

山西南部苹果花期冻害时空分布 特征及综合防御技术

袁嘉玮,张 健,王 璐,张鹏飞,梁哲军,田时敏,薛琴琴,
王爱玲,张战备,段国琪,杨印斌,王玉香

(山西农业大学棉花研究所,山西 运城 044000)

摘 要:利用 1997—2016 年山西南部苹果主产县(市、区)苹果花期逐日最低气温及日平均气温观测资料,根据苹果花期冻害等级划分指标,采用最小二乘法对花期冻害日数进行线性倾向估计,并用 Mann-Kendall 非参数检验方法对花期冻害日数的变化趋势进行显著性检验,分析山西南部苹果花期冻害的时空分布特征。结果表明:山西省南部苹果产区发生花期冻害日数年均均为 3.1 d,各县花期均温介于 13.0℃~13.8℃之间。运城地区 4 月中上旬易发生冻害,临汾地区吉县与隰县 4 月下旬易发生冻害;山西南部苹果花期冻害日数近 20 a 气候倾向率为 $-0.666\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ($P\leq 0.01$),花期极端最低气温气候倾向率为 $0.165\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ($P\leq 0.01$),花期极端最低气温与冻害日数具有极显著负相关关系。山西南部苹果花期冻害日数突变点在 2008 年,且在 2015 年之后苹果花期冻害日数突破 $\alpha=0.05$ 显著性水平下限。对于苹果花期冻害的综合防御措施,可采用“以防为主,抗补结合”策略。

关键词:冻害;苹果花期;时空分布;综合防御;M-K 检验;山西南部

中图分类号:S166;S661.1 **文献标志码:**A

Temporal and spatial distribution and comprehensive defense technology of freezing injury during apple bloom period in Southern Shanxi Province

YUAN Jiawei, ZHANG Jian, WANG Lu, ZHANG Pengfei, LIANG Zhejun, TIAN Shimin, XUE qinqin,
WANG Ailing, ZHANG Zhanbei, DUAN Guoqi, YANG Yinbin, WANG Yuxiang
(Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

Abstract: Using minimum daily temperature and average daily temperature observation data at apple flowering stage in Southern Shanxi during 1997–2016, according to apple cold hierarchy index in flowering period, using the least square method to linear tendency estimate, low temperature cold days and Mann-Kendall nonparametric test method for low temperature cold days in significance test, we analyzed the developing trend and the temporal and spatial distribution characteristics of freezing injury of apple flowering stage in Southern Shanxi. The results showed that the average annual number of low-temperature freezing days in the Southern Shanxi Province was 3.1 d, and the average temperature in flowering period in all counties was between 13.0℃ and 13.8℃. In mid-early April, the Yuncheng area was prone to freezing damage, and in late April, Jixian and Xixian in Linfen were prone to freezing damage. The number of freezing days in flowering period of apple in Southern Shanxi showed a decreasing trend, while the extreme minimum temperature in flowering period showed a rising trend, which was negatively correlated with the number of freezing days. In the Southern part of Shanxi Province, the abrupt change point of the number of freezing days during flowering period was in 2008, and the decreasing trend was more significant after 2015. For the comprehensive defense measures of apple's low temperature damage, we can adopt a strategy of “prevention first, combination of resistance and compensation”.

Keywords: freezing injury; flowering stage of apple; comprehensive defense; temporal and spatial distribution; M-K test; Southern Shanxi

农业气象灾害是制约我国农业发展的主要因素之一,近年来,受全球气候变暖导致的气温持续上升和地区热量资源改变的影响,地表蒸腾与植物蒸腾速率等水分平衡过程改变、农作物生育期改变、霜冻日数减少,对农业及自然生态系统产生了严重的影响^[1-3]。其中,花期冻害已成为影响苹果产量及品质的主要气象灾害指标^[4-5],也是目前我国苹果的重要病害之一^[6]。

