶主产县的年均春霜日数,最大春霜日数为 1961—2019 年某茶叶主产县全年春霜日数的最大值。中南面的遂川县、崇义县、会昌县和上犹县的平均春霜日数最少,年均只有 2 d;平均春霜日数最多的出现在北部的修水县,年均 8 d。全省近 59 年最大春霜日数赣中南茶区为 6~13 d,赣西北茶区为 13~16 d,而赣东北茶区为 11~17 d。

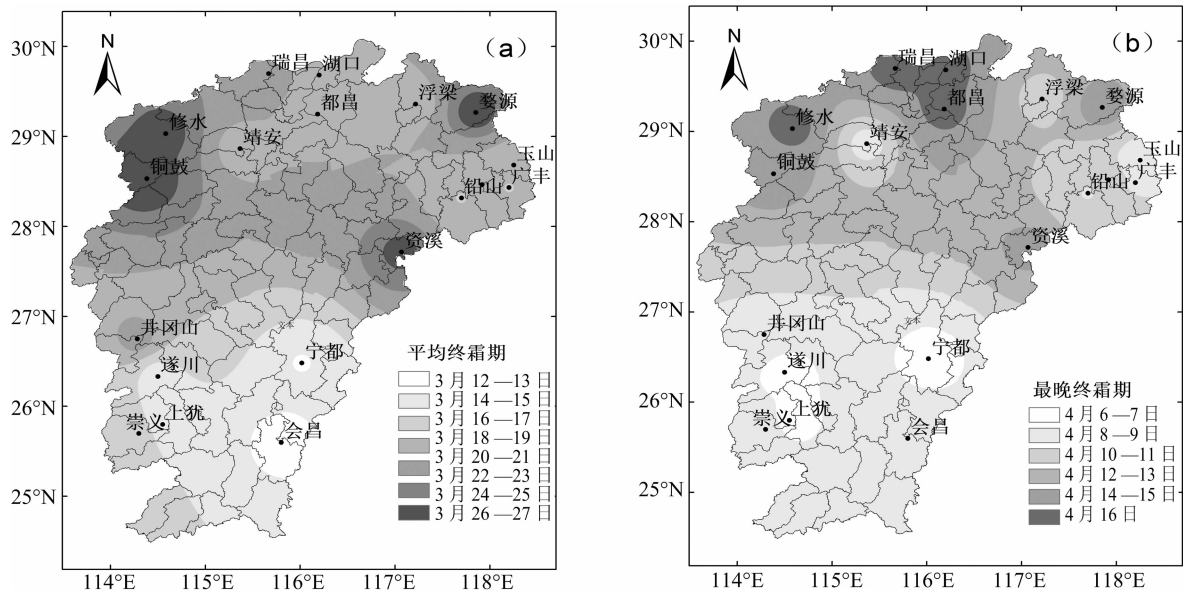


图3 1961—2019 年江西省茶叶终霜期空间分布

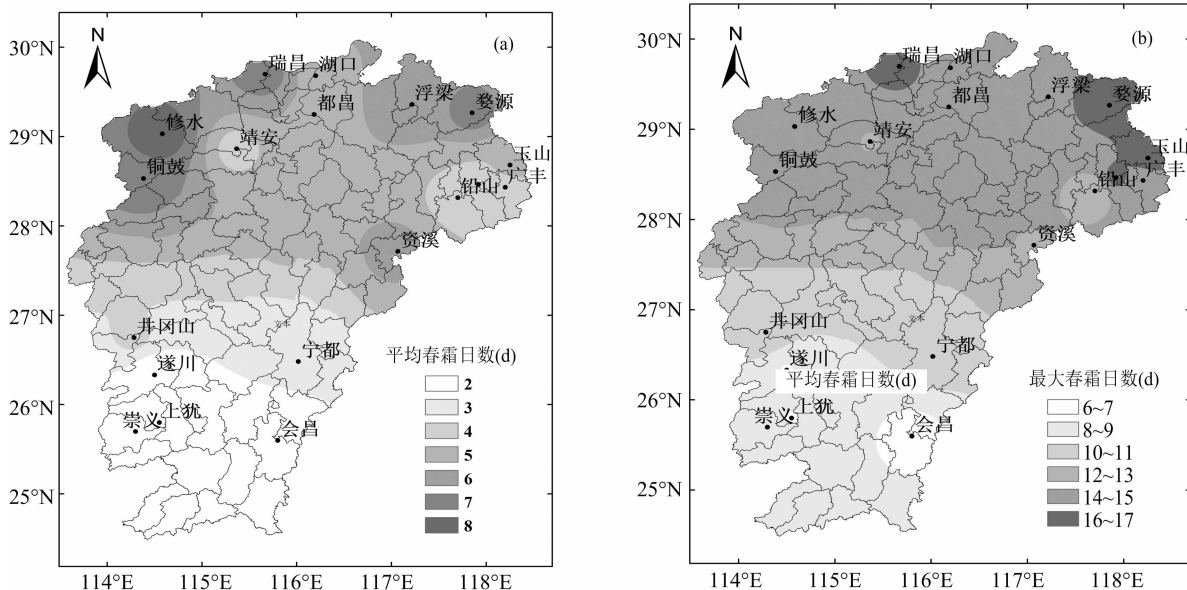


图4 1961—2019 年江西省茶叶春霜日数空间分布

2.3 江西省茶叶春霜冻气候突变分析

江西省各茶区春霜冻的 Mann - Kendall 检验结果见图 5。从图 5 可以看出,由 UF 曲线(图 5 - a)可见,自 20 世纪 80 年代以来,赣东北终霜期开始提前,2001 年至今这种提前趋势还超过 0.05 临界线。1983—1991 年 UF 和 UB 曲线多次相交,无法确定其突变点,再次经过累积距平分析,确定 1988 年为赣东北终霜期提前的突变起始年,突变后的平均终霜期比突变前提早了 7 d。图 5 - b 为赣东北春霜日数的 Mann - Kendall 检验,UF 曲线在 1978 年后保持在零线以下,且 2 次超过 0.05 临界线,表明赣东

北春霜日数在 1978 年后呈减少趋势,UF 和 UB 曲线在 1997—2016 年之间多次相交,经过累积距平分析后,确定其突变点在 1997 年,突变后的平均春霜日数比突变前减少了 3 d。

