

李政, 苏永秀, 王莹, 等. 芒果寒(冻)害等级划分及低温指标确定[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 18–22, 56. [LI Zheng, SHU Yongxiu, WANG Ying, et al. Determination of Cold (Freezing) Injury Classification and Indicator of Low Temperature on Mango[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 18–22, 56. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2017.03.004.]

芒果寒(冻)害等级划分及低温指标确定^{*}

李 政¹, 苏永秀¹, 王 莹¹, 陈 惠², 陆 虹³

(1. 广西壮族自治区气象减灾研究所, 广西南宁 530022;

2. 福建省气象科学研究所, 福建福州 350001; 3. 广西区气候中心, 广西南宁 530022)

摘 要: 为了明确芒果寒(冻)害作物形态学受害等级与气象灾害等级之间的关系, 划分气象灾害级别, 并确定寒(冻)害低温指标。根据历史气候资料、芒果寒(冻)害灾情资料, 以及2014/2015、2015/2016年冬季的地理移植试验和平行观测试验资料, 芒果寒(冻)害形态学标准、气象灾害分级标准, 采用数理统计和对比验证的方法, 对芒果寒(冻)害调查时间、灾害等级划分标准及相应等级的低温指标进行了研究。结果表明: 芒果寒(冻)害灾情实地调查一般应在冷空气过程或霜冻过程结束, 气温逐渐回升后的7~14d内进行; 轻度气象灾害对应的形态学受害标准为果树的枝叶, 早生花穗出现受害症状, 但不影响当年产量; 中度受害为果树的枝叶和多数花穗受害, 对当年甚至次年产量都有影响, 小苗及幼龄树嫁接部分被冻死; 重度受害为小苗及幼龄树被冻死, 成龄树接穗以上部分或全部受害; 严重受害成龄树死亡; 低温指标分别为轻度受害0.5~2.0℃、中度受害-1.0~0.5℃、重度受害-2.5~-1.0℃、严重受害<-2.5℃。研究结果对于开展芒果寒(冻)害监测预警及风险评估业务具有重要意义。

关键词: 芒果; 寒(冻)害; 灾害等级; 低温指标

中图分类号: X43; S667 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2017)03–0018–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2017.03.004

广西地处我国的南疆, 属亚热带季风气候区, 芒果种植面积全国最大, 产量排名全国第二, 仅次于海南省。虽然水热资源丰富, 具有发展芒果的优越气候条件, 但冬季寒潮入侵所带来的低温和冬季辐射降温引起的霜冻也常给广西芒果生产造成不同程度的损失, 其中1991/1992年、1992/1993年、1995/1996年、1999/2000年、2007/2008年、2013/2014年、2015/2016年等7次低温灾害就给广西芒果生产造成了不同程度的损失。因此, 开展芒果冬季低温灾害监测预警气象服务对芒果生产防灾减灾、合理化规模化发展等具有重要意义。低温寒冻害的致灾因子是温度, 在生物学上0℃以上的低温灾害称为寒害, 0℃以下的低温灾害称为冻害^[1]。目前, 国内对芒果寒(冻)害低温指标的研究很少, 大多数的研究主要是芒果生产对气象条件的需求、芒果种植气候适宜区等方面^[2-6], 这些研究或者是提出一个芒果适宜生长的阈值, 或者是提出的低温指标形态学界限模糊, 而随着全球气候变暖、水果品种更换、新的农业

技术措施的应用, 用旧的寒(冻)害低温指标, 让农业生产管理出现偏差, 导致品种特性不能充分发挥。因此, 开展气候变化背景下芒果寒(冻)害的分级标准和低温灾害分级指标研究意义重大。本文在历史芒果寒(冻)害灾情调查资料、受灾地域的历史气候资料、地理移植试验结果基础上, 根据芒果寒(冻)害形态学标准, 采用历史灾情资料反演、果园小气候观测平行观测试验和地理移植试验等方法, 明确寒害调查时间, 划分芒果寒(冻)害等级, 研究芒果的寒(冻)害低温指标, 为芒果生产提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 气象资料及处理

文中所采用的气象资料包括广西91个国家气象观测站1961–2016年逐日最低气温资料、区域自动气象站资料和平行观测果园安装的小气候

^{*} 收稿日期: 2016–12–16 修回日期: 2017–02–20

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406027); 广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118212、2015GXNSFAA138243); 广西科技计划项目(桂科 AB16380260)

