

福建省果树寒(冻)害短期精细预报预警技术*

陈惠^{1**} 夏丽花² 王加义¹ 潘卫华¹ 徐宗焕¹ 蔡文华¹

(¹ 福建省气象科学研究所, 福州 350001; ² 福建省气象台, 福州 350001)

摘要 根据福建省 68 个气象站 1963—2008 年冬季气候资料, 利用数理统计和 GIS 方法, 对福建省果树寒(冻)害短期精细预报预警技术进行了研究。结果表明: 福建省果树寒(冻)害预警期为 12 月上旬—翌年 2 月中旬, 预警关键期为 12 月中旬—翌年 1 月中旬; 利用逐步回归建立的福州、厦门和邵武 3 个探空站日最低气温短期预报模型, 经差值法移植后, 可以用于全省各气象台站日最低气温短期预报; 建立各气象台站日最低气温与经度、纬度、海拔高度的地理关系推算模型, 利用 GIS 制作日最低气温预报分布图, 可以开展日最低气温空间精细预报; 结合荔枝、龙眼、香蕉等南亚热带果树寒(冻)害指标, 对果树寒(冻)害的发生、发展和范围进行短期预报预警; 2009 年利用差值移植法开展各气象站最低气温(t_d)的短期预报: $\leq 1^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 58.3%, $\leq 1.5^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 83.3%, $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 91.7%; 短期预报模型具有一定的预报能力, 能作为冬季低温定量预报方法。

关键词 亚热带果树; 寒(冻)害; 预报预警

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)4-0657-05

Short-term subtle forecast and early warning methods for cold (freezing) damage of fruit trees in Fujian Province. CHEN Hui¹, XIA Li-hua², WANG Jia-yi¹, PAN Wei-hua¹, XU Zong-huan¹, CAI Wen-hua¹ (¹ *Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 350001, China*; ² *Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 657–661.

Abstract: Based on the 1963–2008 meteorological data from 68 weather stations in Fujian Province, and by using mathematic statistics and GIS technique, the short-term subtle forecast and early warning methods for cold (freezing) damage of fruit trees in the province were approached. The forecast period for cold (freezing) damage of fruit trees was from early December to next early February, and the key period for warning low temperature was from mid December to next mid January. The short-term forecast equations for the minimum daytime temperature in Fuzhou, Xiamen, and Shaowu were established by stepwise regression analysis, which could be used for the forecast of short-term minimum temperature by all of the meteorological observation stations in Fujian Province by means of differential algorithms. Based on the data of longitude, latitude, and altitude, the geographical relational prediction model of the minimum daytime temperature was established, and the distribution map of forecasted low temperature was drawn with GIS technology, which could subtly forecast the minimum daytime temperature of whole Fujian Province. In combining with the cold (freezing) damage indices of fruit trees such as litchi, longan, and banana in southern subtropical monsoon climate zone, the forecast information of warning cold (freezing) damage of fruit trees were popularized, and the occurrence, development, and range of cold (freezing) damage for fruit trees were forecasted in short-term. By means of differential algorithms, the short-term minimum temperature was forecasted by all weather stations in the Province in 2009, and the forecast accuracy of $\leq 1^\circ\text{C}$, $\leq 1.5^\circ\text{C}$, and $\leq 2^\circ\text{C}$ was 58.3%, 83.3%, and 91.7%, respectively. It could be seen that our short-term forecast model possessed a certain forecast capability, and could be used for the quantificational forecasting of low temperature in winter.

Key words: subtropical fruit trees; cold (freezing) damage; forecast and early warning.