从图 5 - c 可以看出,1961—1996 年 UF 曲线在零线上下不稳定地波动发展,从 1997 年开始 UF 曲线始终在零线以下,并在 2006 年超过 0.05 临界线。UF 和 UB 曲线在 1990—1996 年多次相交,再次经累积距平分析,确定其突变点在 1996 年。说明赣西北茶叶终霜期在 1996 年发生提前的突变,且在 2006 年这种提早突变达到 0.05 显著性水平,突变

后的平均终霜期比突变前提早了 8 d。从图 5-d 可以看出,UF 曲线 1997 年后始终在零线以下,并在 2018 年突破 0.05 临界线,UF 和 UB 曲线相交于 2016 年。表明赣西北茶叶春霜日数从 1997 年开始减少,在 2016 年发生减少的突变,且在 2018 年达到 0.05 显著性水平,突变后的平均春霜日数比突变前减少了 4 d。

近 59 年赣中南茶叶终霜期也表现为提早趋势(图 5-e)。1961—2019 年 UF 曲线以正值为主,在

1964—1980 年 UF 和 UB 曲线多次相交,进一步进行累积距平分析,确定其突变点在 1980 年,且 UF 曲线多次超过 0.05 的显著性水平。表明茶叶终霜期在 1980 年发生提前的突变,突变后的平均终霜期比突变前提早了 6 d。图 5-f 表明,在 2015 年之前 UF 曲线在绝大多数时间段内大于 0,并在 2019 年与 UB 曲线相交,但未超过 0.05 显著性水平,表明赣中南春霜日数未出现突变现象。

