

张旭晖,杨建全,王 俊,等. 江苏枇杷冻害发生规律及风险区划[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):157-160.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.08.052

# 江苏枇杷冻害发生规律及风险区划

张旭晖<sup>1</sup>, 杨建全<sup>2</sup>, 王 俊<sup>3</sup>, 霍金兰<sup>4</sup>

(1. 江苏省气象服务中心, 江苏南京 210008; 2. 江苏省扬中市气象局, 江苏镇江 212200;  
3. 江苏省苏州市吴中区气象局, 江苏苏州 215128; 4. 江苏省盐城市盐都区气象局, 江苏盐城 224005)

**摘要:**针对江苏枇杷生产的实际情况,根据相关研究成果和对比观测资料,确定枇杷冻害致灾临界气象条件,建立以冻害程度密切相关的冬季极端最低气温、低温出现日数、冷积温为主要参数的冻害指数计算模型,研究江苏枇杷冻害发生时空分布规律,进行冻害风险区划,为江苏枇杷生产科学防御冻害提供依据。结果显示,江苏环太湖枇杷栽培区温度条件明显好于沿江和沿海栽培区,随着冬季气候的变暖,枇杷冻害有减轻的趋势,对江苏枇杷栽培极为有利。但枇杷栽培北延区(南通市北部、盐城市南部地区)的冻害明显重于传统种植区,即便是 1988 年气候变暖后,冬季冻害仍会频繁发生,因此,该区要尽量引种耐寒性较强的品种,积极营造小气候环境,加强冻害防范。

**关键词:**枇杷;冻害指数;发生规律;风险;区划;冻害防御

**中图分类号:** S425 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)08-0157-04

枇杷适合亚热带东部温暖湿润的气候条件,冬季开花、春季形成果实,其花和幼果在冬季或早春遇  $-3.0 \sim -9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温极易受冻,因此冬季极端最低气温是限制枇杷栽培最重要的因素。江苏是我国枇杷栽培的北缘地区,主要种植在太湖洞庭山一带,低温冻害是影响枇杷生产的主要气象灾害,如 2009 年 1 月 23—27 日,受强冷空气影响,江苏省苏州市持续低温冰冻天气,24 日早晨最低气温达  $-7.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,有 50% 左右的枇杷遭受冻害,造成幼果冻坏冻死,2009 年江苏省苏州市吴中区东山镇减产 50% ~ 60%,严重的果园基本绝收。近年来,随着强农富民政府的推进,枇杷栽培北延至江苏省扬中、南通、海门、东台等市,低温对江苏枇杷生产的危害更突出。

收稿日期:2014-07-29

基金项目:江苏省气象科研开放基金(编号:K201004)。

作者简介:张旭晖(1964—),女,江苏东台人,副研级高级工程师,主要从事应用气象研究。Tel: (025) 83287157; E-mail: qxjzxh@126.com。

定枇杷叶片光合作用指标中的气孔导度与净光合速率和蒸腾速率呈正相关,符合植物生长规律。但胞间二氧化碳浓度在各组之间差异均不显著,这可能是由于试验时受大气二氧化碳浓度影响较大,影响试验结果,这须要进一步研究探讨。试验时由于营养液及幼苗根部没有处于黑暗中,因此存在藻类生长的问题,可通过及时更换营养液进行清除。

## 参考文献:

- [1] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京:农业出版社,1979:309.
- [2] 姜路花,吴东林,王华忠,等. 枇杷育苗技术[J]. 浙江柑桔, 2001,18(3):45.
- [3] 郑少泉,许秀淡,蒋际谋,等. 枇杷品种与优质高效栽培技术原色图说[M]. 北京:中国农业出版社,2005:39-48.
- [4] 何俊涛,江国良,陈 栋,等. 大五星枇杷大棚栽培技术[J]. 北

本研究针对江苏枇杷生产的实际情况,根据相关研究成果<sup>[1-5]</sup>和对比观测资料,确定枇杷冻害致灾临界气象条件,建立以冻害程度密切相关的冬季极端最低气温、低温出现日数、冷积温为主要参数的冻害指数计算模型,研究江苏枇杷冻害发生时空分布规律,进行冻害风险区划,为江苏枇杷生产科学防御冻害提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

