

重庆市晚熟柑橘冻害指标的初步研究

唐余学¹ 余静平² 石姣姣³

(1 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2 重庆市綦江区气象局, 綦江 401420; 3 重庆市万州区气象局, 万州 404100)

摘要: 近年来重庆市晚熟柑橘冻害的发生不仅与低温强度及其持续时间有关, 同时与立地条件有较大相关。针对此情况, 基于冻害个例, 应用信息扩散理论, 建立了冻害临界温度、低温持续时间和坡度三要素构成的晚熟柑橘冻害指标。检验结果表明: 利用该指标对冻害程度的评价等级与实际情形较为吻合, 相较于目前采用较多的以最低温度判断冻害等级更符合重庆实际情况。该指标可应用于重庆市晚熟柑橘在越冬期的冻害监测和评估等工作, 具有一定的推广应用价值。

关键词: 晚熟柑橘, 冻害指标

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.02.019

Preliminary Study on Frozen Damage Index of Late Maturing Citrus in Chongqing

Tang Yuxue¹, She Jinping², Shi Jiaojiao³

(1 Chongqing Meteorological Science Institute, Chongqing 401147 2 Qijiang Meteorological Bureau, Qijiang 401420
3 Wanzhou Meteorological Bureau, Wanzhou 404100)

Abstract: In view of the fact that the freezing damage to late maturing citrus in Chongqing in recent years is not only related to the low temperature and its duration, but also to the site conditions. Based on some examples of freezing damage, the index of freezing damage to late maturing citrus is established by using information diffusion theory. The result shows that the evaluation grade of freezing damage degree by using this index is more consistent with the actual situation, and it is more in line with the actual situation of Chongqing than the lowest temperature judgment grade. This index can be applied to the monitoring and evaluation of freezing damage to late-maturing citrus in overwintering stage in Chongqing, and has certain popularization value.

Keywords: late maturing citrus, frost damage indicator

0 引言

重庆市地处长江上游, 积温丰富, 雨量丰沛, 无长江中下游地区的周期性冻害, 自然条件得天独厚, 经过多年发展, 现已成为我国最大的晚熟柑橘生产基地。截止到2019年末, 全市晚熟柑橘140万亩(1亩=666.66 m²), 占全市柑橘总面积40%。柑橘性喜温暖, 如遇低温, 易受冻害。受冻后, 轻则叶片卷曲、枝梢萎蔫, 影响正常生长发育, 重则果实失水、掉落, 影响产量和品质。据记载, 20世纪50—90年代, 我国柑橘栽培的北缘地区曾出现过6次大范围冻害^[1]; 三峡库区经历了4次大冻, 其中处于峡外的湖北库区(指秭归、兴山、夷陵、巴东等地)冻害重, 处于峡内的重庆库区冻害轻^[2], 其原因是重庆市柑橘主要种植在冬季温暖的长江干支流的沿江河谷地带。数据统

计表明: 近年来, 在全球气候变暖的背景下, 重庆极端天气发生频率增加, 冬季出现了几次影响较大的晚熟柑橘冻害。如2008年1—2月, 重庆市有20个区县柑橘受冻, 受灾面积0.4万 hm², 直接经济损失1.8亿元; 2012年12月—2013年1月, 万州、开州、巫山、垫江、奉节及江津等地的晚熟柑橘大面积受冻。重庆市晚熟柑橘越冬冻害问题逐渐引起重视, 越冬期冻害防御正成为晚熟柑橘冬季管理的重要内容。然而, 关于重庆市晚熟柑橘最为基础的冻害指标, 尚未有相关的研究结论。

目前国内常用的柑橘冻害指标, 一般以日最低气温达到-3℃、-5℃、-7℃、-9℃、-11℃作为柑橘冻害的不同等级, 并得到了较广泛的应用^[3-6]。然而, 事实表明, 近年来重庆市晚熟柑橘遭受冻害时, 日最低气温很多时候还未降至-3℃以下, 尚未达到上述冻害指标对日最低气温的最低要求。如2011年冬季至2012年初, 垫江县及长寿区的晚熟柑橘受冻, 当地的实时最低温度为-1.7℃, 并且在同一个果园

