

陈艺宏,林溪猛,黄声锦,等. 黄金百香果苗期寒冻害低温指标研究[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):63–68.

Chen Yihong, Lin Ximeng, Huang Shengjin, et al. Study on low temperature index of chilling injury in fruit seedling of passion fruit[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(2): 63–68.

黄金百香果苗期寒冻害低温指标研究

陈艺宏, 林溪猛, 黄声锦, 庄毅斌

(福建省漳州市气象局, 福建 漳州 363000)

摘要: 根据漳州市 1961—2021 年气候文献资料,采用聚类分析灾情样本资料,通过实地灾情、地理自然致灾试验和人工气候箱开展低温试验,对黄金百香果果苗寒冻害等级指标进行研究。结果表明,黄金百香果苗期寒冻害极端最低气温指标分别为:无寒冻害 $>5^{\circ}\text{C}$ 、轻度受害 $2.5\sim 5^{\circ}\text{C}$ 、中度受害 $0\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 、重度受害 $-2.5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 、严重受害 $\leq -2.5^{\circ}\text{C}$,并对等级指标对比验证,准确率在 75%以上。研究结果对于开展百香果寒冻害监测预警及风险评估业务具有参考意义。

关键词: 百香果;寒冻害;低温指标;日最低温度

中图分类号: S667.9

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.11

百香果又称鸡蛋果、巴西果,在广东、福建、广西、贵州等地区广泛种植,百香果是一种热带藤本常绿果树,枝蔓生长具有连续生长特性,粗生易长,只要温度、水分、光照等条件适宜,一年四季都可连续开花结果,热量条件为限制百香果种植分布的主要因子,冬季无霜冻是比较合适的温度条件。但是冬季寒潮入侵所带来的极端天气引起的霜冻常给百香果生产造成不同程度的损失,如 2021 年 1 月低温寒冻灾害就对漳州百香果的生产造成了严重损失。因此开展百香果冬季低温灾害监测预警与评估服务对百香果生产防灾减灾、合理化规模化发展等具有重要意义。

寒害是指作物在冬季遭遇 0°C 以上的低温灾害,引起作物生理机能障碍,对热带、亚热带经济作物危害严重;冻害是指作物在越冬期间,遭受持续 0°C 以下低温而丧失生理活性,使植株受损害或死亡。福建漳州是天然的“温室大棚”,很适合黄金百香果生长,已经成为本地的招牌产业,是中国黄金百香果三大优质产区之一,百香果种植面积达 3350hm^2 ,产量约 $8\times 10^7\text{kg}$ 。目前,国内对百香果寒冻害低温指标的研究很少,大多数的研究主要是荔枝、莲雾、香

蕉等果树的寒冻害低温等级^[1-5]和百香果种植气候适应性^[6-7]等方面,难以应用于百香果寒冻害的分类指导与灾损评估。低温寒冻害为百香果种植过程中最常见的农业气象灾害,本文通过收集黄金百香果寒冻害灾情资料、历史气候资料,在地理移植试验和人工气候箱开展低温试验结果基础上,划分黄金百香果果苗寒冻害等级,研究寒冻害低温指标,为百香果生产提供科学依据。

1 试验与方法

1.1 气象资料与处理

采用的气象资料包括漳州各县市区 1961—2021 年逐日最低气温,通过对百香果主产区邻近的区域自动气象站资料订正,获取百香果发生寒冻害灾情过程当时当地极端最低气温。数据处理采用聚类分析法中的 K-Means 划分法,将灾情样本数据进行比对分析,通过迭代质心的位置来划分类别,直到数据点不再发生类别变化就停止迭代,最终获取寒冻害等级指标的阈值。

1.2 灾情调查

冬季期间出现寒冻害天气过程后,选择长泰、华

收稿日期: 2021-11-07

基金项目: 福建省漳州市自然科学基金项目(2020J34)

作者简介: 陈艺宏(1984—),男,工程师,从事气象灾害防御技术研究。E-mail: 465506322@qq.com

安等地百香果主产区具有代表性的果园不同发育阶段百香果开展走访调查,结合灾情调查需要和地理自然致灾试验,设计灾情调查和寒冻害记录表,分别记录调查点百香果发芽期、生长期、开花期、结果期和成熟期植株幼苗、藤蔓、叶片等受冻害百分率,受害表现症状。