近年来,相关学者在苹果花期冻害指标方面做了诸多研究,并以此进行风险评估及预测预报研究,如针对黄土高原优势苹果产业带主栽品种进行冻害指标研究,形成花期冻害等级指标行业性标准——富士系苹果花期冻害等级^[7];刘璐等^[8]和柴芊等^[9]分别根据子房和花粉的受冻临界温度进行冻害指标划定,并分别建立风险评估模型和预测预报模型,确定不同地区花期冻害重点防御时间;杨小利^[10]根据花期冻害实地调查情况,将花期冻害分为 3 个等级,并以实际灾损率作为指标研究花期冻害风险区划;屈振江等^[11]以 2013 年全国苹果主产区大面积花期冻害过程为基础,利用气候背景资料,对全国苹果主产区进行花期冻害风险划分,其中山西省南部地区属于中度与低度风险区。但对冻害发生规律的分析研究却鲜有报道,并且缺少实际的防御措施^[12]。目前山西苹果花期冻害发生规律分析方面尚未有相关报道,且在有关山西苹果花期冻害防御措施及补救措施的报道也均为普适性对策,未结合各地实际情况。然而苹果花期冻害受地域性的影响,冻害指标划分以及防御对策需结合当地情况才具有实际意义。因此,本文对近 20 a 山西南部各县苹果花期冻害发生情况进行统计,分析山西南部苹果花期冻害的时空分布特征,利用 Mann-Kendall 非参数检验方法研究苹果花期冻害的气候趋势,并提出针对性防御对策,以期对山西南部苹果花期冻害预测、气象灾害防御以及苹果稳产增收提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

选取山西隰县、吉县、河津市、稷山县、绛县、新绛县、闻喜县、垣曲县、万荣县、临猗县、盐湖区、夏县、永济市、芮城县、平陆县 15 个气象站点 1997—2016 年苹果花期日极端最低气温和日平均气温观测资料

(除隰县、吉县外 13 县(市、区)均属于运城地区)。

1.2 冻害程度划分

根据气象行业标准《QX/T392-2017 富士系苹果花期冻害等级》^[7]、柴芊等^[9]关于陕西苹果花期冻害指数定义,结合山西南部苹果主产区气候特征,分别按照日极端最低气温(T)将苹果花期冻害划分为轻度、中度、重度和极重 4 个等级,如表 1 所示。

表 1 富士苹果冻害等级划分

Table 1 Classification of Fuji apple freezing injury	
苹果冻害等级 Freezing injury level of apples	花期极端低温/℃ Extreme low temperatures during flowering
轻度 Light	$-2 < T \leq 5$
中度 Medium	$-3 < T \leq -2$
重度 Severe	$-4 < T \leq -3$
极重 Extreme	$T \leq -4$

1.3 分析方法

采用最小二乘法^[13]对花期冻害日数进行线性倾向估计,并用 Mann-Kendall 非参数检验方法(M-K 检验)^[14-15]对花期冻害日数的变化趋势进行显著性检验^[16],研究山西南部苹果主产区冻害的时间变化特征、空间分布结构以及气候演变趋势。

2 结果与分析

2.1 苹果冻害的气候统计

根据富士苹果冻害等级划分(表 1),统计富士苹果花期不同等级的冻害日数和极端最低气温的变化趋势。由表 2 及图 1 可以得出,1997—2016 年间山西南部富士苹果发生花期冻害日数年均为 3.1 d,极端最低气温达 $-7.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (夏县)。运城地区 4 月中上旬发生冻害几率最大,冻害高频期主要集中在 4 月 8—16 日,其高频期内发生冻害日数占全部冻害日数的比值除永济市与河津市外,均高于 45%。吉县与隰县 4 月下旬发生冻害几率最大,高频期主要集中在 4 月 20—26 日,其所占比值分别是 44.74%、48.28%。

山西省富士苹果花期发生冻害总日数及不同程度冻害日数均呈单峰型分布,其中运城地区 4 月中旬冻害日数最多,达到峰值(年均 1.3 d),且冻害发生程度最为严重;吉县与隰县 4 月下旬冻害日数最多,达到峰值(年均 1.9 d)。而山西省富士苹果花期极端最低气温除河津市、临猗县、吉县外均发生

在 4 月中旬,其中夏县最低为-7.1 ℃。运城地区 4 月上旬以及吉县与隰县 4 月下旬的极端最低气温也较低,分别为-7.2℃、-3.4℃。从冻害等级上看,轻度冻害发生最多,年均 2.8 d,占花期冻害总日数的 90.32%;其次为中度冻害,年均 0.25 d,占花期冻害总日数的 8.06%;重度冻害及极重冻害极少发生。运城地区各程度冻害等级发生情况分布规律与冻害日数分布规律基本一致,吉县与隰县轻度冻害分布规律与冻害日数分布规律基本一致,而中度冻害