2010—2012 年在苏州市吴中区金庭镇衙角果园对比观测枇杷冻害情况。通过在枇杷树的迎风方搭建防风屏障,或者在较低矮枇杷树上方搭建遮阳网棚,每次冷空气来临前,预报极端最低气温可能降至  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下时,提前盖网。低温发生后,对比观测防风屏障或遮阳网棚内外枇杷受冻情况。

### 1.2 资料来源

历史气象资料来自江苏省气候中心,枇杷冻害灾情及产量等来自项目实际观测,或由江苏省扬中市农业局和江苏省

方园艺,2010(19):60-61.

- [5] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:164-165.
- [6] 李凤童,陈秀兰,刘春贵,等. 不同配方营养液对水培风信子生长及观赏品质的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(10):130-134.
- [7] 贺安娜,姚 奕. 虎耳草冬季净光合速率、蒸腾速率日变化及其影响因子分析[J]. 西南农业学报,2011,24(4):1298-1302.
- [8] 高建国,徐根娣,李文巧,等. 濒危植物长序榆(*Ulmus elongata*)幼苗光合特性的初步研究[J]. 生态环境学报,2011,20(1):66-71.
- [9] 彭丽丽,姜卫兵,韩 健,等. 连续修剪对金叶女贞不同叶位呈色和光合特性的影响[J]. 江苏农业学报,2013,29(2):399-404.
- [10] 彭世彰,魏 征,孔伟丽,等. 水肥亏缺下水稻叶片气孔导度与光合速率耦合模型[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):253-261.

苏州市吴中区农业局提供。

1.3 冻害指数确定

枇杷冻害主要发生在 12 月至次年 3 月。观测结果显示,当气温低于  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,落花落果严重,坐果率、品质和产量降低,这与前人研究结果相符。低温出现越频繁,极端气温越低,持续时间越长,冻害越重。综合考虑冬季最低气温( $T_n$ )、 $\leq -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温日数( $T_{nd}$ )、冷积温( $T_{ns}$ )为因子,构建低温冻害指数:

$$I = W_1 I_{T_n} + W_2 I_{T_{nd}} + W_3 I_{T_{ns}} \quad (1)$$

式中: $I$  为低温冻害指数, $W_i$  各指数的权重。综合各要素影响特点,基于层次分析法和专家打分法最终共同给出冬季最低气温、 $\leq -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温日数、冷积温的影响权重分别为 0.4、0.4、0.2。

1.3.1 极端低温影响指数 冬季极端最低气温( $T_n$ )最能表征冬季的低温强度,选用  $T_n$  作为枇杷受冻害影响的主导因子。以  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  作为低温冻害发生的临界温度,气温越低,危害越重;以  $-9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  为低温冻害最严重温度临界值。根据日最低气温指标的临界值及对应等级,建立低温影响指数模型:

$$I_{T_n} = \begin{cases} 1 & T_n \geq -9 \\ -0.5 - \frac{T_n}{6} & T_n \in (-9, -3]^{\circ} \\ 0 & T_n > -3 \end{cases} \quad (2)$$

1.3.2 低温日数影响指数  $\leq -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温日数  $T_{nd}$  是表征冻害强度的另一个气象因子。根据冬季日最低气温  $\leq -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  出现 9 d 作为低温冻害发生的临界温度,20 d 作为低温冻害最严重温度临界值,建立低温日数影响指数模型:

$$T_{nd} = \begin{cases} 1 & T_{nd} \geq 20 \\ 0.083 T_{nd} - 0.67 & T_{nd} \in [8, 20) \\ 0 & T_{nd} < 8 \end{cases} \quad (3)$$

1.3.3 冷积温影响指数 冷积温  $T_{ns}$  是指冬季  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下的低温日的日最低气温与  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的差值之和:

$$T_{ns} = \sum_{i=1}^n (T_{\min} + 3) \quad (4)$$

式中: $T_{\min}$  为日最低气温; $T_{ns}$  可表征冬季寒冷程度,其值越低,冻害越重。

根据冬季冷积温达到  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  作为低温冻害发生的临界温度, $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  作为低温冻害最严重温度临界值,建立低温日数影响指数模型如下:

$$I_{T_{ns}} = \begin{cases} 1 & T_{nd} \leq -35 \\ -0.067 T_{ns} - 1.33 & T_{nd} \in (-35, 20] \\ 0 & T_{ns} > -20 \end{cases} \quad (5)$$