收稿日期: 2020年8月17日; 修回日期: 2020年11月4日
第一作者: 唐余学(1978—), Email: cqtangyx@foxmail.com
资助信息: 重庆市气象局科技攻关项目

里,低洼地受冻相对严重。推测其原因,可能是由于低洼地出现了“冷湖效应”使冷空气堆积。如果采用上述国内常用的柑橘冻害指标开展重庆市晚熟柑橘冻害监测和分析,必然会导致较大的误差。

农业气象指标可通过对大样本采用统计方法获得。但是,重庆市晚熟柑橘冻害个例少,统计方法并不适用。信息扩散方法是利用信息分配法把一个有观测值的样本变成模糊集,并把其携带的信息分配给模糊集中每一个点的一种优化处理样本资料方法^[7]。该方法对小样本统计和分析有较好的适用性,如:何书等基于信息扩散原理对重度、内聚力、内摩擦角、边坡高度、坡比等因子进行扩散,并结合BP网络对我国黄土边坡的稳定性进行分析^[8];朱再春等基于信息扩散理论建立北京地区冬小麦关键期遥感数据和实测产量的离散关系模型实现估产^[9]。信息扩散方法具有可操作性强、数据需求较小、评价结果意义明确等优势,也符合灾害风险评估的要求,在自然灾害风险评估中应用较广,如:陈建杰等运用信息扩散方法对四川盆地农业旱灾受灾率进行扩散,分析不同风险水平下的旱灾概率及其分布^[10];高歌利用信息扩散模型对我国历次的台风直接经济损失进行扩散,评估了我国台风灾害年和月尺度的风险^[11]。为了较准确地得到重庆市晚熟柑橘的冻害指标,本文以近年来十分有限的冻害记录和冻害发生地的同期气象资料为基础,应用信息扩散理论,结合果园的立地条件,对晚熟柑橘冻害指标进行了初步研究,并利用该指标对冻害实例进行检验。

1 资料及方法

1.1 资料

选取重庆市2008—2019年晚熟柑橘冻害实例共22例,其中20例的最低气温为 $-3\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2例的最低气温为 $-4\sim -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随机选择其中的14例作为构建冻害指标的样本,另外8例作为冻害指标的检验。逐小时最低气温数据来自于受冻果园附近的自动气象观测站。坡度数据来自于GIS平台对受冻果园高程数据分析的结果。

1.2 方法

最低温度是冻害指标中最重要的因子。当最低温度低于某个值,冻害极易发生,此时的最低温度以下简称为冻害临界温度。众所周知,低温天气持续时间是引起冻害发生的原因以及研判冻害程度的重要因素。重庆市多丘陵山地,柑橘园具有浅丘、坡地等地形特征,在低温天气持续的情况下,冷空气在坡底堆积形成“冷湖效应”,也易导致冻害发生。基于以上考虑,本研究的冻害指标由冻害临界温度、低温持续

时间及坡度三个要素构成。

信息扩散方法是把观察样本的信息,通过信息扩散模型,将其携带的信息扩散给给定论域所有点的方法,其实现过程如下:1)根据观察样本的范围,设定对应的论域和等间距的离散点;2)按照正态信息扩散模型,对样本进行集值化的模糊数学方法处理;3)利用隶属函数,计算观察样本点落在某论域点的概率值和超越概率值。

冻害指标构建方法和实现步骤如下。

第一步,建立冻害实例的最低温度资料序列,根据信息扩散方法,对冻害临界温度进行扩散,以超越频率70%的论域样本点作为冻害临界温度;第二步,以冻害临界温度为依据,对每次冻害实例的低温持续时间(即低于冻害临界温度的持续时间,单位:h)进行统计,建立低温持续时间的资料序列。对该序列进行扩散,以超越频率30%的论域样本点作为开始受冻的低温持续时间,以超越频率70%、90%分别作为中度、重度冻害等级的阈值;第三步,建立冻害实例的果园平均坡度资料序列,并用信息扩散模型对该序列进行扩散,以超越频率70%、90%的论域样本点作为坡度影响的阈值;第四步,根据冻害临界温度下的低温持续时间和坡度的阈值,建立二者的组合对共3乘3,即9对,并将冻害实例的实际冻害等级与这9对组合进行对比,以确定每一对组合所反应的冻害等级,再根据冻害等级把组合对进行归纳,从而建立冻害指标。

