

姜燕敏, 吴昊旻, 刘娟, 等. 浙江丽水枇杷开花期及幼果期低温冻害时空分布特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 124-129. [JIANG Yanmin, WU Haomin, LIU Juan, et al. Temporal and Spatial Distribution of Frozen Injury at Flowering and Young Fruit Stages of Loquat in Lishui of Zhejiang [J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(1): 124-129], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0124

## 浙江丽水枇杷开花期及幼果期 低温冻害时空分布特征

姜燕敏<sup>1</sup>, 吴昊旻<sup>1</sup>, 刘娟<sup>2</sup>, 郑雯婧<sup>1</sup>

(1. 浙江省丽水市气象局, 浙江 丽水 323000; 2. 浙江省气象服务中心, 浙江 杭州 310017)

**摘要:**利用1971—2017年浙江丽水各县(市、区)枇杷开花、幼果期逐日最低气温观测资料,根据枇杷冻害等级划分指标,采用趋势分析法分析丽水枇杷开花、幼果期低温冻害的时空分布特征,并利用Mann-Kendall检验分析低温冻害的变化趋势和突变转折。结果表明:丽水枇杷开花、幼果期每年发生低温冻害日数分别为5.3 d和7.7 d;开花期12月下旬发生冻害日数最多,幼果期1月上旬发生冻害日数最多,且都以轻度冻害为主。枇杷开花、幼果期低温冻害日数由东南向东北递增,青田县发生低温冻害的几率最低(冻害日数分别为每年0.6 d和2.7 d),缙云县发生的几率最高(冻害日数每年分别为8.5 d和13.6 d)。枇杷开花、幼果期低温冻害的长期变化趋势表现为显著减少,且极端最低气温明显上升,即丽水枇杷开花、幼果期发生低温冻害的几率减小。枇杷开花、幼果期低温冻害减少发生突变点分别在1989年和1986年前后,且在21世纪初减少趋势最为显著。

**关键词:**枇杷花果期;低温冻害;等级指标

**文章编号:**1006-7639(2018)01-0124-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0124

**中图分类号:**P49

**文献标志码:**A

### 引言

近百年来全球气候正呈现以变暖为主要特征的显著变化<sup>[1-2]</sup>,并且随着时间和资料的延伸,温度升高程度加剧<sup>[3]</sup>,中国大陆年极端低温表现为由东南向西北随纬度、高度增加而降低的空间分布特征<sup>[4]</sup>。在气候变暖背景下极端天气气候事件发生的强度增大<sup>[5]</sup>,频率增多,影响范围更广,这严重影响和制约了农作物生产和社会经济的快速发展。李柏贞等<sup>[6]</sup>在分析江南茶叶主要农业气象灾害时指出:随着全球气候变暖,江南茶区早春霜冻和冬季冻害发生频率均呈北多南少的纬向地带性分布,且呈逐年代减小趋势;杨小利<sup>[7]</sup>根据统计的气象资料和苹果物候观测资料,确定了甘肃平凉市苹果花期冻害农业保险的风险等级;陈涛<sup>[8]</sup>对福州地区冬季日最低气温及枇杷冻害等级进行统计分析,探索福州地区枇杷冻害等级的时空变化特征。

枇杷为亚热带常绿果树,冬花夏实,是浙江丽水

的重要经济作物,作为中国气候养生之乡,丽水亚热带季风气候和山地立体气候并存,四季分明、雨热同步、冬暖春早、降水充沛、热量充足、无霜期长,适宜枇杷种植,有“浙江天然枇杷基因库”美誉。该地气候资源为枇杷的生长与发育提供了适宜的环境条件<sup>[9-10]</sup>。枇杷冬季开花,初春结果,恰逢一年中最冷时段,花、幼果易受冻害<sup>[11]</sup>,低温冻害对产量有很大影响,成为经济栽培的主要限制因素<sup>[12]</sup>。目前对丽水枇杷作物的研究主要集中在选种育种<sup>[13-14]</sup>,对枇杷冻害的影响研究并不多见。本文根据枇杷冻害等级指标<sup>[15-16]</sup>,对枇杷开花、幼果期低温冻害进行统计,分析丽水枇杷低温冻害的气候变化规律,利用Mann-Kendall检验枇杷开花、幼果期低温冻害的气候趋势,以期枇杷开花和幼果期低温冻害预测、气象灾害防御以及枇杷稳产增收提供理论依据。