呈现 4 月中旬发生重、4 月下旬发生轻的现象。

2.2 苹果冻害的空间分布

由表 3 可以看出,山西南部苹果主产县年均冻害日数总体介于 2.1~4.3 d,年均冻害日数最少的是河津市,仅有 2.1 d;年均冻害日数最多的为夏县,为 4.3 d;万荣县和闻喜县次之,年均 4.0 d;盐湖区、平陆县、垣曲县、新绛县、永济市的年均冻害日数较少,除永济市为 2.2 d 外,其余各区县均为 2.4 d;吉县与隰县年均冻害日数较高,分别为 3.8 d 和 3.0 d。

表 2 1997—2016 年山西南部苹果主产县(市、区)苹果花期冻害的气候统计

站点 Site	年均冻害日数/d Annual number of freezing injury days	极端最低气温/℃ Extreme minimum temperature	最低气温发生日 Minimum temperature occurs (m-d)	4 月冻害高频期(日-日) High frequency frostinjury occurred(d-d)	所占比例/% Proportion
盐湖 Yanhu	2.4	-3.6	04-13	10-16	46.81
临猗 Linyi	3.4	-4.2	04-03	10-16	47.76
夏县 Xiaxian	4.3	-7.1	04-13	08-14	45.35
永济 Yongji	2.2	-2.5	04-13	07-13	37.21
河津 Hejin	2.1	-2.1	03-28	09-15	38.10
芮城 Ruicheng	3.9	-5.0	04-13	09-15	53.25
平陆 Pinglu	2.4	-2.8	04-13	08-14	50.00
垣曲 Yuanqu	2.4	-3.4	04-13	10-16	50.88
绛县 Jiangxian	3.0	-5.4	04-13	09-15	49.15
稷山 Jishan	3.2	-3.4	04-13	09-15	50.00
万荣 Wanrong	4.0	-4.2	04-13	09-15	45.57
新绛 Xinjiang	2.4	-2.7	04-13	09-15	57.45
闻喜 Wenxi	4.0	-6.4	04-13	09-15	53.09
吉县 Jixian	3.8	-3.4	04-23	20-26	44.74
隰县 Xixian	3.0	-3.9	04-13	20-26	48.28

注:所占比例为 1997—2016 年间冻害高频期内发生冻害日数占全部冻害日数的比值。
Note:The proportion is the ratio of the number of freezing days during the high frequency period of freezing injury from 1997 to 2016 to the total number of freezing days.