2 结果与分析

2.1 要素扩散

2.1.1 冻害临界温度

把重庆市晚熟柑橘冻害同期最低温度的观测记录记为观察样本集合 X ,根据观察样本的值,取集合为 $[-3.5, 0]$ 为最低温度 X 的论域,并将论域进行等距离离散,构成离散论域 U ,计算得到最低温度样本的扩散系数为0.608623,并进一步求出每一个最低温度水平下的晚熟柑橘冻害概率(图1),以及在每一个水平下的超越概率(表1)。

由图1可见,从 $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的各个水平,冻害均有一定的发生概率,冻害概率的变化曲线呈“单峰形”,当最低温度为 $-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时冻害的概率最高,为4.1%。在最低温度低于 $-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,随温度降低,冻害概率也降低;在高于 $-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,随着温度升高,冻害概率也降低。从表1可知,在最低温度 $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim -1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,集中了70%以上的冻害,在最低温度 $-1.6\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$,冻害概率约为30%。故 $-1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为达到超越概率70%的最低温度,即为晚熟柑橘冻害临界温度。

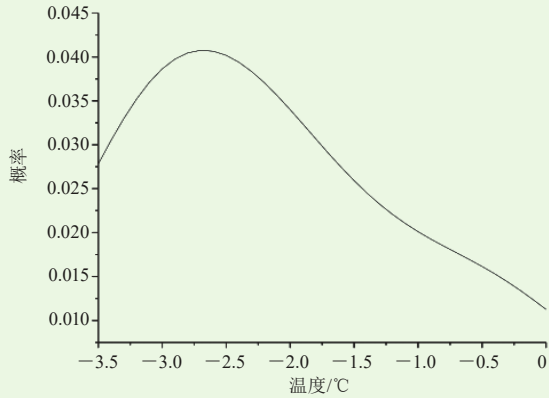


图1 最低温度样本点归一化后在论域中的概率

Fig. 1 Probability in the domain after normalization of temperature sample points

表1 晚熟柑橘冻害在不同温度水平下的超越概率

Table 1 Transcendental probability of freezing injury of late-maturing citrus at different temperature levels

最低温度	超越概率	最低温度	超越概率	最低温度	超越概率	最低温度	超越概率
-3.5	0.0278	-2.6	0.3639	-1.7	0.6805	-0.8	0.8825
-3.4	0.0583	-2.5	0.4041	-1.6	0.7079	-0.7	0.9002
-3.3	0.0913	-2.4	0.4435	-1.5	0.7338	-0.6	0.9171
-3.2	0.1265	-2.3	0.4818	-1.4	0.7583	-0.5	0.9333
-3.1	0.1636	-2.2	0.5188	-1.3	0.7815	-0.4	0.9486
-3.0	0.2023	-2.1	0.5544	-1.2	0.8036	-0.3	0.9630
-2.9	0.2420	-2.0	0.5884	-1.1	0.8246	-0.2	0.9764
-2.8	0.2825	-1.9	0.6208	-1.0	0.8447	-0.1	0.9887
-2.7	0.3233	-1.8	0.6514	-0.9	0.8640	0.0	1.0000

2.1.2 低温持续时间

根据冻害观察样本资料，建立同地同期的低温持续时间的论域及样本点（论域范围为1~16 h，控制点16个）。同样，将最低温度低于-1.6 °C的持续时间利用信息扩散理论，对其在不同论域样本水平下的概率和超越概率进行计算，得到了图2和表2。

由图2可知，冻害概率随低温持续时间变化的曲线为开口向下的抛物线，低温持续时间为7 h的时候冻害概率最高，达到7.4%；在7 h以上和以下，冻害概率分别随着时间增加、时间减少逐渐降低。由表2可知，低温持续时间11 h的超越概率74.2%（近70%），低温持续时间14 h的冻害概率91.2%（近90%），低温持续时间15~16 h的冻害概率之和为8.6%。根据在不同的低温持续时间下冻害发生的超越概率，将低温持续时间分成1~11 h、11~14 h和14 h以上等3个范围。