* “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD04B03)和福建省科技厅农业科技重点资助项目(2009N0030)。

** 通讯作者 E-mail: ch775@126.com

收稿日期: 2009-09-14 接受日期: 2009-12-18

罗宗洛在 20 世纪 50 年代早期对寒害有过明确的界定:“寒害是温度不低于零度,热带、亚热带植树,因气温降低引起种种生理机能上的障碍,因而遭受损伤。寒害北方少见,多见于热带、亚热带”(罗宗洛和殷宏章,1998)。江爱良(1997)在对热带、亚热带作物研究中明确指出,0℃以上的受害是寒害。崔读昌(1999)从温度强度、发生时期、生理反应、危害作物、作物状态和危害后果等方面,对寒害、冻害、冷害、霜冻进行过区分。但在实际工作中,往往把热带、亚热带地区冬季出现的寒害和冻害统称为寒害(黄文龙等,2000;林业寒害联合调查组,2001;罗晓玲等,2001)。为了兼顾各家的方法,本文用寒(冻)害来表述冬季出现的寒害(最低气温>0℃)和冻害(最低气温≤0℃)。

福建位于中国东南沿海、台湾海峡的西岸,地跨中亚热带、南亚热带,冬季气候温暖,随着热带、亚热带果树引种和扩种,果树品种和产量逐年增长,对冬季寒(冻)害的敏感性增加,冬季寒(冻)害的损失也不断增加。如,1991、1999、2005、2008、2009 年福建相继出现了 5 年冬季低温寒(冻)害袭击,给农业生产造成重大损失,其中仅 1999 年冬季低温寒(冻)害就使全省遭受超过 20 亿元的损失。冬季寒(冻)害已经成为新农村建设、提高农民收入的重要制约因素。因此,准确及时地做好果树寒(冻)害的预警,以便提早采取防寒(冻)害措施,减少因寒(冻)害造成的损失是十分必要的。近年来,国内许多专家纷纷开展寒(冻)害预警预报方法研究,有利用大尺度环流异常的前期强信号,进行寒(冻)害长期预测(陆丹,2000;林日暖等,2003;易燕明等,2003),但该方法只是冬季寒害等级预报,究竟是那一个时段、多长时间都不清楚;有利用低温周期变化规律预测冬季各旬最低气温的长期预报(陈家豪等,2005,2006);有基于 MOS 预报方程的未来 3 天气温预报来进行寒(冻)害短期预报(王春林等,2003);但这些都只是一般的低温天气预报,没有针对农业生产对象,指导性不强;还有用 3 个探空站的短期预测模型来开展寒(冻)害短期预报(夏丽花等,2007),空间精细度不够。同时,以上的寒(冻)害预警均未利用 GIS 制图分析低温预报值的分布,难以直观了解可能出现的寒(冻)害的空间分布。本研究在福建省冬季低温预警关键期跟踪开展全省各气象站低温预报的基础上,利用 GIS 制图分析,结合果树寒(冻)害指标,开展福建省冬季果树寒(冻)害预警。

1 材料与方法

1.1 资料来源

全省 68 个台站 1963—2008 年共 46 年每年极端最低气温,福州、厦门、邵武 3 个探空站各气象要素资料来自福建省气象台。地理信息资料采用 68 个气象台站的公里网坐标及海拔高度和“数字福建”提供的 1:25 万福建基础地理背景资料。

1.2 寒(冻)害预警期的确定

1.2.1 寒(冻)害预警期 分析全省 68 个台站 1963—2008 年共 46 年每年极端最低气温(t_d)出现的日期,再按年度统计冬季(11 月—翌年 2 月)各日期出现 t_d 的台站数,以台站数之和最大的一个低温过程作为当年最强低温过程的个例,并计算历年全省各站 t_d 平均值(T_D)(夏丽花等,2007)。

从表 1 可见,福建省冬季最强低温天气过程的出现时段为 12 月上旬—翌年 2 月中旬,为福建省果树寒(冻)害预警期。而 12 月中下旬出现强低温天气过程几率最高,低温强度最大,其次是 1 月中旬,因此 12 月中旬—翌年 1 月中旬为果树寒(冻)害预警关键期。