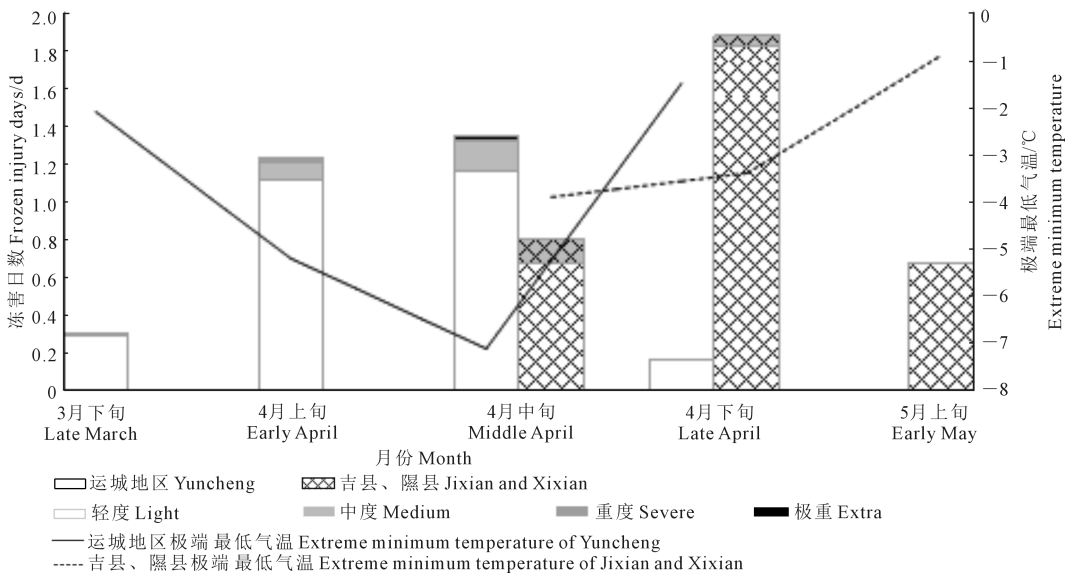


图 1 1997—2016 年山西南部苹果花期冻害日数及极端最低气温变化

Fig.1 The averaged freezing injury days and extreme minimum temperature at the flowering stages of apple in Southern Shanxi during 1971-2017

运城地区平均花期介于 3 月 29 日—4 月 27 日间,吉县与隰县平均花期介于 4 月 15 日—5 月 8 日间。各县花期均温介于 13.0℃~13.8℃之间。

2.3 苹果冻害的变化趋势

山西南部苹果花期冻害日数及极端最低气温的年变化趋势如图 2 所示。山西南部苹果花期冻害日数呈显著减少的趋势,气候倾向率为-0.666 d·

表 3 山西南部苹果主产县(市、区)苹果花期冻害日数和平均花期的空间分布

站点	年均冻害日数	花期均温/℃	平均花期	年均盛花日
Site	Annual number of freezing injury days	Average flowering temperature	Average annual flowering date(m-d)	Average annual full-bloom stage(m-d)
盐湖 Yanhu	2.4	13.8	03-30—04-18	04-09
临猗 Linyi	3.4	13.5	04-02—04-21	04-12
夏县 Xiaxian	4.3	13.4	04-03—04-22	04-13
永济 Yongji	2.2	13.3	03-29—04-17	04-08
河津 Hejin	2.1	13.4	03-30—04-18	04-09
芮城 Ruicheng	3.9	13.1	04-03—04-22	04-13
平陆 Pinglu	2.4	13.3	03-31—04-19	04-10
垣曲 Yuanqu	2.4	13.1	04-06—04-25	04-16
绛县 Jiangxian	3.0	13.1	04-08—04-27	04-18
稷山 Jishan	3.2	13.5	04-01—04-20	04-11
万荣 Wanrong	4.0	13.5	04-05—04-24	04-15
新绛 Xinjiang	2.4	13.6	04-01—04-20	04-11
闻喜 Wenxi	4.0	13.0	04-05—04-24	04-15
吉县 Jixian	3.8	13.4	04-19—05-08	04-28
隰县 Xixian	3.0	13.6	04-15—05-04	04-25

(10 a)⁻¹($P\leq0.01$),其中轻度冻害及中度冻害的气候倾向率分别为-0.591、-0.094 d·(10 a)⁻¹($P\leq0.01$)。而山西南部苹果花期极端最低气温呈上升趋势,且与冻害日数呈极显著负相关关系,相关系数-0.768($P\leq0.01$)。山西南部苹果花期冻害日数显著减少,花期极端最低气温有所上升,且两者呈现极显著负相关关系,说明山西南部苹果花期遭遇花期冻害的几率显著降低,花期冻害对苹果生产造成的损失呈降低趋势。

由图 2 可以看出,山西南部苹果花期冻害日数、轻度冻害日数、中度冻害日数均呈现先增加后降低的变化趋势。2000—2010 年,冻害日数明显偏多,正距平年份为 7 a,且平均正距平冻害日数较年均水平高出 1.7 d,其中高出最多的是 2001 年(高 3.58 d),2010 年次之(高 2.71 d)。同时,极端最低气温也出现在这一时间段,2007 年和 2010 年的极端最低气温为-7.1℃和-7.0℃。2011—2016 年,冻害日数较之前显著降低,除 2013 年冻害日数突增外均为负距平年份,且平均负距平冻害日数比年均水平低 1.9 d,其中最低的是 2012 年(低 2.42 d),2011 年和 2016 年次之(低 2.36 d)。