1.3.4 冻害等级划分 根据上述低温冻害综合气候指标计算方法计算苏州吴中区历年低温冻害综合气候指标,综合历史灾情,确定枇杷低温冻害等级划分标准(表 1)。

表 1 枇杷低温冻害等级划分标准

等级	冻害指标(I)
轻度	$\leq 0.3$
中度	$< 0.3 \sim > 0.6$
重度	$\leq 0.6$

1.4 构建冻害风险指数

灾害危险性区划可客观反映某地可能发生灾害的概率或超越某一概率的灾害最大等级。冻害强度和发生频率是表征冻害在地域空间上的差异性规律和特征的基础,冻害风险表示如下:

$$H = \sum_{i=1}^n J_i \times P_i \quad (6)$$

式中: $H$  为冻害致灾风险指数; $J_i$ 、 $P_i$  分别表示第  $i$  个冻害强度等级以及该等级冻害发生概率。

综合考虑江苏省各等级冻害发生的强度及其出现频率,将枇杷冻害风险等级划分为 3 级,即高风险区、中等风险区、低风险区。

1.5 气候突变诊断方法

以信噪比检验霜冻的气候突变性<sup>[6]</sup>,计算公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 + S_2} \quad (7)$$

式中: $\bar{X}_1$ 、 $\bar{X}_2$  为 2 个气候阶段内的平均值; $S_1$ 、 $S_2$  为 2 个气候阶段内的标准差。当  $S/N \geq 1.0$  时,存在气候突变。

2 结果与分析

2.1 枇杷冻害发生规律

江苏省枇杷冻害南部明显轻于北部,环太湖枇杷栽培区温度条件明显好于沿江和沿海栽培区,为枇杷的稳产高产提供了良好的温度保障。由表 2 可见,近 53 年中,苏州冻害发生计 17 年,发生频率为 32.1%,约 3 年 1 遇,其中只有 3 年是重度灾害;无锡冻害发生计 23 年,发生频率为 43.4%,其中有 4 年是重度灾害;南通冻害发生计 27 年,约 2 年 1 遇,其中只有 4 年是重度灾害;扬中冻害发生计 29 年,发生频率为 54.7%,略高于南通,但其中有 6 年是重度灾害;东台冻害发生计 44 年,发生频率为 83.0%,且其中有 8 年达到重度灾害标准。

2.2 枇杷冻害时间变化特征

从冻害发生的年代看,重度冻害集中在 20 世纪 60 年代后期至 80 年代初期,其中 1969 年、1970 年、1980 年重灾的范围最广,危害最重。而 21 世纪的 2008 年、2009 年、2012 年的冻害只属于中度或轻度灾害。利用式(7)诊断江苏省各站 53 年冬季低温冻害指数气候突变性。取序列的长度 10 年计算

表 2 1961—2013 年江苏枇杷栽培产区冻害发生频率

地区	不同冻害程度发生年数(年)			冻害频率 (%)
	重度	中度	轻度	
苏州	3 年(1969、1970、1980)	7	7	32.1
无锡	4 年(1969、1970、1977、1980)	12	7	43.4
南通	4 年(1969、1970、1977、1980)	11	10	50.9
扬中	6 年(1966、1969、1970、1977、1980、1991)	14	9	54.7
东台	8 年(1967、1969、1970、1976、1980、1990、1991、2008)	22	14	83.0

$S/N$  值,全省各站均 $\geq 0.67$ ,普遍介于 $0.85 \sim 1.21$ 之间,其中苏州为 $0.92$ ,无锡为 $1.33$ ,南通为 $0.91$ ,扬中 $1.12$ ,东台为 $0.90$ 。为了增加突变信息,本研究取连续 $S/N \geq 0.67$ 的峰值作为突变点(当序列长度取 $10$ , $S/N$ 值 $\geq 0.67$ ,相当于 $t > 2.119$ ,达到 $95\%$ 信度以上的水平),则全省各站均发生突变,突变时间大多在 $20$ 世纪 $80$ 年后期至 $90$ 年代初,即在该时段枇杷冻害从相对频发期突变成相对低发期。