第一作者简介: 李政(1978–), 广西南宁人, 高级工程师, 主要从事生态与农业气象研究工作. E-mail: lzwhh0771@163.com

通讯作者: 苏永秀(1963–), 广西灵川人, 正研级高级工程师, 主要从事生态与农业气象研究工作. E-mail: suyx03@126.com

观测站资料。其中,国家气象观测站和区域自动气象站资料来自广西壮族自治区气象信息中心;福建省莆田市、南靖县、宁德市、长泰县等的气候资料由福建省气象科学研究所提供,贵州省望谟县、四川省攀枝花市气候资料由中国气象局 CIMSS 平台提供;果园小气候观测站资料则是通过北京雨根科技有限公司的 RR-9140 和 RR-9140J 温湿雨辐射自动监测系统自动采集记录;果园灾情对应时段的气象资料用临近的区域自动气象站资料替代,若对应灾情年份无资料则经过时间序列订正,如:田阳县百育镇芒果园气象资料用临近的百育镇自动站(N6361)气象资料替代,右江区四塘镇芒果园用四塘镇浪塘自动站(N6020)替代,右江区阳圩镇芒果园用阳圩镇达江村自动站(N6040)替代,武鸣县双桥镇板脉屯芒果园用双桥镇双桥村自动站(N1269)替代。

1.2 芒果寒(冻)害灾情调查资料

芒果寒(冻)害灾情调查资料通过查阅相关历史文献资料^[7-14]、受灾果园实地调查、走访专家和农户等方式获得,共收集灾情样本 75 个。

1.3 寒(冻)害灾情的调查时间

在参考前人研究^[15-16]成果的基础上,进一步研究明确了芒果树寒(冻)害的调查时间。芒果树寒(冻)害的调查一般应该在冷空气过程或霜冻过程结束,气温逐渐回升后的 7~14 d 的时候开始进

行。此时,果树受害症状已经稳定,受害与未受害之间果树的区分比较清楚,调查结果能较好地反映果树真实的受害情况。

1.4 寒(冻)害灾情的分级标准及果园整体灾情的计算方法

以往研究中关于果树寒(冻)害等级的划分标准各不相同,给果树寒(冻)害指标的确定造成了一定的困难。本文参考了有关荔枝、龙眼、芒果等果树受害等级划分方法^[17-19],确定了芒果寒(冻)害形态学受害等级的分级标准及整个果园受害综合等级的计算方法,该标准将受害程度分为 6 个级别,见表 1 所示。

在实际应用中,由于气象部门的气象灾害分级标准一般分为无害、轻度、中度、重度、严重 5 个级别,这个标准与形态学分级标准不一致,给芒果寒(冻)害指标的确定造成了困难。为了使芒果树寒(冻)害形态学分级标准与气象部门划分的气象灾害标准相对应,需对形态学分级标准进行重新划分。其中,无害级别表示果树不受害;轻度受害则表示果树的枝叶,早生花穗出现受害症状,但不影响当年产量;中度受害表示果树的枝叶和多数花穗受害,对当年甚至次年产量都有影响,小苗及幼龄树嫁接部分被冻死;重度受害小苗及幼龄树被冻死,成龄树接穗以上部分或全部受害;严重受害成龄树死亡。划分结果见表 2。

表 1 芒果树寒(冻)害形态学受害等级分级标准

寒(冻)害级别	冻害表现部位及症状
0 级	未受害,花序无寒害
1 级	枝条不受害,叶片受害,出现水渍状斑点或斑块,花序受害干枯 <1/3
2 级	树冠外围枝叶受害,1 年生枝条受害,叶片末次梢顶芽干枯,花序受害干枯 1/3~1/2
3 级	大部分叶片干枯,2 年生枝条受害,逐渐干枯,花序受害干枯 1/2~2/3 对当年开花结果有严重影响
4 级	树冠受害全部干枯或主干受害干枯 >2/3,花序全部受害干枯,当年不能开花结果
5 级	接穗以上部分全部受害干枯死亡
6 级	砧木部分受害干枯,全株死亡