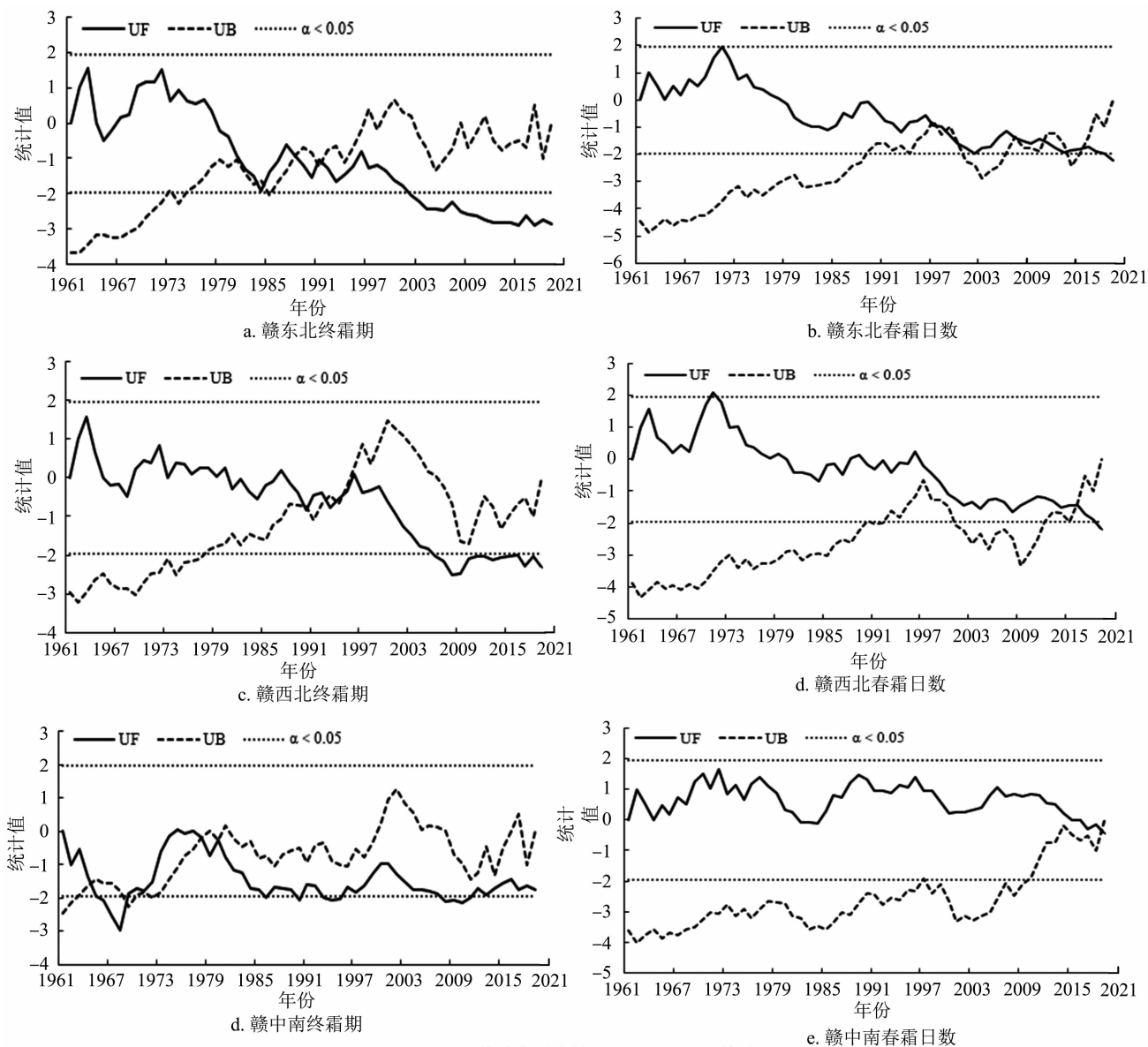


图5 江西茶叶春霜冻的 Mann-Kendall 检验

3 结论与讨论

3.1 江西省茶叶春霜冻时间变化特征

3—4 月为江西春茶生长和采摘的关键期,其中

3 月发生春霜冻的可能性最高,且以轻度霜冻为主。特晚终霜期均出现在 1997 年之前,偏晚终霜期均出现在 2011 年之前。59 年来,茶叶春霜冻的长期变化趋势表现为终霜期明显提早,春霜日数显著减

少,且变化速率赣东北大于赣西北,赣西北大于赣中南,其中平均终霜期赣东北、赣西北、赣中南发生突变的年份分布在1988、1996、1980年,突变后的平均终霜期比突变前提早了6~8 d;平均春霜日数赣东北、赣西北发生突变的年份分别是1997、2016年,比突变前减少了3~4 d,而赣中南在95%的显著性水平下未发生突变。说明受到气候变暖的影响,江西茶叶在春季发生霜冻的可能性在逐渐减小,但这并不意味着春霜冻灾害一定减轻,因为在气候变化的大背景下,我国春季气温波动幅度加大^[19],因此未来完全有可能出现严重霜冻,而极短时间的霜冻就能对茶叶造成极大的危害,茶叶生产上仍需要加强对春霜冻灾害的警惕。