2.4 苹果冻害的 Mann-Kendall 检验

由 M-K 检验可以看出,山西南部苹果花期冻害日数 UF 曲线(按时间序列顺序计算出的统计量

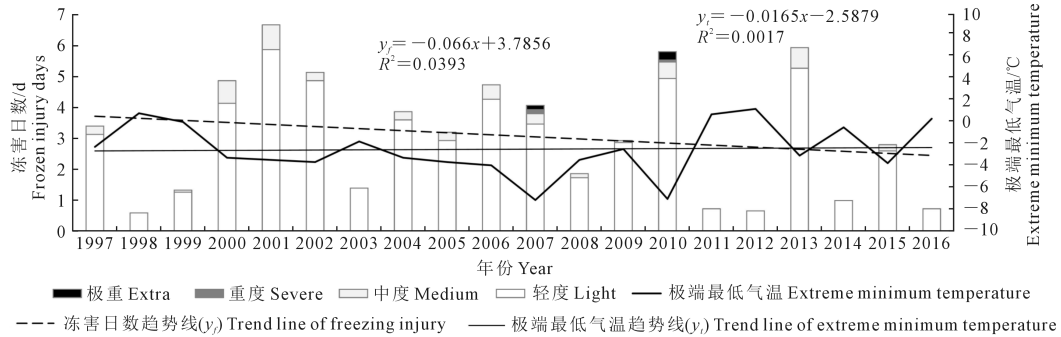


图 2 1997—2016 年山西南部苹果花期冻害日数及极端最低气温变化趋势

Fig.2 Climate change trend of freezing injury days and extreme minimum temperature at the flowering stages of apple in Southern Shanxi during 1997–2016

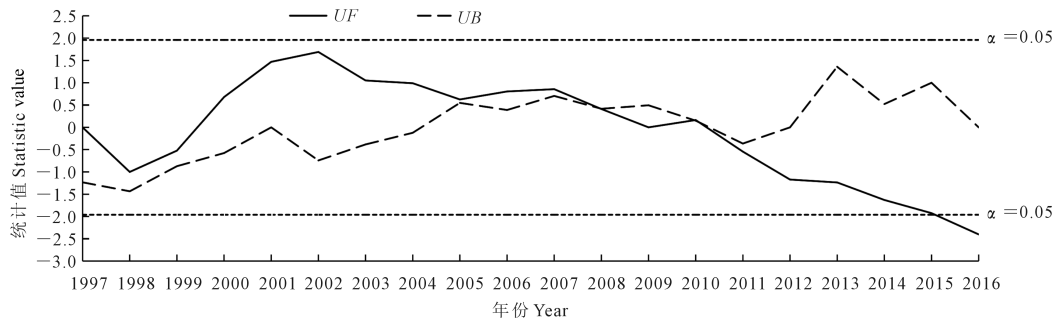


图 3 1997—2016 年山西南部苹果花期冻害的 Mann-Kendall 检验

Fig.3 Mann-Kendall test of freezing injury at the flowering stages of apple in Southern Shanxi during 1971–2016

序列)值于2000—2010年间大于零,冻害日数表现为增加的趋势; UF 曲线于2011—2016年小于零,冻害日数表现为减少的趋势,甚至在2015—2016年苹果花期冻害日数突破 $\alpha=0.05$ 显著性水平下限,表明该时间段山西南部苹果花期冻害日数呈现显著下降的趋势。 UF 和 UB 曲线(按时间序列逆序计算出的统计量序列)相交于2008年,该点为苹果花期冻害日数下降的突变点。

3 讨论

3.1 苹果花期冻害时空分布特征

吉县、隰县地区苹果花期、冻害高频期均较运城地区晚半月左右,年均冻害日数也相对较多,其原因除吉县与隰县地理纬度较高外,与果园地形也存在一定关系,运城地区果园多建立在平地,吉县与隰县果园受地形限制均建立在山地。盐湖区、永济市、河津市年均冻害日数较少的原因可能是受城市热岛效应的影响^[17]。

山西南部苹果花期冻害日数整体呈现下降趋势,且极端最低气温呈现上升趋势,这与桑婧等^[18]针对全国范围内的农业气象研究结果一致。山西南部苹果花期冻害日数在1997年、2001年、2006年、2007年、2010年、2013年有突增现象,王莹等^[12]在相关研究中认为发生突增的原因是大气变暖导致花期提前,继而遭遇冷空气越境而引起短时大幅度降温所致。