表 2 芒果树寒(冻)害形态学受害等级分级标准与气象灾害等级划分标准对应表

冻害级别	冻害表现部位及症状
无害(0 级)	未受害(对应形态学等级 0 级)
轻度(1 级)	小苗及幼龄树叶、枝条受害,但不枯死,2 年生以上成龄树嫩芽、嫩梢受害,一年生枝条受害,早生花穗冻死,不影响当年产量(对应形态学小苗及幼龄树受害程度 1~3 级,成龄树 1~2 级)
中度(2 级)	小苗及幼龄树主干二分之一以上部分被冻死,2 年生以上成龄树树冠上多数顶梢及花序被冻死,2~3 年生枝条被冻死,主干受害干枯,对当年开花结果有严重影响甚至当年不能开花结果,对当年甚至次年产量都有影响(对应形态学小苗及幼龄 4~5 级,成龄树 3~4 级)
重度(3 级)	小苗及幼龄树冻死干枯,2 年生以上成龄树接穗以上部分全部受害干枯(对应形态学小苗及幼龄 6 级,成龄树 5 级)
严重(4 级)	2 年生以上成龄树砧木部分受害干枯,全株死亡(对应形态学成龄树 6 级)

表 3 地理移植试验点历年低温情况

地名	所属地域	经度/°E	纬度/°N	海拔高度/m	$T_d/^\circ\text{C}$	$T_n/^\circ\text{C}$
资源	桂北	110.641	26.040	408.4	-4.2	-8.4
兴安	桂北	110.664	25.618	224	-2.5	-5.8
沙塘	桂中	109.383	24.467	97.5	0.4	-4.3
南宁	桂南	108.217	22.633	121.6	2.2	-2.1

表中： T_d 表示年极端最低气温历年平均值， T_n 表示历年极端最低气温。

为了对整个果园的果树受害情况进行整体评价和比较，由于果园内的果树因其所处位置、树龄、树势、管理水平等不同，其受害症状、受害等级也不同，利用公式(1)计算整个果园寒害的平均等级。

寒害平均等级 = $\sum(\text{寒害级别} \times \text{该级别株数}) / \text{调查总株数}$ 。(1)

1.5 芒果园平行观测试验和树苗地理移植试验

根据广西气候特点，分别在田林、阳圩、武鸣三地的芒果园设立了芒果寒(冻)害平行观测试验点，同时在资源、兴安、柳州沙塘、南宁等地的气象观测场附近设立芒果树苗低温寒(冻)害的地理移植试验点。平行观测试验是在试验果园内建立自动气象站与作物形态观测站，并在观测成龄树旁放置 5 株果苗，以便在寒(冻)害发生时获取果园内的相关温度数据及平行观测成龄树与果苗的受害症状。地理移植试验时间分别是 2014 年 11 月—2015 年 2 月、2015 年 11 月—2016 年 2 月。试验期间，在各个地理移植试验点中，分别移植了 1 年生的芒果树幼苗 5 株，并对每一株的受害症状进行观测，即在冷空气来临或出现霜冻的时候，观测树苗有无寒冻害现象，记录每株果苗叶片变色，树枝、树干枯死部位，并用数码相机拍摄受害状况。各移植点的历年低温情况见表 3。

1.6 芒果寒(冻)害低温等级指标确定

采用数理统计分析方法和对比验证方法确定芒果寒(冻)害低温等级指标。统计分析软件分别为 Microsoft Excel 2007 和 SPSS Statistics 17.0。

2 结果与分析

2.1 芒果寒(冻)害低温指标的确定

根据表 2 的等级划分结果，对调查收集的 75 个芒果寒(冻)害灾情样本进行等级划分，逐一确定 75 个样本的寒冻害等级。本文把 2013 年冬季以前的 45 个灾情样本作为确定指标的样本，把 2014—2015 年冬季的 30 个灾情样本作为灾情指标的对比验证样本。将确定指标的样本寒(冻)害等级与对应的过程极端最低气温(T_d)绘制点聚图(图 1)。

由图 1 可见，最低气温(T_n)与芒果寒(冻)害等级之间有显著的负相关关系，即温度越低寒(冻)害等级越高。分别用线性方程、二次方程、三次方程、对数、幂函数和指数函数对数据进行拟合，发现只有线性方程、二次方程、三次方程能拟合成功，其