1.3 地理自然致灾试验

百香果顺利过冬来年有更好收成,需要剪掉过密和徒长的枝干,过多的枝条会消耗大量的养分,因此黄金百香果的茎叶主要是当年生长的茎叶。基于此特点,试验用的果苗采用盆栽方式进行培育,以模拟自然条件下百香果的种植。试验品种为漳州华安县主要栽种品种——黄金百香果。选取株高 40~50cm 左右,新梢 4~5 片叶,枝条粗细匀称,长势良好无病虫害的植株,试验地点与设置:2018 年 12 月至 2019 年 1 月,2019 年 12 月至 2020 年 2 月,分别在漳州南靖、天宝、华安、东山等 4 地气象站采用盆栽方式种植百香果幼苗,每个试验点放置 4 盆栽培育苗。当出现冷空气过程、霜冻或低温低于 9℃后,观察植株有无遭受寒冻害情况,用相机记录每株幼苗叶片变色情况,藤蔓枯黄部位、叶柄受寒冻情况等植株形态变化。

1.4 人工气候箱开展低温试验

试验品种为黄金百香果,选取株高 30cm 左右,新梢 4~5 片叶,枝条粗细匀称,长势良好无病虫害的植株,将试验用的幼苗放置室内栽培 3~4d。试验过程与处理:每个温度处理 4 盆幼苗样本,处理温度区间为-3~6℃,分别设定 6.0、5.0、3.0、1.0、0、-1、-2 和-3℃。首先将果苗放入可严格控温的光照培养箱

中,光强为 600~800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,空气相对湿度 75%,模拟自然降温至设定的起点温度,恒温保持 2h 后取出 4 盆幼苗样本,并标好记号,再以 1h 降温 1℃的速度继续降温至下一级,恒温 2h 后拿出第二个试验品,重复整个流程直至温度降至设定最低温度。人工胁迫致灾处理后,将试验苗放置于户外,不对根系、枝叶进行任何保温处理,一周后观测茎叶形态变化,统计植株茎叶的冻害情况,只要叶片上出现水渍状、退绿变黄或变褐色等症状,认定为遭受冻害,并详细记录植株叶片焦枯比例、落叶情况、枝干受损状况。

2 结果与分析

2.1 寒冻害形态学分级确定

百香果寒冻害发生后,开展灾害调查是评估寒冻害损失、制定合理的植株寒冻害护理措施的依据。以往研究中关于果树寒冻害等级划分标准不一样,各地区寒冻害程度不同,加上树势、品种、种植环境等不同而造成抗寒能力差异,对各种果树寒冻害指标的确定造成一定的难度^[8-11],特别是在黄金百香果遭受寒冻害后,缺乏在不同程度、不同等级危害下形态学变化的全面综述,对寒冻害症状描述不统一,给灾害分级、调查带来困难。本研究通过漳州南靖、天宝、华安、长泰等多个种植园发生寒冻害后树体的表现症状和危害性,结合文献收集、走访专家和灾情调查结果,根据植株受害程度进行分级,设无害、轻度、中度、重度、严重共 5 级寒冻害等级,并将各级别中的叶片、枝条受害症状进行归纳整理,得到百香果寒冻害形态学分级标准见表 1。

表 1 黄金百香果苗期寒冻害形态学受害等级

等级	受害症状
轻度:	幼叶叶尖边缘淡黄,新叶卷曲,芽头萎缩,枝蔓无变化
中度:	外围叶片出现卷曲,叶面出现水渍状斑块或斑点,蔓末端受冻萎焉,枝蔓无冻伤。
重度:	叶片焦黄斑块、卷曲,部分脱落,外围枝蔓受冻干枯,主干部分冻伤。
严重:	叶片全部萎焉,脱落,茎蔓褐变干枯,主干冻爆裂皮,深达木质部,组织柔软,植株腐烂坏死。

2.2 冻害低温等级指标的确定

根据地理自然致灾试验结果,整理 2018 年 12 月至 2019 年 1 月,2019 年 12 月至 2020 年 2 月低温寒冻害过后百香果园受损程度,并在 2020 年冬季期间出现寒冻害天气过程后,开展灾情实地走访调

查,共收集有效灾情样本 55 例,对照表 1 等级划分结果对调查收集的样本进行样本等级划分,逐一确定 55 个样本的寒冻害等级,并分别以 0、1、2、3、4 代表无害、轻度、中度、重度、严重,每个受害等级对应受灾区域当时的极端最低气温。