1.2.2 低温预警的温度指标 根据果树寒(冻)害指标,确定低温预警温度指标。依据 2007 年发布的《中华人民共和国气象行业标准《香蕉、荔枝寒害等级标准》(QX/T 80—2007),把 11 月至翌年 3 月出现日平均气温≤5℃定义为一寒害过程,福州位于香蕉主要种植区的北部,综合考虑福建地形特点,我们确定跟踪开始低温预警的温度指标为福州日最低气温出现 5℃。

表 1 福建省历年最强低温过程出现在各旬的时间、次数及平均 T_D

Tab.1 Time, frequency and average values of minimum temperature in Fujian during the past years

时间	出现 年数	出现年份	平均 T_D
12 月上旬	2	1987、1990	0.5
12 月中旬	3	1975、1985、1988	-1.9
12 月下旬	12	1999、1991、1973、1967、1984、1965、 1982、1995、2001、1963、2002、2006	-1.8
1 月上旬	6	2005、1971、1965、2008、1997、1973	-1.4
1 月中旬	5	1967、1970、1982、1981、2001	-1.7
1 月下旬	10	1963、1993、1977、2004、1994、1980、 1987、2007、1990、1998	-1.3
2 月上旬	6	1984、1969、1979、1995、1972、1999	-1.2
2 月中旬	2	1978、1975	0.5
平均			-1.0

2 冬季低温过程日最低气温短期定量预警预报方法

2.1 3个探空站的最低气温(t_d)短期定量预报方法与检验

2.1.1 日最低气温预报模型 通过分析温度平流、天气系统、天空状况和天气现象对最低气温的影响,共选取19个预报因子(表2),利用逐步回归分析方法,分别得到福州、厦门和邵武等3个探空站 t_d 预报模型,除邵武模型显著性稍差外,福州、厦门均通过极显著检验。

福州:

$$t_d = -7.481 + 0.063X_2 + 0.790X_3 - 0.034X_4 + 0.095X_5 + 0.042X_7 + 0.026X_9 - 0.091X_{14} + 0.061X_{16} + 0.063X_{17} - 0.460X_{18} \\ (\text{复相关系数 } R_s = 0.959, F = 9.16)$$

厦门:

$$t_d = -0.640 - 0.060X_1 - 0.453X_2 - 0.069X_3 + 0.707X_4 + 0.090X_7 + 0.036X_9 - 0.023X_{10} - 0.154X_{13} + 0.097X_{16} - 0.347X_{19} \\ (\text{复相关系数 } R_s = 0.952, F = 7.74)$$

邵武:

$$t_d = -13.423 + 0.526X_3 - 0.094X_4 + 0.131X_6 + 0.064X_7 + 0.042X_9 + 0.300X_{11} + 0.180X_{13} - 0.090X_{14} - 0.243X_{15} + 0.067X_{17} - 0.034X_{19} \\ (\text{复相关系数 } R_s = 0.845, F = 1.59)$$

表2 各因子含义
Tab.2 Meanings of factors

因子	含义
X_1	前1天20:00时850 hPa V分量($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X_2	前1天20:00时850 hPa U分量($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X_3	前1天20:00时气温($^{\circ}\text{C}$)
X_4	前1天20:00时总云量
X_5	当天2:00时总云量
X_6	当天8:00时总云量
X_7	前1天20:00时相对湿度($\%$)
X_8	当天2:00时相对湿度($\%$)
X_9	当天8:00时相对湿度($\%$)
X_{10}	前1天20:00时地面风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X_{11}	当天2:00时地面风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X_{12}	当天8:00时地面风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X_{13}	前1天8:00时850 hPa温度($^{\circ}\text{C}$)
X_{14}	前1天20:00时850 hPa温度($^{\circ}\text{C}$)
X_{15}	当天8:00时850 hPa温度($^{\circ}\text{C}$)
X_{16}	前1天20:00时850 hPa 24 h变温($^{\circ}\text{C}$)
X_{17}	前1天20:00时500 hPa 单站位势高度(位势什米)
X_{18}	前1天20:00时—当天8:00时降水量(mm)
X_{19}	20:00时850 hPa风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