2.1.3 坡度

根据冻害观察样本资料，建立同地同期的坡度的论域及样本点（论域范围0°~11°，控制点12个）。同样，将冻害发生处的坡度，利用信息扩散理论，对其在不同论域样本水平下的概率和超越概率进行计算，

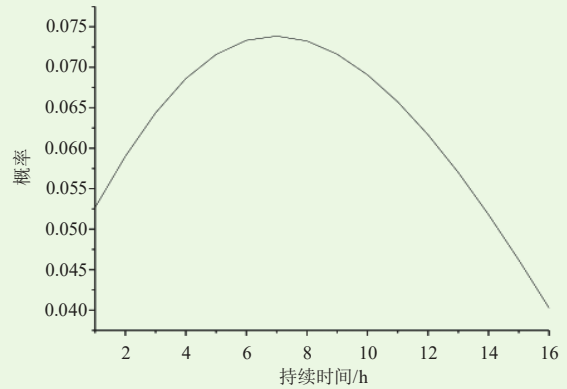


图2 低温持续时间样本点归一化后在论域中的概率

Fig. 2 Probability in the domain after normalization of sample points for low temperature duration

表2 晚熟柑橘冻害在不同的低温持续时间水平下的超越概率

Table 2 Transcendental probability of freezing damage to late-maturing citrus under different low temperature duration levels

持续时间/h	超越概率	持续时间/h	超越概率	持续时间/h	超越概率	持续时间/h	超越概率
1	1.000000	5	0.755363	9	0.463330	13	0.195246
2	0.947340	6	0.683770	10	0.391709	14	0.138246
3	0.888340	7	0.610440	11	0.322636	15	0.086442
4	0.823965	8	0.536583	12	0.256914	16	0.040261

得到图3和表3。

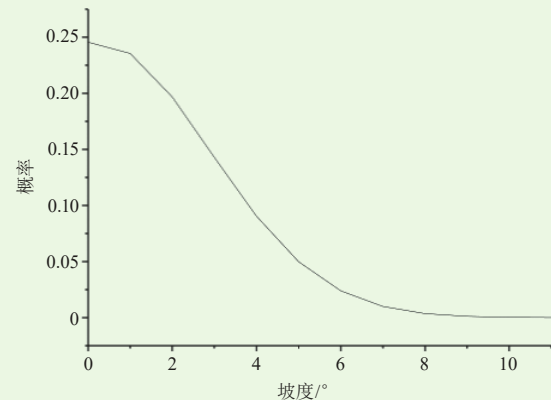


图3 坡度样本点归一化后在论域中的概率

Fig. 3 Probability in the domain after normalization of slope sample points

由图3可知，地形的坡度为0°时，冻害概率最高，达到23.5%；坡度0°~2°，冻害概率为67.8%；坡度大于3°后，冻害概率骤然降低，说明随着平坡向斜坡变化后，冻害概率迅速降低，意味着较平缓区域比坡度较大的区域冻害概率更高，也印证了在现场调查冻害事件中的观点：地形对冻害有较明显的影响，低洼凹槽处重、坡度越大影响越轻。探究其原因，可能是由于重庆柑橘产区的山脚谷底、低坝沟槽处的风

表3 晚熟柑橘冻害在不同坡度水平下的超越概率
Tabel 3 Transcendental probability of freezing injury of late-maturing citrus at different slope levels

坡度/°	超越概率	坡度	超越概率	坡度/°	超越概率
0	1.00000	4	0.17929	8	0.00516
1	0.75446	5	0.08883	9	0.00154
2	0.51892	6	0.03901	10	0.00039
3	0.32224	7	0.01513	11	0.00008