研究中选择日最低温度作为聚类分析的变量，寒冻害等级作为标识变量，聚类数为 4 类。K-means 算法的计算过程是从数据中随机抽取 4 个点作为初始聚类的中心点，系统取得的初始类中心（如表 2）分别为 5.18、2.63、-0.25 和 -2.81℃，代表各个类把每个点划分进相应的类，根据欧式距离最小原则，把每个点划分进距离最近的类中重新计算质心，根据均值等方法，重新计算每个类的质心迭代计算质心，重复第二步和第三步，4 个类中心点经过多次迭代后，迭代计算聚类完成，聚类中心不再发生移动，得到最终的各聚类中心分别为 4.93、2.27、-0.15 和 -2.64℃。为了确保等级指标方便用于农业生产，取 0.5℃整。由此可得，百香果的轻、中、重、严重寒冻害极端最低气温（Td）指标分别为： $2.5^{\circ}\text{C}<\text{Td}\leq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}<\text{Td}\leq 2.5^{\circ}\text{C}$ 、 $-2.5^{\circ}\text{C}<\text{Td}\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{Td}\leq -2.5^{\circ}\text{C}$ 。

表 2 聚类分析类中心

类中心	初始类中心	极端最低温度(℃)
1	5.18	4.93
2	2.63	2.27
3	-0.25	-0.15
4	-2.81	-2.64

2.3 寒冻害低温指标的对比验证

2.3.1 地理自然致灾对比试验

2018 年 12 月至 2019 年 1 月，2019 年 12 月至 2020 年 2 月，分别在漳州芗城、龙海、南靖、长泰 4 地盆栽移放试验，利用本试验实际遭受的寒冻害等级与冻害低温等级指标进行对比（表 3）。从表 3 可知除了 2018–2019 年南靖、2019–2020 年长泰等级相差 1 级外，其他的试验点与实际寒冻害等级一致，吻合率为 75%。

表 3 地理移植试验结果对比验证

站名	年份	形态学变化	寒冻害等级	Tn (℃)	判断等级	等级差
芗城	2018/2019	嫩芽、新叶受害	1	2.9	1	0
	2019/2020	无受害症状	0	6.2	0	0
龙海	2018/2019	蔓末端受冻萎蔫	2	2.2	2	0
	2019/2020	无受害症状	0	7.1	0	0
南靖	2018/2019	蔓末端受冻萎蔫	2	0.8	3	1
	2019/2020	嫩芽、新叶受害	1	2.9	1	0
长泰	2018/2019	蔓末端受冻萎蔫	2	1.8	2	0
	2019/2020	嫩叶微卷	1	5.4	0	-1

2.3.2 人工气候箱致灾试验对比验证

将试验用的百香果幼苗在各处理温度遭受的寒冻害等级与寒冻害指标判断的等级进行比较，可以从表 4 中得到，不同低温处理，各试验苗表现出相同

的特点，随着温度降低，形态学上寒冻害程度加剧。除了临界温度 0℃差 1 个等级外，其余 7 个都吻合，吻合率达 87.5%。

表 4 人工气候箱致灾试验结果对比验证

设定温度(℃)	持续时间(h)	形态学变化	实际寒冻害	等级判断	等级验证结果
6	2	无变化	0	0	一致
5	2	嫩芽新叶卷曲	1	1	一致
3	2	新叶发黄卷曲，嫩梢干枯	1	1	一致
1	2	枝蔓末端萎缩	2	2	一致
0	2	枝蔓外枝条萎缩	3	2	一致
-1	2	茎蔓受冻干枯、末端受冻干枯	3	3	一致
-2	2	茎蔓褐变焦枯，主干裂皮干枯	3	4	1
-3	2	冻死	4	4	一致

2.3.3 2020/2021 年灾情对比验证

受强冷空气南下影响,2020 年 12 月 30 日—2021 年 1 月 2 日漳州市出现寒潮天气,整个过程极端最低气温出现在 1 月 1 日。统计 2020 年 12 月 31 日 20 时—2021 年 1 月 1 日 08 时全市最低气温,共有 135 个站点最低气温 $<4^{\circ}\text{C}$,其中 45 个乡镇 $<0^{\circ}\text{C}$,以南靖南坑镇高港茶园 -4.8°C 为最低。2021 年 1 月 6—14 日漳州市再次出现持续性低温过程,整个过程极端最低气温出现在 1 月 13 日。全市除东山外均出现霜冻,高海拔山区出现结冰。统计 2021 年 1 月 12 日 20 时—13 日 08 时全市最低气温,共有 151 个站点 $<4^{\circ}\text{C}$,其中 92 个乡镇 $<0^{\circ}\text{C}$,以南靖南坑镇高港茶园 -8.3°C 为最低。两次低温天气过程间隔时间短、