### 1 资料与方法

根据气象行业标准《枇杷冻害等级》(QX/T 281

收稿日期:2017-08-29;改回日期:2017-11-29

基金项目:浙江省气象局科技计划项目(2016YB04)与丽水气候生态创新团队项目(2015-1-2)共同资助

作者简介:姜燕敏(1984—),女,江苏常州人,硕士,工程师,主要从事应用气象、农业气象和气候变化等相关研究。E-mail: ziyajiang1984@163.com。

-2015)<sup>[17]</sup>,结合丽水枇杷开花、幼果期气候特征<sup>[5]</sup>,将当年 11 月上旬至次年 2 月上旬定为枇杷开花期,1 月上旬至 3 月下旬设为幼果期,分别按照日极端最低气温将枇杷开花、幼果期冻害划分为轻度、中度、重度和极重 4 个等级,如表 1 所示。

利用丽水市 9 县(市、区)(莲都区、龙泉市、缙云县、遂昌县、云和县、青田县、庆元县、松阳县、景宁县)1971—2017 年逐日极端最低气温观测资料,采用趋势分析<sup>[18]</sup>和 Mann-Kendall 检验<sup>[19]</sup>研究丽水枇杷开花、幼果期低温冻害的时间变化特征、空间分布结构以及气候演变趋势。

表 1 枇杷冻害等级划分

Tab.1 Grade classification of Chinese loquat freezing injury

枇杷冻害等级	开花期极端最低气温/℃	幼果期极端最低气温/℃
轻度	$-4 < T_{\min} \leq -3$	$-2.5 < T_{\min} \leq -1$
中度	$-5 < T_{\min} \leq -4$	$-3.5 < T_{\min} \leq -2.5$
重度	$-6 < T_{\min} \leq -5$	$-4.5 < T_{\min} \leq -3.5$
极重	$T_{\min} \leq -6$	$T_{\min} \leq -4.5$

## 2 结果分析

### 2.1 枇杷开花、幼果期低温冻害的气候统计

根据枇杷开花、幼果期冻害等级指标<sup>[17]</sup>,分别统计枇杷开花、幼果期不同等级的冻害日数和极端最低气温的变化趋势,如图 1 所示。可以看出,丽水

枇杷开花、幼果期发生低温冻害日数年均分别为 5.3 d 和 7.7 d。1 月发生冻害的几率最大,极端最低气温也出现在 1 月,达  $-10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出现在缙云县。

枇杷开花期冻害总日数呈单峰型分布,12 月下旬最多(年均 1.2 d),达到顶峰;12 月下旬后随着日期延后,冻害日数缓慢减少。而极端最低气温最低的是 1 月上旬( $-10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),其次 12 月下旬、2 月上旬极端最低气温也较低(低于  $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。从冻害等级来看,轻度冻害发生的日数最多(年均 2.5 d,占开花期冻害的 46.5%),随冻害等级加重,发生概率减小,中度、重度和极重冻害分别占冻害日数的 29.1%、14.4% 和 10.0%,且 12 月下旬是重度和极重冻害的高发期。从花期时间来看,枇杷三花(1 月上旬至 2 月上旬开放的花,冻害日数年均 2.7 d)遭受冻害的几率最大;二花(11 月下旬至 12 月下旬开放的花,冻害日数年均 2.4 d)遭受冻害的几率比头花(11 月中旬以前开放的花,冻害日数年均只有 0.2 d)要大。

枇杷幼果期冻害日数随时间发生几率减小。1 月上旬至 2 月上旬是枇杷幼果期冻害的高发时段,年均 6.6 d,占总冻害日数的 86.1%,其中 1 月上旬冻害日数最多,年均 2.1 d。随着气温快速升高,2 月中旬开始冻害日数急剧减少,但若有冷空气、倒春寒等天气发生,气温下降会更明显,造成的伤害更严重。另外,极端最低气温 1 月上旬最低( $-10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),其次是 1 月下旬和 2 月上旬,分别达到  $-9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