中线性方程拟合效果最好，方程如下：

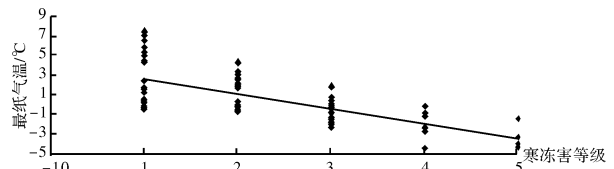


图 1 芒果寒(冻)害等级与最低气温点聚图

$$T_n = 2.6535 - 1.4793x. \quad (2)$$

方程相关系数 $R = 0.685$, $n = 75$, 经查表通过 0.01 的统计检验，方程拟合效果显著。得到方程后，再将寒(冻)害临界等级 $x = 0.5, 1.5, 2.5, 3.5$ 分别代入，求出各级寒(冻)害指标的阈值，并据此初步确定各级指标的区间，无害 $[2.0, +\infty)$ 、轻度受害 $[0.5, 2.0)$ 、中度受害 $[-1.0, 0.5)$ 、重度受害 $[-2.5, -1.0)$ 、严重受害 $(-2.5, -\infty)$ 。

2.2 芒果寒(冻)害低温指标的对比验证分析

基于统计分析得到的芒果寒(冻)害低温指标各个等级区间，利用地理移植试验、果园平行观测试验和历史典型年灾情样本进行了对比验证。

2.2.1 地理移植试验对比验证

根据 2014/2015、2015/2016 年冬季地理移植试验结果，利用各样本果苗实际发生的寒(冻)害等级与用寒(冻)害发生时所经历的最低气温(T_n)通过阈值划分得到的果树寒(冻)害等级进行对比分析，结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出，在资源、兴安、沙塘、南宁四个地理移植试验点中，除了资源 2015/2016 年和沙塘 2015/2016 年有等级差外，的试验点和年份利用最低气温判断的等级和实际的寒(冻)害等级基本吻合，吻合率为 75%。

2.2.2 平行观测试验对比验证

根据 2014/2015、2015/2016 年平行观测试验结果，利用各样本果苗实际发生的寒(冻)害等级与用寒(冻)害发生时所经历的最低气温(T_n)通过阈值划分得到的果树寒(冻)害等级进行对比分析(表 5)。

从表 5 可以看出，在三个平行观测试验点中，武鸣县双桥镇合美村芒果园 2014/2015 年、田林县乐里镇六良村芒果园 2015/2016 年、右江区阳圩镇陆丰芒果园 2015/2016 年等级相差 1 级，没有出现相差 2 级以上的现象，其他的试验点和年份基本与实际寒冻害等级一致，吻合率为 50%。

2.2.3 历史典型年对比验证

将指标判断值与 6 个典型寒冻害年的情况进行对比分析, 结果果树寒(冻)害等级进行对比分析

(表 6)。由表 6 可见, 用最低气温对照寒(冻)害指标得到的灾害等级与实际等级比较, 等级一致的占 38.9%, 等级相差 1 级的占 61.1%。

表 4 芒果树苗冬季寒(冻)害地理移植试验的寒(冻)害等级与按指标判断的等级对比

站名	年份	形态学特征	寒(冻)害等级	$T_n/^\circ\text{C}$	判断的等级	等级差
资源	2014/2015	整株死亡	4	-3.0	4	0
	2015/2016	整株死亡	4	-2.1	3	1
兴安	2014/2015	叶片受害, 树苗停止生长, 花序出现后	2	0.3	2	0
	2015/2016	不能正常生长发育、开花结果。	2	-0.5	2	0
沙塘	2014/2015	未出现明显受害症状, 3 月抽出花序。	0	3.9	0	0
	2015/2016	整株死亡。	3	0.7	1	-2
南宁	2014/2015	无受害症状	0	5.2	0	0
	2015/2016	叶片出现受害症状	1	1.4	1	0

表 5 芒果冬季寒(冻)害平行观测试验的寒(冻)害等级与按指标判断的等级对比

果园	年份	形态学特征		寒(冻)害等级	$T_n/^\circ\text{C}$	判断的等级	等级差
		成龄树	果苗				
田林县乐里镇 六良村芒果园	2014/2015	嫩芽、嫩叶受害	嫩叶、嫩芽受害	1	1.8	1	0
	2015/2016	嫩芽、嫩叶受害, 早生花穗死亡	嫩叶、嫩芽受害	1	0.4	2	-1
武鸣县双桥镇 合美村芒果园	2014/2015	嫩叶、嫩芽受害, 早生花穗死亡	嫩叶、嫩芽受害	1	0.1	2	-1
	2015/2016	嫩叶、嫩芽受害, 早生花穗死亡	嫩叶、嫩芽受害	1	2.1	1	0
右江区阳圩镇 陆丰芒果园	2014/2015	不受害	不受害	0	4.4	1	1
	2015/2016	嫩叶、嫩芽受害, 早生花穗死亡	嫩叶、嫩芽受害	1	-0.6	2	1