持续时间长、影响范围广、降温幅度大,为近 40a 来罕见。

两次寒潮天气过程降温幅度大、持续时间长、极端最低气温异常偏低,百香果园处于成熟采摘期,部分果园已开始进行育苗。寒潮导致百香果出现中度以上的寒冻害,高海拔山区出现重度冻害,出现叶片枯黄脱落、藤蔓受冻干枯、果实受冻大量落果,严重的出现主茎和根部干裂,部分果园甚至绝收。将两次寒潮过程百香果寒冻害的情况与寒冻害等级指标进行对比分析,分析结果见表 5,2 个样本等级差 1 级,没有出现等级相差 1 级,剩下 7 个样本等级均一致,吻合率为 77.7%。

表 5 2020 年/2021 年灾情冻害资料指标验证

地点	寒冻害等级	Tn ($^{\circ}\text{C}$)	判断等级	等级差
华安沙建	3	-1.7	3	0
华安高安	2	-1.2	3	-1
漳浦绥安	2	1.0	2	0
漳浦盘陀	2	1.6	2	0
南靖南坑	4	-8.3	4	0
漳州天宝	2	2.1	2	0
长泰陈巷	3	2.3	2	1
诏安官陂	2	1.6	2	0
龙海浮宫	1	3.7	1	0

2.4 寒冻害低温指标的最终确定

通过以上验证可知,研究等级指标通过灾情典型年(2020/2021 年)、地理移植试验对比和人工气

候箱致灾试验结果验证准确率达 75%以上,说明初步确定的指标是可用的。结合寒冻害各等级形态学标准,最终确定黄金百香果寒冻害低温指标见表 6。

表 6 寒冻害低温等级指标及形态学变化

寒冻害低温等级	最低气温 Td ($^{\circ}\text{C}$)	叶片变化枝蔓变化
轻度	$2.5^{\circ}\text{C} < \text{Td} \leq 5.0^{\circ}\text{C}$	嫩芽新叶卷曲枝蔓无变化
中度	$0^{\circ}\text{C} < \text{Td} \leq 2.5^{\circ}\text{C}$	外围叶片卷曲嫩梢受冻干枯,次梢无冻伤
重度	$-2.5^{\circ}\text{C} < \text{Td} \leq 0^{\circ}\text{C}$	部分叶片枯黄脱落藤蔓受冻干枯,主蔓部分冻伤
严重	$\text{Td} \leq -2.5^{\circ}\text{C}$	叶片全部枯黄脱落枝条褐变焦枯,植株褐变死亡

3 结论与讨论

(1)寒冻害导致百香果叶肉细胞受损、失去生理活性,危害程度较低的会出现枯焦斑块,严重的叶片会整片枯焦脱落,寒冻害发生的次数虽不多,但是南方多丘陵山地,地形对冷空气阻滞作用,常使冷空气堆积,导致较长时间气温偏低,或强烈降温伴随着冻

雨、降雪的危害性天气,各种气象条件如最大降温幅度、持续日数和有害积寒值强度超过果树忍耐的程度,果树正常的生理功能受到影响,偏离了正常状态,使果树遭受严重损失^[12-15]。由于试验条件、技术水平有限和非气象因素复杂,本研究以日最低温度作为百香果果苗寒冻害发生和受害程度的分级标准,研究结果分 5 级,无寒冻害 $>5^{\circ}\text{C}$,轻度受害 $2.5\sim$

5℃、中度受害 0~2.5℃、重度受害 -2.5~0℃、严重受害 ≤-2.5℃。

(2)百香果遭遇寒冻害后其形态学受害症状很快出现,但是冻害症状是一个持续发展的动态过程,寒冻天气过程结束至春芽萌发这段时间,受冻症状会进一步发展,如寒冻天气过程结束时还保持绿色的叶片一段时间后干枯或叶脉逐级褐变而产生离层脱落。鉴于人工控制试验直接获取等级指标的不足之处,本研究只采用此方法对初步建立的等级指标进行验证,确定各温度区间黄金百香果受害程度是否吻合,研究还结合 2020/2021 年冬季寒潮天气寒冻害灾情调查资料,分析各样本实际寒冻害等级与寒冻害指标判定的等级对比印证,比对各种验证吻合率。地理移植试验和灾情对比印证结果吻合率均超过 75%,验证结果基本一致,指标可用,所确定的轻、中、重、严重寒冻害各级指标,对黄金百香果寒冻害监测预警服务及寒冻害风险评估研究应用具有重要的参考价值。