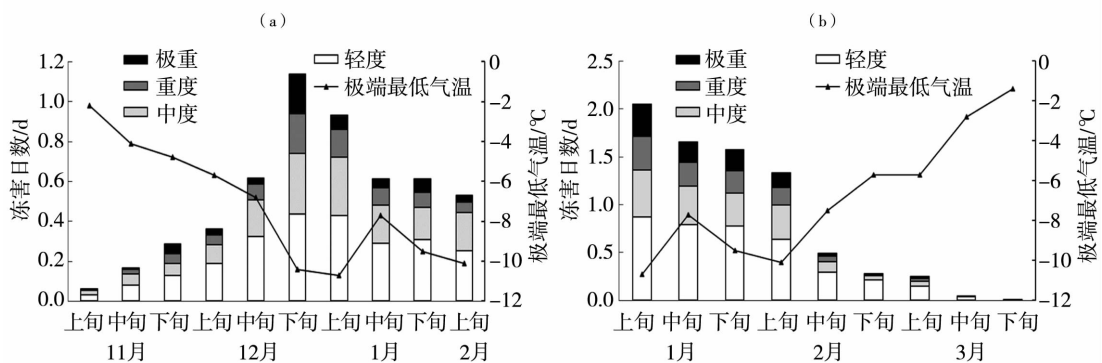


图 1 1971—2017 年丽水枇杷开花期(a)、幼果期(b)低温冻害日数及极端最低气温变化

Fig.1 The averaged frozen injury days and extreme minimum temperature at the stages of flowering (a) and young fruit (b) of loquat during 1971 - 2017 in Lishui of Zhejiang

### 2.2 枇杷开花、幼果期低温冻害的空间分布

图 2 为丽水枇杷开花、幼果期低温冻害日数的空间分布。由图 2(a)可见,丽水开花期低温冻害日数由东南向西北递增,东南部的青田县开花期冻害

日数最少,年均只有 0.6 d;处于中间区域的各县(市、区)年均冻害日数在 3.1 ~ 5.2 d;冻害日数最多的地区是东北部的缙云县和西北部的遂昌县,年均冻害日数分别达 8.5 d 和 8.6 d。

丽水枇杷幼果期低温冻害日数的空间分布与开花期相似,青田县(年均冻害日数达 2.7 d)发生冻害的几率最低,缙云县(年均冻害日数达 13.6 d)发生冻害几率最高,两地相差 10.9 d,而其他县(市、

区)枇杷幼果期年均冻害日数在 4.8~9.0 d。

### 2.3 枇杷开花、幼果期低温冻害的变化趋势

丽水枇杷开花、幼果期低温冻害日数的年变化趋势如图 3 所示。枇杷开花期冻害日数呈明显减少

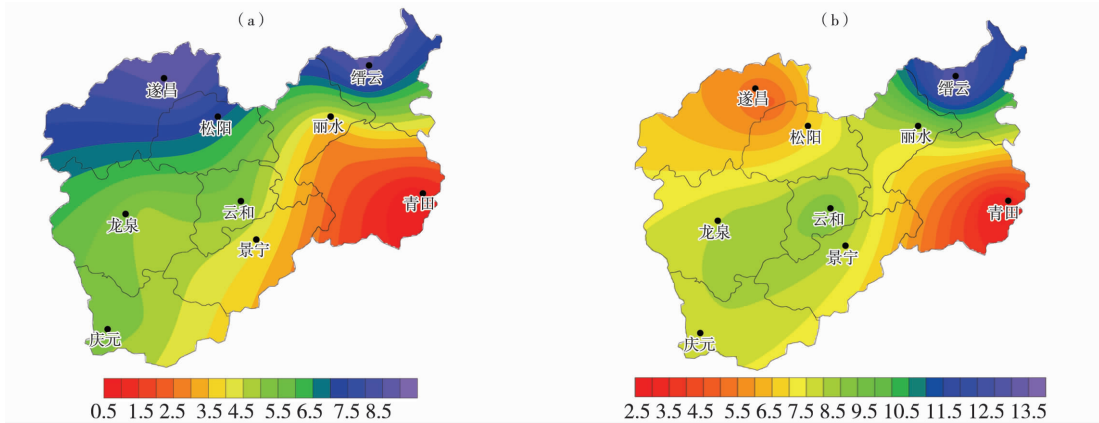


图 2 丽水枇杷开花期(a)、幼果期(b)低温冻害日数空间分布(单位:d)

Fig. 2 Spatial distributions of frozen injury at the stages of flowering (a) and young fruit (b) of loquat in Lishui (Unit:d)