表 6 芒果树冬季寒(冻)害历史典型年资料等级与按指标判断的等级对比

地点	年份	寒(冻)害等级	$T_n/^\circ\text{C}$	判断的等级	等级差
扶绥县山圩农场那利分场	1995/1996	1	2.0	0	-1
南宁市明阳农场	1995/1996	1	-0.5	2	1
灵山县新光农场	1995/1996	0	1.2	1	1
灵山县华山农场	1995/1996	2	0.9	1	-1
崇左市江州区果园	1999/2000	1	1.8	1	0
莆田市仙游钟山镇兴泰果园	2003/2004	4	-4	4	0
田阳县百育镇果园	2007/2008	1	3.2	0	-1
百色市右江区四塘果园	2007/2008	2	0	2	0
百色市右江区阳圩镇果园	2007/2008	2	2	1	-1
望谟县农业科技示范园	2010/2011	2	-1.2	3	1
武鸣县双桥镇板脉屯果园	2013/2014	3	-1.2	3	0
田阳县百育镇果园	2013/2014	1	3.4	0	-1
田东县林科所果园	2013/2014	1	2.7	0	-1
攀枝花市仁和区总发乡果园	2013/2014	2	-0.5	2	1
南靖县南坑镇高港村果园	2014/2015	3	-1.9	3	0
宁德市三都澳果园	2015/2016	3	-2.5	3	1
长泰县群力果蔬园	2015/2016	2	-1.6	3	0
长泰县雪美农场	2015/2016	3	-1.7	3	0

通过以上对比验证可见, 灾害等级出现不一致比较多的样本主要是轻度和中度两个等级, 其中, 轻度等级出现等级差的有 5 个样本, 中度 4 个样本。

3 结论与讨论

(1) 过程极端最低气温代表了低温过程中的低温强度, 它是衡量芒果寒(冻)害是否发生及发生程度的关键因子, 同样, 低温的持续时间也是衡量寒(冻)害是否发生及发生程度的关键因子, 在同一低温强度下, 低温出现的时间越早, 持续的时间越长, 果树寒(冻)害发生的等级越严重。因此前人也有用最低气温、低温寒积量、最大降温幅度、低温持续日数等^[20-21]做为反映寒冷强度的指标或用这些因子建立了相关的寒(冻)害气象综合指数作为反应寒(冻)害强度的指标。研究过程中发现, 综合考虑多个寒(冻)害因子建立的寒冻害气象综合指数, 在用于实时的监测预警业务时存在一定困难, 因此本文仅考虑最低气温这一因子。

(2) 灾情样本与最低气温利用线性回归方法建立的模型拟合效果最好, 根据模型用临界等级输入, 得到的低温指标通过地理移植试验、平行观测试验以及历史典型寒(冻)害年的资料进行验证, 分析各个样本的实际灾害等级与低温指标所对应的灾害等级的差异, 统计各种验证的吻合率。结果表明, 地理移植试验的吻合率为 75%, 平行观测试验的吻合率为 50%, 历史灾年的吻合率为 38.9%, 除了地理移植试验中出现一次相差 2 级的等级差外, 所有出现等级差的样本都是相差 1 级。相差 1 级的样本主要是轻度和中度两个等级, 其中, 轻度等级出现等级差的有 5 个样本, 中度 4 个样本。这些结果表明, 受害与不受害, 重度受害与严重受害之间的界限清晰, 临界温度指标划分合理; 轻度受害和中度受害比较难以划分, 临界温度也比较模糊。因此可以认为文中确定的指标是基本可靠的, 这些指标对芒果寒冻害监测预警及寒冻害风险评估具有重要的参考价值。

(3) 文中灾情样本等级仅分为 0 级、1 级、2 级、3 级和 4 级并没有出现两个等级之间中间等级(0.5 级、1.5 级、2.5 级、3.5 级)的临界灾情样本, 若在拟合方程的样本中有中间等级灾情样本, 拟合的方程效果会更好, 确定出的指标所划分的等级对平行观测试验结果和历史灾年灾情结果的拟合率会更好。

(4) 芒果寒(冻)害的发生及受灾程度除了低温强度和时间内, 还与植株的生长状态、种植的地势、风向和采取的农业技术措施等有密切关系。一般以幼苗及 1~2 龄的幼龄树容易受冻, 树势较差或年限较长的老龄树也容易受冻; 种植地势较