速较小，冷空气易堆积，形成冷湖效应，导致在同时有平地 and 坡地的果园里，平坡冻害比斜坡处严重；坡度2°~4°，冻害概率23.3%；坡度4°~11°，冻害概率1.3%，其中坡度大于7°时，各坡度条件下冻害概率较为接近，均不到1%，表明斜坡以上几乎不发生冻害。受冻害调查的样本限制，没有对坡度高于11°地区的冻害进行分析。由表3可知，坡度2°冻害超越概率67.8%，接近70.0%，坡度4°冻害超越概率为91.1%，接近90%，坡度4°~11°冻害概率1.3%。因此把坡度分成0°~2°、2°~4°、4°以上等3个范围。

2.2 指标建立

根据各要素的计算和分析结果，以-1.6℃作为冻害临界温度，分别与最低温度低于-1.6℃的持续时间1~11h、11~14h、14h以上和坡度0°~2°、2°~4°、4°以上构成3×3共9个组合对，结合冻害实例的实际冻害等级，对其中相同冻害等级的组合对进行归纳，最终建立重庆市晚熟柑橘冻害指标如下（表4）：

2.3 指标检验

本文对8个晚熟柑橘冻害实例进行冻害指标检验。将受冻果园邻近站点的气温观测值及低温持续时间作为果园的温度和低温持续时间，坡度为受冻果园的平均坡度，根据表4的冻害指标，计算出各个冻害实例的等级（冻害指标评级），最后与实际冻害情

表4 重庆市晚熟柑橘冻害综合指标
Table 4 Comprehensive index of freezing injury of late maturing citrus in Chongqing

冻害等级	最低气温≤-1.6℃的持续时间/h	坡度/°
轻度冻害	1~11	/
	11~14	2~4
	≥14	>4
中度冻害	11~14	0~2
	≥14	2~4
重度冻害	≥14	0~2

况做验证对比（冻害实际等级），对冻害实际等级的判定主要参考依据是“柑橘冻害标准”^[13]、“柑橘越冬期冻害形态”^[14]以及“广西北部地区柑橘冻害表现”^[15]。二者的对比结果如表5。

由表5可见，8个实例的冻害指标评级中有3个偏轻，其余5个基本符合冻害实际等级。第1例评级偏轻，原因是该果园种植的品种为蜜奈夏橙，该品种比其他的晚熟柑橘品种更不耐冻，本文的冻害指标基于大多数晚熟柑橘品种得来，故评级为轻度；第2例评级偏轻，原因暂时未知；第5例评级偏轻，原因与第1例近似，系该果园种植的晚熟品种较多，有蜜奈夏橙、塔罗科血橙、奥林达脐橙等，故评级中度，从冻害的实际情况看，应是夏橙重度受冻，其余品种为中度受冻。

如果采用当前国内大部柑橘产区最低温度<-3℃的冻害指标进行评价，则8个实例中仅实例2为轻度冻害、其余7例无冻害，与实际情形差异较大。

3 结论与讨论

1) 以日最低气温作为柑橘冻害指标的应用最为广泛，近年来报道过其他冻害指标，如干冻和湿冻指标等对重庆的适用性较低。因而，基于最低温度、低温持续时间以及坡度3个要素建立了重庆市晚熟柑橘

表5 晚熟柑橘冻害指标评级与冻害实际等级对比

Table 5 Comparison of frost damage index rating and actual frost damage grade of late maturing citrus

序号	区县	乡镇	日期	冻害情况	冻害指标评级	冻害实际等级
1	忠县	新立	2008年1—2月	主栽品种蜜奈夏橙，落果率40.8%	轻度	中度
2	长寿	龙河	2010年12—2011年1月	主栽品种W.默科特，果实受冻率80%左右，落果率达到60%，晚秋梢受冻率100%	中度	重度
3	长寿	新市	2010年12—2011年1月	主栽品种W.默科特，果实受冻率30%，落果率20%	轻度	轻度
4	垫江	白家	2010年12—2011年1月	主栽品种蜜奈，管理较好的果园落果量较少，仅5%~10%，属正常现象；管理较差的落果率高达50%以上。	轻度	轻度
5	垫江	包家	2010年12—2011年1月	主栽品种蜜奈、塔罗科血橙等，夏橙果实大量脱落，落果率30%~60%，奥林达、伏令夏橙落果率30%~40%。	中度	重度
6	垫江	高峰	2012年12—2013年1月	主栽品种W.默科特和班菲尔，果实受冻率80%左右，落果率25%~52%不等，有相当部分果实已经产生离层	重度	重度
7	开州	长沙	2012年12—2013年1月	主栽品种W.默科特，叶片和果实几乎全部受冻，半数以上果实已开始腐烂，落果率达50%以上	重度	重度
8	巫山	福田	2012年12—2013年1月	主栽品种W.默科特和晚熟脐橙，植株全部受冻，果实汁胞大都呈水浸状软化，果肉变苦，有的发酵变味	重度	重度