以突变点相对集中的 $1988$ 年为时间节点,比较气候变暖

前后冻害发生情况。图 $1$ 和图 $2$ 分别为 $1961—1987$ 年和 $1988—2013$ 年枇杷重度冻害发生频率分布图,比较可知,重度发生频率大于 $75\%$ 的区域(图中白色部分), $1987$ 年之前覆盖了淮北及江淮之间北部地区,而 $1988$ 年以后,大于 $75\%$ 的区域明显缩小,淮北西南部及江淮西北部发生频率均低于 $75\%$ ;重度发生频率小于 $25\%$ 的区域(图中黑色部分),已由江苏东南部扩展至苏南、南通全部及泰州与扬州的西南部。由此可见,冬季气候变暖后,对枇杷栽培是极为有利的。

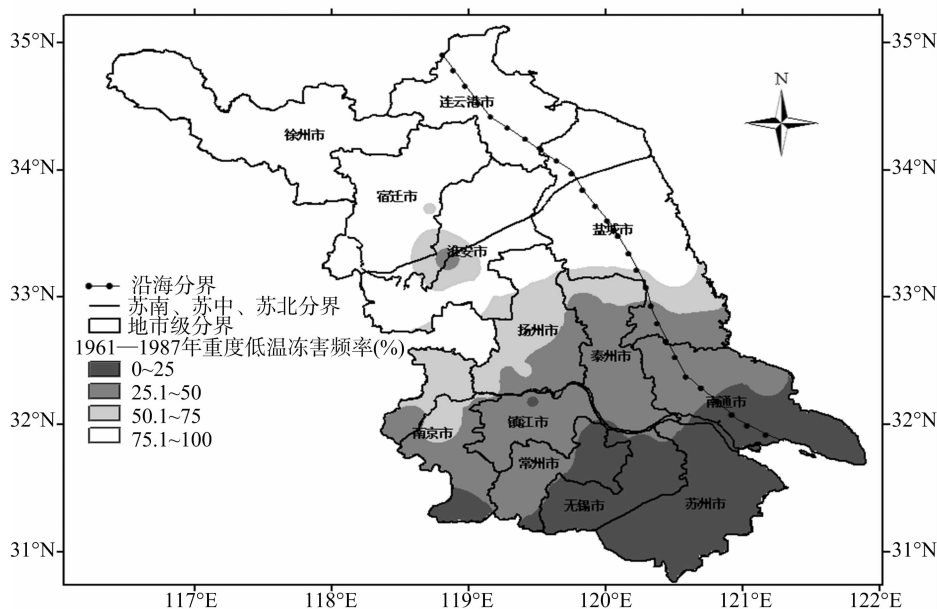


图1 1961—1987年枇杷重度冻害发生频率

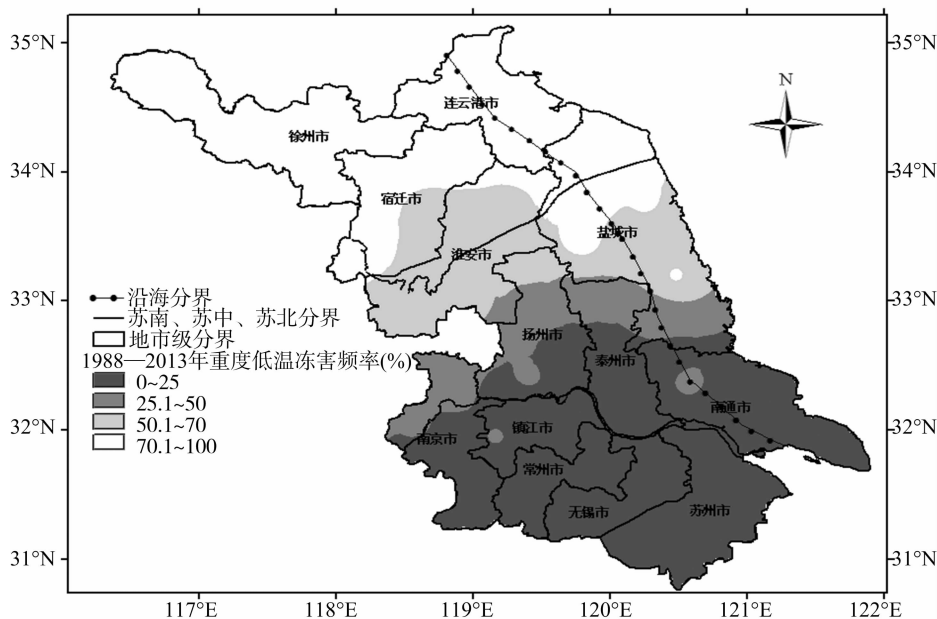


图2 1988—2013年枇杷重度冻害发生频率

### 2.3 枇杷冻害风险区划

根据公式(1)至公式(5)计算出 $1961—2013$ 年枇杷各级低温冻害发生频率,再由公式(6)计算风险指数。将研究区低温冻害风险指数划为高风险区、中风险区、低风险区 $3$ 级,

根据风险等级划分结果,采用GIS技术制作风险区划图(图3)。致灾风险指数值越高,表明发生低温冻害的可能性越大,冻害程度越严重。

#### 2.3.1 高风险区 江苏枇杷低温冻害高风险区(I区,图3

白色部分,风险指数在 2.02 ~ 2.62 之间)分布淮北地区和江淮之间西部地区,本区冬季低温冻害 10 年 9 遇,其中重度冻害 5 年 3 遇,即使在 1988 年气候变暖后,极端最低气温也在  $-13 \sim -18.0^{\circ}\text{C}$  之间,常年  $\leq -3.0^{\circ}\text{C}$  低温日数在 25 ~ 35 d。