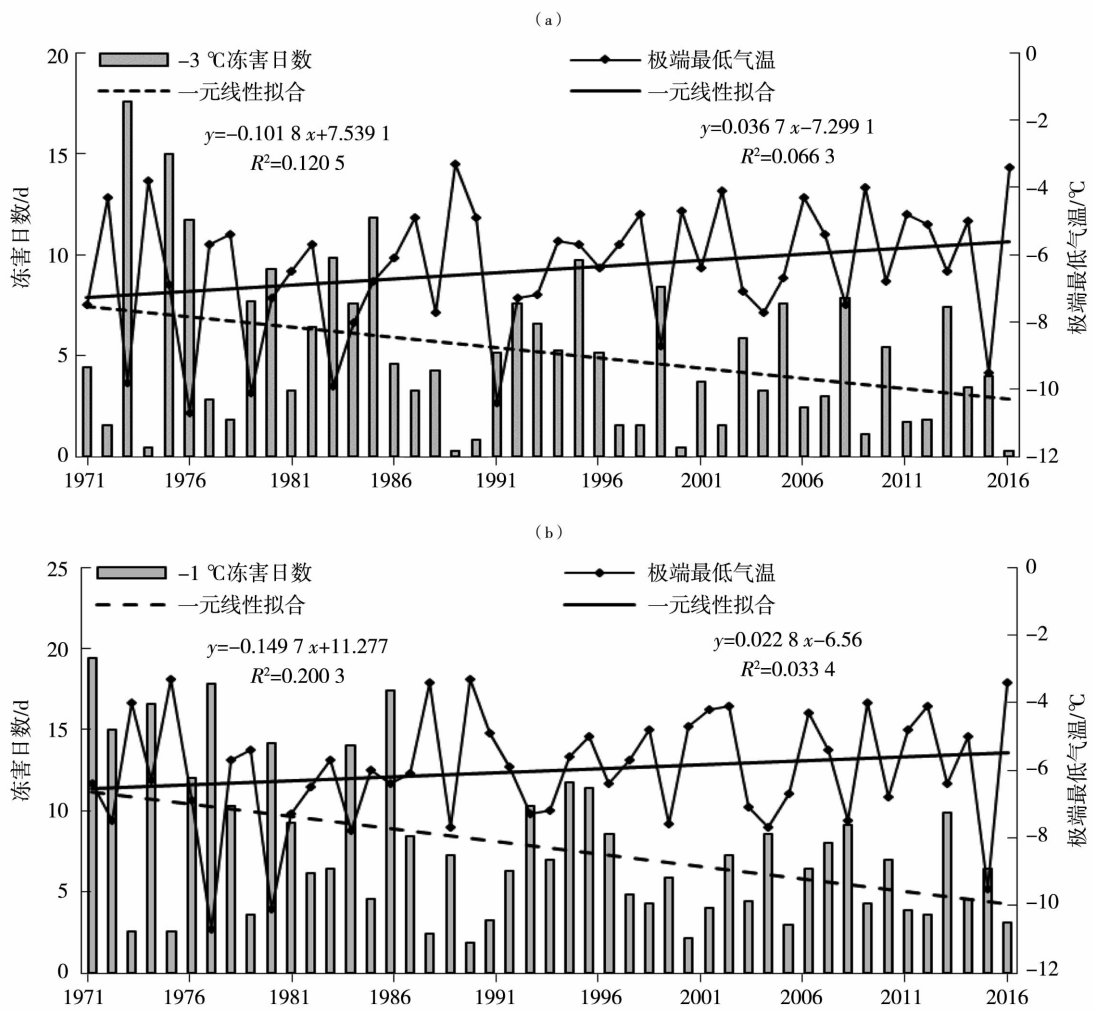


图 3 1971—2017 年枇杷开花期(a)、幼果期(b)低温冻害日数及极端最低气温变化趋势

Fig. 3 Climate change trend of frozen injury days at the stages of flowering (a) and young fruit (b) of loquat during 1971 - 2017 in Lishui