(下转147页)

本文基于长时间序列不同时间尺度的SPI指数,对湖南省的干旱特征进行研究,得到了一些有意义的结论,下一步将开展同类干旱指数的对比分析,并分析典型旱涝年的环流特征。

参考文献

- [1] 宋连春. 干旱. 北京: 气象出版社, 2003.
- [2] Cook E R, Meko D M, Stahle D W, et al. Drought reconstructions for the continental United States. *Journal of Climate*, 1999, 12(4): 1145-1162.
- [3] Zhuguo M A, Congbin F U. Some evidence of drying trend over northern China from 1951 to 2004. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(23): 2913-2925.
- [4] Wang J, Wang S, Zhang Q, et al. Characteristics of drought disaster-causing factors anomaly in Southwest and South China against the background of global warming. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24(5): 2241-2251.
- [5] Dai X G, Fu C B, Wang P. Interdecadal change of atmospheric stationary waves and North China drought. *Chinese Physics*, 2005, 14(4): 850-858.
- [6] 马柱国, 任小波. 1951—2006年中国区域干旱化特征. *气候变化研究进展*, 2007, 3(04): 195-201.
- [7] Qian W, Hu Q, Zhu Y, et al. Centennial-scale dry-wet variations in East Asia. *Climate Dynamics*, 2003, 21(21): 77-89.
- [8] He W, Zhao S, Liu Q, et al. Long-range correlation in the drought and flood index from 1470 to 2000 in eastern China. *International Journal of Climatology*, 2015, 36: 1676-1685.
- [9] Jiang X, Li Y, Wang X. Water vapor transport over China and its relationship with drought and flood in Yangtze River Basin. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(2): 153-163.
- [10] Guo R. Spatial-temporal characteristics of the drought and flood in southern China. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2009, 29(5): 598-605.
- [11] Yu F, Chen Z, Ren X, et al. Analysis of historical floods on the Yangtze River, China: Characteristics and explanations. *Geomorphology*, 2009, 113(3-4): 210-216.
- [12] Wang J S, Wei F. Climatic characteristics of extreme drought period from May to September in Northwest China. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 514-519.
- [13] 王劲松, 李耀辉, 王润元, 等. 我国气象干旱研究进展评述. *干旱气象*, 2012, 30(4): 497-508.
- [14] 张庆云, 陶诗言, 彭京备. 我国灾害性天气气候事件成因机理的研究进展. *大气科学*, 2008, 32(4): 815-825.
- [15] 马柱国, 华丽娟, 任小波. 中国近代北方极端干湿事件的演变规律. *地理学报*, 2003, 58(s1): 275-281.
- [16] 封国林, 杨涵涌, 张世轩, 等. 2011年春末夏初长江中下游地区旱涝急转成因初探. *大气科学*, 2012, 36(5): 1009-1026.
- [17] 徐栋夫, 李栋梁, 王慧. 我国西南地区秋季干湿分类及主要类型异常年环流特征分析. *大气科学*, 2014, 38(2): 373-385.
- [18] 李维京, 左金清, 宋艳玲, 等. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化. *气象*, 2015, 41(3): 261-271.
- [19] 李维京, 张若楠, 孙丞虎, 等. 中国南方旱涝年际年代际变化及成因研究进展. *应用气象学报*, 2016, 27(5): 577-591.
- [20] 曾庆华. 中国气象灾害大典(湖南卷). 北京: 气象出版社, 2006.
- [21] 湖南省气象局. 湖南省气候分析图集. 北京: 气象出版社, 2018.
- [22] 张剑明, 居晶琳, 黎祖贤, 等. 湖南省农业旱灾的年际变化及重灾年份预测. *自然灾害学报*, 2011, 20(5): 105-110.
- [23] 王婷, 章新平, 黎祖贤, 等. 近52年来洞庭湖流域气象干旱的时空分布特征. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(3): 514-522.
- [24] 张剑明, 廖玉芳, 彭嘉栋, 等. 湖南气象干旱日数的时空变化特征. *中国农业气象*, 2013, 34(6): 621-628.
- [25] 罗伯良, 彭莉莉, 张超. 2009年盛夏湖南持续高温干旱及同期大气环流异常分析. *干旱气象*, 2010, 28(1): 20-25.
- [26] 罗伯良, 李易芝. 2013年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常. *干旱气象*, 2014, 32(4): 593-598.
- [27] 彭莉莉, 戴泽军, 罗伯良, 等. 2013年夏季西太平洋副高异常特征及其对湖南高温干旱的影响. *干旱气象*, 2015, 33(2): 195-201.
- [28] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.
- [29] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 1990, 347(6289): 169-172.