高的地方果树受冻较轻, 甚至不受冻, 低洼地带受冷空气沉积影响果树受害率较高, 且程度较重; 对于同一树体, 上层树冠和迎风面树冠外层叶片和枝条受害较重, 下层树冠及背风面则受害较轻; 失管或少管果园, 果树受害率较高, 精细管理果园, 果树受害率较低, 即使受害程度与失管少管果园相近, 但受害后果树能够更好的恢复生长。因此在丘陵山地发展芒果栽培, 宜选择地势较高, 环境开阔, 冷空气容易排泄的地方为好。在栽培上, 应重视水肥管理, 促使植株健壮生长。在秋末冬初应适当控制水肥, 促使枝梢生长稳定、充实, 以提高植株的抗寒能力。

参考文献:

- [1] 崔读昌. 关于冻害、寒害、冷害和霜冻[J]. 中国农业气象, 1999, 20(1): 56-57.
- [2] 陈尚谟, 黄寿波, 温福光. 果树气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [3] 钟思强. 广西芒果花而不实及越冬问题的农业气象条件分析[J]. 农业气象, 1983, 4(4): 48-52.
- [4] 刘锦奎. 广东芒果生产的农业气候区划及合理布局[J]. 广东农业科学, 1996(5): 20-22.
- [5] 黄海平, 黎启仁, 文振德. 广西芒果布局初探[J]. 广西气象, 1996(2): 27-29.
- [6] 苏永秀, 李政. GIS 支持下的芒果种植农业气候区划[J]. 广西气象, 2002, 23(1): 46-48.
- [7] 寒害调查组. 1996 年广西农垦与华侨系统龙眼、荔枝及芒果树寒(冻)害调查总结[J]. 广西热作科技, 1996, 60(3): 7-16.
- [8] 何燕, 谭宗琨, 冯源. 1999 年严重霜冻、冰冻天气对广西农业的影响[J]. 广西气象, 2000, 21(1): 6-9.
- [9] 黄战威. 2010-2012 年右江河谷异常气候对芒果生产的影响及对策[J]. 中国热带农业, 2012, 49(6): 22-24.
- [10] 课题组. 霜冻灾害的反思—广西崇左县 1999 年末严重霜冻灾害的调查[J]. 桂海论丛, 2000, 25(2): 87-89.
- [11] 钟思强, 张镜昆, 李世周, 等. 1997 年广西龙眼荔枝芒果开花座果异常原因分析及对策[J]. 广西热作科技, 1997, 65(4): 1-15.
- [12] 薛进军, 姜建初, 唐建, 等. 2008 年荔枝芒果龙眼不同品种花穗冷害程度及处理效果[J]. 广西农学报, 2009, 24(S1): 37-41.
- [13] 莫蕤, 韦芳, 苏春芹, 等. 广西右江河谷 2008 年芒果低温寒害调查分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(1): 52-54.
- [14] 刘清国, 龚德勇, 王晓敏, 等. 贵州省几个芒果品种(系)寒害调查与抗寒性分析[J]. 广东农业科学, 2011(17): 26-28.
- [15] 陈锦祥. 龙眼、荔枝和芒果树寒害分级标准划分和寒害树处理[J]. 广西热作科技, 1996, 60(3): 17-19.
- [16] 郑少泉, 张泽煌, 许家辉, 等. 福建宁德地区 1999 年龙眼冻害调查及今后发展的思考[J]. 中国南方果树, 2000, 29(6): 24-26.
- [17] 尧金燕, 龙兴, 潘介春, 等. 2009 年广西荔枝、龙眼寒冻害调查与分析[J]. 广西农业科学, 2010, 41(9): 965-967.
- [18] 黄云, 刘斌, 杜邦, 等. 2013 年攀枝花芒果冻害调查报告[J]. 中国热带农业, 2014, 57(2): 51-54.
- [19] 陈惠, 王加义, 潘卫华, 等. 南亚热带主要果树冻(寒)害低温指标的确定[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 148-155.
- [20] 朱萌, 周沫, 乌兰, 等. 吉林省东部水稻延迟型冷害时空分布特征分析[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 223-228.
- [21] 杜春英, 姜丽霞, 朱海霞, 等. 基于积温距平的玉米冷害动态评估及其与玉米产量的关系[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 42-48.

(下转第 56 页)