趋势,气候倾向率为 $-1.018 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $P \leq 0.05$ ),其中轻、中、重、极重冻害日数的气候倾向率分别为 $-0.380$ 、 $-0.336$ 、 $-0.184$ 、 $-0.119 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $P \leq 0.05$ )。枇杷幼果期低温冻害日数也急剧减少,气候倾向率为 $-1.497 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $P \leq 0.01$ ),减少趋势更加显著,其中轻、中、重、极重冻害日数的气候倾向率分别为 $-0.482$ 、 $-0.324$ 、 $-0.375$ 、 $-0.317 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $P \leq 0.01$ )。开花、幼果期极端最低气温都呈增加趋势,且与开花、幼果期冻害日数呈显著负相关关系,相关系数分别达 $-0.686$ 和 $-0.598$  ( $P \leq 0.01$ ),低温冻害日数显著减少,极端最低气温有所上升,即枇杷开花、幼果期遭受低温冻害的几率明显减小。

枇杷开花、幼果期低温冻害日数都表现为“先多后少”的变化趋势。1971—1986年,冻害日数明显偏多,枇杷开花、幼果期冻害日数正距平年份分别占9 a和10 a,且平均正距平冻害日数分别较年均水平多出5.6 d和6.9 d,尤其1973年开花期(冻害日数达17.6 d)和1971年幼果期(冻害日数达19.4 d)冻害日数达到最高值,分别较平均水平(开花期和幼果期年均冻害日数分别为5.3 d、7.7 d)高出12.3 d和11.7 d,极端最低气温也出现在该时段,1977年和1980年极端最低气温为 $-10.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-10.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;负距平年份中枇杷开花、幼果期低温冻害日数分别较年均水平偏少2.7 d和3.4 d。1987—2017年,开花、幼果期低温冻害日数明显减少,其间冻害负距平

年份分别占21 a和22 a,分别较年均水平偏少2.6 d、3.0 d;而正距平年份分别只有10 a和9 a,较年均水平分别偏多2.0 d和1.9 d;尤其是21世纪以来,枇杷开花、幼果期冻害日数基本以负距平为主,正距平年份仅有4 a,再次验证了枇杷开花、幼果期遭受低温冻害的几率明显减小。

#### 2.4 枇杷开花、幼果期低温冻害的 Mann - Kendall 检验

图4是枇杷开花、幼果期低温冻害日数的 Mann - Kendall 检验结果。可以看出,枇杷开花、幼果期低温冻害日数主要表现为明显减少趋势。其中开花期冻害日数在1973、1976、1980年和1983—1988年 UF 曲线大于零,表现为短暂的增加趋势,其余时间均为减少趋势;而幼果期低温冻害日数 UF 曲线一直为负值,表现出一致的减少趋势,甚至在1991—1992年和2001—2017年枇杷幼果期冻害日数突破0.05显著性水平临界线,21世纪初转为显著减少趋势。枇杷开花期冻害日数的 UF、UB 曲线相交于1989和1996年,1989年是枇杷开花期冻害日数由偏多转为偏少的突变点,1996年是波动变化形成的转折点,但变化趋势不显著,因此开花期冻害日数的突变点为1989年。枇杷幼果期冻害日数的 UF、UB 曲线相交于1986年前后,由缓慢减少转为明显递减。可见枇杷开花、幼果期冻害日数均在1980年代中后期发生突变,验证了上节枇杷冻害日数“先多后少”且在1986年转折的变化趋势。

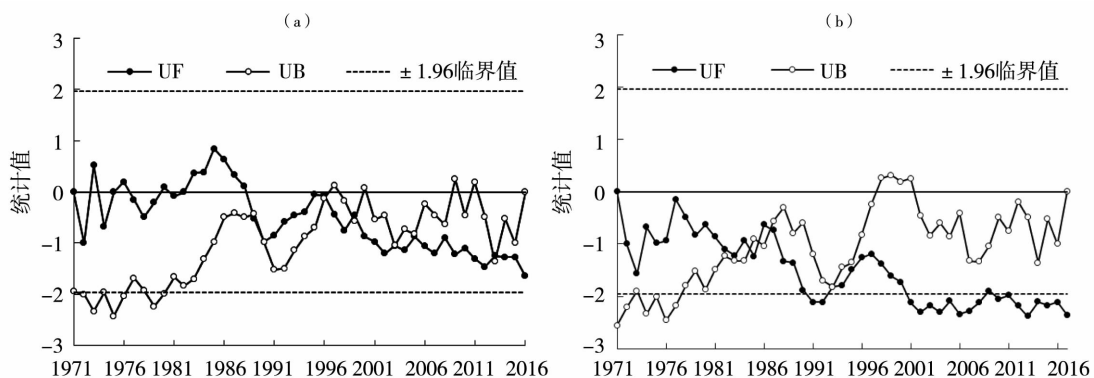


图4 1971—2017年枇杷开花期(a)、幼果期(b)低温冻害的 Mann - Kendall 检验

Fig. 4 Mann - Kendall test of frozen injury at the stages of flowering (a) and young fruit (b) of loquat during 1971 - 2017 in Lishui