其主要原因是地势低洼,易为冷空气堆积,加之纬度偏北,冻害发生时最低气温过低,且降温幅度大,可见本区气候条件不宜枇杷栽培。

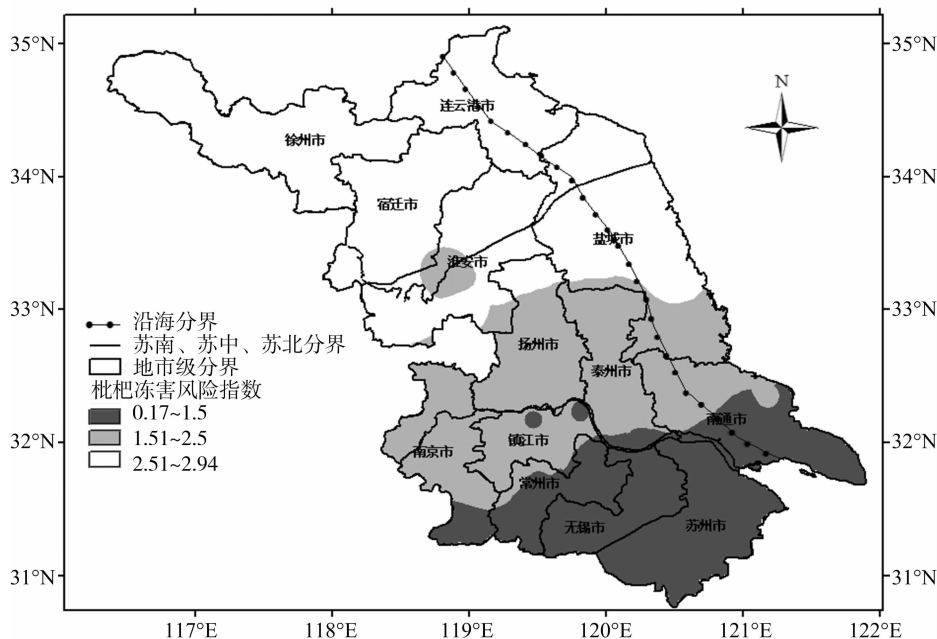


图3 江苏地区枇杷冻害风险区划图示

**2.3.2 中风险区** 枇杷低温冻害中度风险区在江淮西部、盐城市南部、南通市北部(Ⅱ区,图3灰色部分,风险指数在 0.91 ~ 2.01 之间),本区冬季低温冻害发生频率跟Ⅰ区持平略低,但冻害程度降低,重度、中度、轻度低温冻害发生频率比较接近,1988 年后,该区极端最低气温在  $-10.0 \sim -14.0^{\circ}\text{C}$  之间,常年  $\leq -3.0^{\circ}\text{C}$  低温日数在 15 ~ 25 d。近年来,在江苏强惠农政策的推动下,枇杷栽培面积不断向北延伸,本区栽培面积不断增加,但本区冻害仍然频繁发生,如东台市轻度以上冻害十有八九,中度以上的冻害 2 年 1 遇,即使在气候变暖以后,极端低温仍时有发生,因此,本区枇杷扩大种植需加强低温防范。

**2.3.3 低风险区** 枇杷低温冻害轻度风险区在苏、锡、常及淮北东南部(Ⅲ区,图3黑色部分,风险指数在 0.30 ~ 0.91 之间),该区重度低温冻害几乎不发生,特别是 1988 年后,中度低温冻害也少有发生,轻度冻害约 5 年 1 遇,该区极端最低气温也明显高于高、中风险区。1988 年气候变暖后,极端最低虽然也出现过低至  $-8.0^{\circ}\text{C}$  左右,但出现次数少,持续时间短,常年  $\leq -3.0^{\circ}\text{C}$  低温日数只有 5 ~ 10 d。这主要是由于纬度偏南,冻害发生时最低气温高于苏北,此外由于宁镇山脉的屏障,溧阳、宜兴、高淳一带地势较高;东山受太湖水体调节,减轻了冻害。

### 3 结论与讨论

江苏枇杷冻害发生程度南部明显轻于北部,环太湖枇杷栽培区温度条件明显好于沿江和沿海栽培区,为枇杷的稳产高产提供了良好的温度保障。随着冬季气候的变暖,传统种植区冻害有减轻的趋势,对江苏枇杷栽培是极为有利的。