虽然冻害日数整体呈下降趋势,但由于冻害发生的不确定性,以及每年发生冻害的苹果栽培面积、果园地形和农业小气候环境的不同,根据气象指标分析得出的冻害结果与实际的冻害灾损同步性有待进一步提高。此外,造成冻害发生的气象因子易受到人为活动的影响,例如极端最低气温在不同果园中可能会受到灌溉量、园内空气湿度以及土壤持水力等各种因素影响而发生变化,造成不同程度的花期冻害灾损^[19]。且在气候变暖以及频繁的人为干预气象活动背景下,未来冻害发生情况难以预料。因此,要根据实际情况适时制定苹果冻害防御措施,科学防御苹果冻害,减轻或避免气象灾害所造成的损失。对于气象部门和农业部门来说,必须加强春季气候趋势预测、冷空气流动方向预测以及温度监测,准确提供气象灾害预报服务信息,指导广大农户及时采取冻害防御策略,及早做好苹果花期冻害防御及田间管理工作,确保苹果稳产、

优质。

3.2 苹果冻害综合防御措施

苹果冻害防御措施采取“以防为主,抗补结合”的综合抗冻策略。

3.2.1 以防为主 山西南部苹果花期发生冻害的主要原因是由于西北方向的冷空气越境造成,因此苹果花期时应注意西北方向的冷空气动态,进行花期冻害预测预报,提前做好果树防冻措施。同时,苹果园应拆除其东南部的围墙、土堆等屏障,避免冷空气留存,并在苹果园西北方向的迎风口上方一百米左右营造防风林带,减缓冷空气越境风速,阻挡冷空气直接冲击,减轻冻害发生。

山西南部果园土壤普遍为碱性土壤,果树吸收水分困难,气温降低时易加重冻害的发生程度^[20-21]。因此山西南部地区果园应注重果园土壤改良并优化灌溉排水方式,临近黄河、汾河、涑水河等河流的区域多采用河水灌溉,灌溉水源避免使用井水,灌水方式避免采用漫灌;果树萌芽前及时灌水,以促进木质部水分运输;多施磷钾肥、有机肥,少施氮肥,降低土壤酸碱值,提高果树花芽质量及其抗寒抗冻能力。

山西南部地区位于黄土高原优势苹果产业带的最南端,平均温度相对较高,苹果花期较早,此时冷空气活动频繁,因此可以通过延迟苹果花期的方式减轻冻害发生。果树萌芽前刮除老翘皮、对枝干及枝杈部位使用石硫合剂涂白、喷施青鲜素液或羧乙酸钾盐、施肥后铺设地膜或覆盖10 cm以上杂草等措施均可有效推迟果树花期^[22]。

3.2.2 抗补结合 山西南部地区主要种植小麦、玉米等作物和果树,作物收获时可将一部分秸秆、落叶、树枝收集堆积在园内及上风口处,用细土压严待用。冷空气来临时点燃,但不要出现明火,通过熏烟提高园内气温。除熏烟外,还可采用风机鼓风、布放加热器等方法提高果树周围气温。有研究表明,采用风机鼓风等气流扰动法对减轻苹果花期冻害有较好的效果^[23]。

发生冻害前后,喷施植物生长调节剂及叶面微量元素肥也可有效增强苹果树体对花期冻害的抵御能力^[24]。大量研究表明,NAA与IBA可有效起到保花保果的作用;喷施海藻素、氨基酸和芸苔素内脂可显著提高苹果抗逆性;喷施蜂蜜、白糖、花精粉等混合液,可有效减轻冻害影响;在花期喷施磷酸二氢钾与白糖混合液可有效增强花器官抗冻性;

树冠喷水或营养液提高苹果树短时树势;喷施钙肥能显著提高植株抗寒性^[5-6,23-27]。

4 结 论

1)山西南部富士苹果发生花期冻害日数年均 为 3.1 d,各县花期均温介于 13.0℃~13.8℃之间,运城地区 4 月中上旬易发生冻害,吉县与隰县 4 月下旬易发生冻害,各苹果主产县年均冻害日数总体呈 现由盆地向山区递减。

2)山西南部苹果花期冻害日数总体呈现减少 趋势,且冻害日数、轻度冻害日数、中度冻害日数均 呈现先增加后降低的变化趋势。从 2008 年开始呈 减少趋势,突变点在 2008 年。花期极端最低气温呈 现上升趋势,并与冻害日数具有极显著负相关关系。

参 考 文 献:

[1] 侯雯嘉,陈长青,乔辉,等.1980—2009 年长江下游地区油菜冻害时 空特征研究[J].长江流域资源与环境,2018, 27(7): 1501-1508.