### 3 结论与讨论

(1)丽水枇杷开花期年均冻害日数为5.3 d,冻害总日数呈单峰型分布,12月下旬冻害日数最多(年均1.2 d)。三个花期中,三花期的冻害日数最多(年均2.7 d),遭受冻害的几率最大。幼果期年均冻

害日数7.7 d,1月上旬冻害日数最多(年均2.1 d),随后冻害日数逐渐减少。枇杷开花、幼果期低温冻害日数以东南青田为最少,东北缙云为最多。

(2)枇杷开花、幼果期低温冻害日数的气候倾向率均表现为显著减少(轻度冻害日数减少趋势最

明显),极端最低气温上升趋势明显,枇杷发生低温冻害的几率将会减小。Mann - Kendall 检验表明,枇杷开花、幼果期低温冻害日数的突变点在 1980 年代中后期,开花期冻害日数在 1989 年由偏多转为偏少,幼果期冻害日数在 1986 年前后由缓慢减少转为快速递减,且在 21 世纪初减少趋势最为显著。

黄寿波等<sup>[12]</sup>在研究我国枇杷冻害的农业气象指标时指出,枇杷的花、幼果最易受冻,与本文研究结果相一致。在我国一般 1 月是一年中最低的月份,年极端最低气温除个别地点外,大多出现在 1 月,因此“三花”比“头花”和“二花”受冻害的可能性更大。枇杷幼果的耐寒性比花弱,只能耐 -3℃ 的低温(花能耐 -6℃ 的低温),前期花开放时,温度较高,不会遭受冻害,但其幼果要经历一年中温度最低的时期,所以易遭冻害。王加义等<sup>[20]</sup>采用福建气象站的地理信息资料,利用坡度和坡向信息建立枇杷冻害指标的空间分布特征模型,进而推算出冻害指标空间分布和低温冻害的受灾分布规律。丽水地形与福建相似,以中山丘陵为主,山地气候特点显著,今后将参考其研究思路,以 GIS 为研究平台,同时考虑下垫面情况、土壤类型等要素,建立适合丽水本地的枇杷低温冻害分布模型,为丽水枇杷生产的趋利避害提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [2] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):183-184.
- [3] 赵宗慈,王绍武,徐影,等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):808-817.
- [4] 武丽梅,陈璐,王凯,等. 中国大陆 1983—2012 年年极端气温时空变化特征[J]. 干旱气象,2016,34(6):945-951.
- [5] 徐雨晴,苗秋菊,沈永平. 2008 年:气候持续变暖,极端事件频发[J]. 气候变化研究进展,2009,5(1):56-60.
- [6] 李柏贞,谢佳杏,孔萍,等. 江南茶叶农业气象灾害风险区划[J]. 干旱气象,2015,33(6):1017-1023.
- [7] 杨小利. 甘肃平凉市苹果花期冻害农业保险风险等级评估[J]. 干旱气象,2014,32(2):281-285.
- [8] 陈涛. 福州山区枇杷冻害等级时空变化特征[J]. 福建农业科技,2016(8):9-13.
- [9] 周晓音,郑仕华,李国斌,等. 丽水枇杷优良单株选育初报[J]. 浙江农业科学,2011(1):44-46.
- [10] 吴昊旻,陈惠芬,何凯玲. 丽水市 1953—2010 年气温变化对四季长度的影响[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):76-80.
- [11] 姜燕敏,周晓音,柳婧,等. 丽水山区影响枇杷生长发育的临界气温历史变化特征分析[J]. 浙江农业学报,2015,27(6):1061-1066.
- [12] 黄寿波,沈朝栋,李国景. 我国枇杷冻害的农业气象指标及其防御技术[J]. 湖北气象,2000(4):17-20.
- [13] 周晓音,李国斌,陈俊伟. 白沙枇杷太平白的选育及应用[J]. 浙江农业科学,2012(3):318-319.
- [14] 周晓音,陈俊伟,徐红霞,等. 丽水白沙枇杷品种(系)果实发育的品质特性[J]. 浙江农业学报,2012,24(6):1004-1008.
- [15] 张辉,林新坚,吴一群,等. 基于 GIS 的福建永泰山区枇杷避冻区划[J]. 中国农业气象,2009,30(4):624-627.
- [16] 陈惠,杨凯,林晶,等. 枇杷幼果冻害低温等级指标的确定[J]. 中国农业气象,2016,37(1):91-97.
- [17] 全国农业气象标准化技术委员会. QX/T 281-2015 枇杷冻害等级[S]. 北京:气象出版社,2015.
- [18] 吴昊旻,黄安宁,何清,等. 北京气候中心气候模式 1.1 版预估中亚地区未来 50 年地面气温时空变化特征[J]. 气象学报,2013,71(2):261-274.
- [19] 茅海祥,王文. 1960—2010 年中国南方地区夏季旱涝时空分布特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(1):90-95.
- [20] 王加义,陈家金,李丽纯,等. GIS 在福建枇杷低温冻害分析中的应用[J]. 中国农业气象,2011,32(增刊1):153-156.