近年来,在江苏强惠农政策的推动下,江苏省枇杷生产

规模在不断增加,栽培范围在向北延伸至南通市北部、盐城市南部地区,该区属于枇杷低温冻害中风险区,即便是 1988 年气候变暖后,常年  $\leq -3.0^{\circ}\text{C}$  低温日数在 15 ~ 25 d,冬季冻害仍会频繁发生,冻害明显重于传统种植区,因此该区要尽量引种耐寒性较强的品种,积极营造小气候环境,加强冻害防范。

2010—2012 年在苏州吴中区金庭镇衙角村枇杷防冻害试点进行对比试验,结果证明,使用建筑钢管和遮阳网在较高的枇杷树上搭建防风屏障,或者在较矮的枇杷树上搭建遮阳网棚,温度可以提高  $0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ,减缓风速,降低风力,调节园间湿度,可以有效减轻冻害、低温连阴雨、大风危害,减轻枇杷花和幼果的寒害,起到保花保果,减少落花落果,提高坐果率的作用,保证枇杷优质高产;此外,遮阳网棚内的茶叶和其他经济作物也有很好的防寒抗冻效果,提高产量和品质。可见,通过搭建防风屏障或遮阳网棚可以有效提高枇杷防冻害效果。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 谢钟琛,李健. 早钟 6 号枇杷幼果冻害温度界定及其栽培适宜区划[J]. 福建果树,2006,136(1):7-11.
- [3] 杜尧东,李春梅,毛慧琴. 广东省香蕉与荔枝寒害致灾因子和综合气候指标研究[J]. 生态学杂志,2006,25(2):225-230.
- [4] 吴仁烨,陈家豪,吴振海,等. 福州市枇杷低温害预警模型及其应用[J]. 江西农业学报,2007,19(1):56-59.
- [5] 李枷霖,袁卫民,蔡平. 苏南沿江地区白沙枇杷花果冻害调查[J]. 中国南方果树,2013,42(3):93-94.
- [6] 魏风英. 现代气候诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999:69-72.