3.2 江西省茶叶春霜冻空间分布特征

赣中南平均终霜期出现得最早,而赣东北出现得最晚,最早和最晚相差12 d,其中全省最晚的1次终霜期(2010年4月16日)出现在赣西北的修水市、瑞昌市、都昌县和湖口县。平均春霜日数自南向北递增,其中以南面的遂川县、崇义县、会昌县和上犹县春霜冻发生的可能性最低,而北面的修水县发生春霜冻的可能性最高,适宜栽种抗寒抗冻性较强的品种。早春气温较低,霜冻出现的概率也较高^[13],李柏贞等在研究1961—2015年江西省气温变化特征中指出,江西省年平均最低气温的空间分布呈“南高北低”特征^[20],本研究的结论与之相同。

3.3 江西省茶叶春霜冻防御对策

在气候变暖的背景下,加强茶叶春霜冻灾害的防御,是提高春茶产量和品质的关键因素之一。(1)新建茶园和改造茶园时尽量选择阳坡、抗寒性强的品种,合理布局茶园;(2)加强茶园培育管理和设施建设,以提高茶树抗冻防冻能力;(3)在3—4月春茶生长的关键时期,应密切关注天气预报,根据预报合理安排采摘期,在霜冻来临前因地制宜采取铺草、遮阳网覆盖、熏烟、灌水等方法进行防护,以将霜冻损失降至最低。

参考文献:

[1]江西省人民政府. 江西省人民政府印发关于加快农业结构调整行动计划的通知[EB/OL]. (2017-12-24)[2020-02-10].

http://nync.jiangxi.gov.cn/art/2017/12/29/art_28314_1585128.html.

- [2]赵辉,米鸿涛,杜子璇. 基于AHP的模糊综合评判在茶叶气候种植区划中的应用[J]. 气象科技,2013,41(6):1134-1137.
- [3]陶瑶,杨爱萍,段里成,等. 2018年春霜冻对江西省北部茶叶生产影响的定量评估[J]. 气象与减灾研究,2019,42(1):70-74.
- [4]江西省茶叶协会. 江西省春茶冻害灾情[J]. 茶世界,2010(5):37.
- [5]郑志文. 晚霜冻对浮梁县春茶的影响及气象灾害风险管理建议[J]. 江西农业,2019(6):55-56.
- [6]程丹. 婺源县第一批春茶采摘遭受倒春寒肆虐[EB/OL]. (2018-04-11)[2020-01-10]. https://mp.weixin.qq.com/s/5pRLvEFHiDmvEQ_kSGFrMw.
- [7]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.
- [8]王学林. 江南茶区春霜冻风险评价技术研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.
- [9]刘瑞娜,陈鹏. 安徽省茶叶春霜冻发生规律及风险分布[J]. 气象科技,2016,44(6):1060-1065.
- [10]王俊,蒯志敏,张旭晖. 江苏省春霜冻发生时空演变规律及其对春茶的影响[J]. 中国农业气象,2011,32(增刊1):222-226.
- [11]吴杨,金志风,叶建刚,等. 浙江茶树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.
- [12]胡波,金志风,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.
- [13]金志风,胡波,严甲真,等. 浙江省茶叶农业气象灾害风险评估[J]. 生态学杂志,2014,33(3):771-777.
- [14]李仁忠,金志风,杨再强,等. 浙江省茶树春霜冻害气象指标的修订[J]. 生态学杂志,2016,35(10):2659-2666.
- [15]盛任,万鲁河. 乌伊岭国家级自然保护区植被覆盖演变及其对气候突变的响应[J]. 生态学报,2019,39(9):3243-3256.
- [16]姜燕敏,金志风,李仁忠,等. 浙南春茶早春霜冻的时空分布特征[J]. 气象科技,2016,44(6):1066-1070.
- [17]丁丽佳,郑有飞,王春林,等. 潮州市近53年气温变化特征[J]. 气象科技,2011,39(1):44-49.
- [18]张旭晖,居为民,蒯志敏,等. 江苏春季霜冻气候变化特征及其未来可能变化趋势[J]. 大气科学学报,2013,36(6):666-673.
- [19]孙圣杰,李栋梁. 气候变暖背景下西太平洋副热带高压体形态变异及热力原因[J]. 气象学报,2019,77(1):100-110.
- [20]李柏贞,孔萍,占明锦,等. 1961—2015年江西省气温变化特征分析[J]. 气象与减灾研究,2017,40(3):184-192.