(3)百香果寒冻害的受损程度除了低温和持续时间等气象因子外,还和植株的品种、地理位置、树势等有关系。不同品种耐寒冻能力不同,如满天星和黄金百香果为热带品种,耐寒性会比台农一号、紫香一号等其他品种差一些,一般晚熟品种相对耐寒冻,地势低洼,迎风面易受冻。

参考文献:

- [1] 林苗苗,孙世航,齐秀娟,等.猕猴桃抗寒性研究进展[J].果树学报,2020,37(7):1073-1079.
- [2] 王明昌,刘布春,刘园,等.陕西苹果主产区花期冻害风险评估[J].中国农业气象,2020,41(6):381-392.

- [3] 刘世业,谭宗琨,包辉昌.冬季低温对广西香蕉生产及产量损失影响评估初步研究[J].气象研究与应用,2012(3):38-42.
- [4] 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.
- [5] 李敬源,钟晓云,叶瑜,等.苍梧县砂糖桔低温冷害风险区划[J].气象研究与应用,2014(1):63-66.
- [6] 韦金霖,林金红,翟殷斌.平果县石山区火龙果种植气候适应性分析[J].气象研究与应用,2018(1):66-69.
- [7] 徐芳,梁键锋,黄帆.梧州市百香果产业化气候可行性分析[J].气象研究与应用,2017(3):85-88.
- [8] 刘海蓉,谢伦胜,谷玉东,等.新疆温宿核桃生长关键期气象指标及气象灾害影响[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(3):131-136.
- [9] 杨凯,陈彬彬,陈惠,等.福建省台湾青枣寒害综合气候指标与等级划分[J].应用气象学报,2020,31(4):427-434.
- [10] 夏小曼,王海英,蒋运志.2008 年初罕见低温雨雪天气对柑桔的影响及补救措施[J].气象研究与应用,2017(3):55-56.
- [11] 陈惠,杨凯,李丽纯,等.莲雾寒冻害低温等级指标的确定[J].生态学杂志,2017,36(4):1047-1052.
- [12] 朱丽云,杨再强,李军,等.花期低温寡照对番茄开花坐果特性及果实品质的影响[J].中国农业气象,2017,38(7):456-465.
- [13] 岑雪连,徐芳,陈思毅.梧州市百香果气候适宜性种植区划研究[J].气象研究与应用,2018(4):51-53.
- [14] 晓凤,朱永宁,张磊,等.宁夏枸杞花期霜冻指标试验研究[J].应用气象学报,2020,31(4):417-426.
- [15] 朱秋宇,何慧,周秀华,等.广西持续性低温雨雪冰冻过程特征和气候成因分析[J].气象研究与应用,2019(1):38-41.

Study on low temperature index of chilling injury in fruit seedling of passion fruit

Chen Yihong, Lin Ximeng, Huang Shengjin, Zhuang Yibin
(Zhangzhou Meteorological Bureau, Fujian Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Based on the sample data of the cold damage of Golden passion fruit and the climate data of Zhangzhou city from 1961 to 2021, according to the morphological standard of passion fruit cold damage and the classification standard of meteorological disaster, the relationship between the morphological damage grade of cold damage crops and the meteorological disaster grade was clarified, the meteorological disaster grade was divided, and the low-temperature grade index of cold damage was determined by using the methods of cluster analysis and comparative verification of artificial simulated cold test. The results show that the cold injury indexes of Golden passion fruit seedlings are no cold injury $>5^{\circ}\text{C}$, mild injury $2.5\sim 5^{\circ}\text{C}$, moderate injury $0\sim 2.5^{\circ}\text{C}$, severe injury $-2.5\sim 0^{\circ}\text{C}$, severe injury $<-2.5^{\circ}\text{C}$, respectively. The low temperature indexes were verified by the field disaster and the low temperature test results of the artificial climate box, and the accuracy was over 75%. The research results have guiding significance for the monitoring, early warning and risk assessment of passion fruit cold damage.

Key words: passion fruit; cold and freezing injury; low temperature index; daily minimum temperature