(上接111页)

冻害指标,对冻害等级的判断与实际冻害等级吻合度较高,具有一定的推广应用价值。

2) 利用信息扩散方法开展冻害指标的研究,是应用信息扩散理论针对小样本开展农业气象指标构建的一个尝试。由于扩充的样本很大程度上源于计算机模拟,而非实际观测,故可能造成扩充样本质量的下降,对分析结果可能有一定影响,需要通过试验或者更多冻害个例不断修正和完善。

3) 利用3要素建立的冻害指标,总体上能够比较客观地对重庆市晚熟柑橘冻害进行评价,但构成指标的要素仍然不够全面,可能是实例2评级偏轻的原因。在下一步的工作中,将引入更多影响冻害的因子,如大水体的距离及作物本身的抗冻能力等,以构建更合理有效的冻害指标。

参考文献

- [1] 黄寿波. 我国柑橘栽培北缘地区的柑橘冻害分布. *浙江农业大学学报*, 1993, 9(4): 373-384.
- [2] 陈正洪, 杨红青, 倪国裕. 长江三峡柑桔的冻害和热害(一). *长江流域资源与环境*, 1993, 2(3): 226.
- [3] 毛留喜, 魏丽. 特色农业气象服务手册. 北京: 气象出版社, 2015.
- [4] 张养才. 气候变化对我国亚热带地区柑橘生态环境影响的研究. *长江流域资源与环境*, 1994, 3(3): 258-259.
- [5] 沈兆敏. 柑橘防灾抗灾技术. 北京: 金盾出版社, 1998.
- [6] 殷剑敏, 缪启龙, 李迎春, 等. 南丰蜜桔冻害的气候指标及风险评估. *中国农业气象*, 2008, 29(4): 507-510.
- [7] 黄崇福. 自然灾害风险评估理论与实践. 北京: 科学出版社, 2005.
- [8] 何书, 王家鼎, 王欢, 等. 基于信息扩散和BP网络的黄土边坡稳定性分析. *西北大学学报(自然科学版)*, 2008, 38(6): 983-989.
- [9] 朱再春, 陈联裙, 张锦水, 等. 基于信息扩散和关键期遥感数据的冬小麦估产模型. *农业工程学报*, 2011, 27(2): 187-194.
- [10] 陈建杰, 余锦华. 基于信息扩散理论的四川盆地农业旱灾风险评估. *大气科学学报*, 2016, 39(5): 712-720.
- [11] 高歌, 黄大鹏, 赵珊珊. 基于信息扩散方法的中国台风灾害年月尺度风险评估. *气象*, 2019, 45(11): 1600-1610.
- [12] 沈兆敏. 中国柑橘技术大全. 成都: 四川科学技术出版社, 1992.
- [13] 孙伟, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 低温冻害对浙江省柑橘生产的研究. *科技通报*, 2011, 27(1): 32-38.
- [14] 邓崇岭, 赵小龙, 邓光宙, 等. 广西北部柑桔冻害调查. *中国南方果树*, 2008, 37(6): 19-21.