## Temporal and Spatial Distribution of Frozen Injury at Flowering and Young Fruit Stages of Loquat in Lishui of Zhejiang

JIANG Yanmin<sup>1</sup>, WU Haomin<sup>1</sup>, LIU Juan<sup>2</sup>, ZHENG Wenjing<sup>1</sup>

(1. *Lishui Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Lishui 323000, Zhejiang, China;*  
2. *Zhejiang Meteorological Service Center, Hangzhou 310017, China*)

**Abstract:** Based on daily minimum air temperature at the stages of flowering and young fruit of loquat from 7 observation stations in Lishui of Zhejiang during 1971 – 2017, the temporal and spatial characteristics of frozen injury at the stages of flowering and young fruit of loquat were analyzed by using the trend analysis method according to the frozen injury grade index, and the Mann – Kendall test was used to verify the trend, mutations and turning of frozen injury. The results show that the probability of frozen injury during flowering and young fruit stages of loquat occurring in Lishui was high with an annual mean of 5.3 d and 7.7 d, and the highest occurrence probability in late December for flowering stage and early January for young fruit stage, and they were focused on minor frozen injury. As for the spatial distribution of frozen injury, the probability increased from southeast to northeast, the lowest was in Qingtian county, and the highest was in Jinyun county. The long – term trend of frozen injury days during flowering and young fruit stages of loquat showed a significant decreasing trend, and the extreme minimum temperature rose significantly. The abrupt change of frozen injury occurred in 1989 and 1986 in Lishui, and the decreasing trend was the most significant in the early 21st century.

**Key words:** flowering and young fruit stage of loquat; frozen injury; grade index

(上接第 81 页)

## Climatic Change Characteristics in Wushaoling Region of Gansu Province During 1951 – 2016

TENG Shuichang<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>1</sup>, TENG Jie<sup>2</sup>, QIAO Qin<sup>1</sup>

(1. *Wushaoling Meteorology Station of Gansu Province, Tianzhu 733200, Gansu, China;*  
2. *Wuwei Meteorological Observatory of Gansu Province, Wuwei 733000, Gansu, China*)

**Abstract:** Based on the meteorological observation data from Wushaoling weather station of Gansu Province during 1951 – 2016, and the wavelet analysis method and other statistical methods were used to study the characteristics of regional climate change in Wushaoling under the background of global warming. The results show that air temperature in Wushaoling region presented rising trend with a rate of  $0.20\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ . The increasing range was maximum during 1997 – 2016, and in this period the average annual air temperature anomaly was  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which was up to  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  in recent five years. The air temperature occurred an abrupt change in 1997. The linear trend of annual precipitation did not change obviously, and there were quasi – 5 a, 13 a, 17 a, 43 a periodic changes. In the 1950s and the 1980s, the climate was humid, and in the 1960s and the 1970s, it was dry. In recent years, precipitation dispersion increased, and the frequency of heavy rainfall also increased, frost – free period extended, rain and snow days decreased, which all showed obvious climate warming. The db5 wavelet decomposition and R/S analysis showed that air temperature would continue to rise in the future, and precipitation would continue the current increase trend.

**Key words:** climate change; temperature; precipitation; statistical analysis