[2] 曹艳萍, 庞营军, 庞肖杰. 1956—2017 年锡林郭勒盟气候变化特征 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 284-290.

[3] 齐贵增, 白红英, 孟清, 等. 1959—2018 年秦岭南北春季气候时空 变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1079-1091.

[4] 柏秦凤, 霍治国, 王景红, 等. 中国主要果树气象灾害指标研究进 展[J]. 果树学报, 2019, 36(9): 1229-1243.

[5] 屈振江, 周广胜, 魏钦平. 苹果花期冻害气象指标和风险评估[J]. 应用气象学报, 2016, 27(4): 385-395.

[6] 王树桐, 王亚南, 曹克强. 近年我国重要苹果病害发生概况及研究 进展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 13-25,50.

[7] 全国农业气象标准化技术委员会. QX/T 392—2017 富士系苹果花 期冻害等级[S]. 北京: 气象出版社,2015.

[8] 刘璐, 郭兆夏, 柴芊, 等. 陕西省苹果花期冻害风险评估[J]. 干旱 地区农业研究, 2009, 27(5): 251-255.

[9] 柴芊, 栗珂, 刘璐. 陕西果业基地苹果花期冻害指数及预报方法 [J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 621-626.

[10] 杨小利. 甘肃平凉市苹果花期冻害风险分析及区划[J]. 干旱地区

农业研究, 2014, 32(4): 231-235.

[11] 屈振江, 刘瑞芳, 郭兆夏, 等. 陕西省苹果花期冻害风险评估及 预测技术研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 219-225.

[12] 王莹, 李琳琳, 张晓月, 等. 辽宁省苹果花期冻害时空分布规律 及其风险区划[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 376-379.

[13] 焦文慧, 张勃, 黄涛, 等. 近 30a 河东地区极端气温时空变化[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1466-1477.

[14] Henry B M. Non-parametric testagainst trend[J]. Econometrica, 1945, 13(3):245-259.

[15] Kendall M G. Rank Correlation Measures [M]. London: Charles Griffin, 1975:202-203.

[16] Ma C, Pan S, Wang G Q, et al. Changes in precipitation and temper- ature in Xiangjiang River Basin, China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016, 123(3-4):859-871.

[17] 张媛, 李宗波. 2013 年昆明市榕属植物冻害及恢复研究[J]. 中国 农学通报, 2016, 32(4): 21-25.

[18] 桑婧, 郝璐. 近 30 年中国主要农业气象灾害典型场时空格局分异 特征[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1302-1314.

[19] 杨洋, 张晓煜, 张磊, 等. 宁夏酿酒葡萄越冬期冻害时空分布特 征[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(6): 214-222.

[20] 袁嘉玮, 张健, 薛琴琴, 等. 运城市苹果主产区丰产果园土壤养 分状况分析[J]. 山西农业科学, 2019, 47(6): 1034-1039.

[21] 党宏忠, 冯金超, 董瑞香, 等. 晚霜冻害对黄土区苹果树水分利 用能力的影响[J]. 林业科学研究, 2019, 32(4): 137-143.

[22] 薛琴琴, 袁嘉玮, 张健, 等. 春季果园冻害对果树的影响及防御 措施[J]. 山西果树, 2019,(3):51-53.

[23] 孙智辉, 马远飞, 高志斌, 等. 洛川苹果花期冻害气候特征及人 工防霜可行性探讨[J]. 农学学报, 2015, 5(11): 109-112.

[24] 景春华. 生长素类似物在苹果树上的应用[J]. 农业科学研究, 2019, 40(3): 54-56.

[25] 范露. 喷施 NAA 对‘长富 2 号’苹果花芽发育生理特性及相关基 因表达的影响[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2019.

[26] 张雪, 梁俊, 景淑娟, 等. 植物生长调节剂对‘秦冠’苹果花粉管 生长和花粉萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 213-217.

[27] 薛晓敏, 王金政, 陈汝, 等. 苯乙酸对 3 个苹果品种的疏果效应试 验[J]. 落叶果树, 2016, 48(4): 3-5.