在做 t_d 预报时,当天的预报因子取其天气预报值代入。

2.1.2 检验方法 根据中国气象局关于“单站温度预报质量检验办法”,计算平均绝对误差、均方根误差和预报准确率如下:

$$\text{平均绝对误差: } T_{\text{MAE}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

$$\text{均方根误差: } T_{\text{RMSE}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

$$\text{预报准确率: } TT_K = \frac{Nr_K}{N_f} \times 100\%$$

式中, F_i 为第 i 站(次)预报温度, O_i 为第 i 站(次)实况温度, K 为1、2,分别代表 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq 2^{\circ}\text{C}$, Nr_K 为预报正确的站(次)数, N_f 为预报的总站(次)数。温度预报准确率的实际含义是温度预报误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ (或 2°C)的百分率。

2.1.3 回代检验和预报检验 以1963—2004年资料对短期定量预报方程进行回代检验结果(表3),短期预报方程的预报准确率均比较高,福州、厦门的短期预报方程预报绝对误差均 $< 2^{\circ}\text{C}$,绝对误差 $< 1^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率达97%以上,邵武的短期预报方程的预报准确率略低一些,但绝对误差 $< 1^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率也达63.9%,绝对误差 $< 2^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率达97.2%。

以2005—2008年4年低温过程的资料做短期预报检验结果(表3),短期预报方程的预报准确率较高,福州、邵武的短期预报方程其预报绝对误差均 $< 2^{\circ}\text{C}$,绝对误差 $< 1^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率达76.9%和65%,厦门的短期预报方程的预报准确率略低一些,但绝对误差 $< 2^{\circ}\text{C}$ 和 $< 1^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率也分别达90%和60%;由此可见,短期预报方程具有一定的预报能力,能作为冬季低温定量预报方法。

利用福州、厦门、邵武3地低温短期预警模式进行2007年12月28日和2009年1月7日过程低温值预报(表4),2008年1月初邵武和福州的误差在

表3 各方程的误差和预报准确率
Tab.3 Errors of equations and forecasting accuracies

	t_d 的回代准确率			t_d 的预报准确率		
	福州	厦门	邵武	福州	厦门	邵武
平均绝对误差 T_{MAE}	0.34	0.39	0.83	0.51	0.69	0.59
均方根误差 T_{RMSE}	0.45	0.48	0.98	1.00	1.18	0.91
预报准确率 TT_1	97.4	97.1	63.9	76.9	60.0	65.0
预报准确率 TT_2	100	100	97.2	100	90	100

TT_1 为温度预报误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 预报准确率的百分率, TT_2 为温度预报误差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 预报准确率的百分率。

表 4 2 个低温过程探空站最低气温预警
Tab. 4 Early warning of minimum air temperature of sounding stations during two low temperature processes

站名	预报 2008 年 1 月 2—3 日			预报 2009 年 1 月 10—11 日		
	预报	实况	差值	预报	实况	差值
邵武	-4.4	-4.5	0.1	-4.0	-5.8	1.8
福州	2.3	3.2	-0.9	2.0	1.5	0.5
厦门	4.3	6.8	-2.5	5	3.9	1.1

1℃以内,厦门的预报偏低 2.5℃,偏差较大。2009 年 1 月 10 日邵武、福州和厦门的预报误差分别为 1.8℃、0.5℃、1.1℃,邵武偏差较大。

2.2 利用差值移植法开展各气象站最低气温(t_d)的短期预报

将福州、厦门、邵武 3 地分别代表福建的中部、南部、北部代表站,统计 3 个代表站低温预报值与其最低气温多年平均值的差值。将福建分成南部、中部、北部,分别统计全省各站最低气温多年平均值,根据其所在位置,统计其与差值之和,作为各站低温短期预报值,得出低温过程各台站的最低气温预报。统计 2008、2009 年 2 年冬季低温过程福建 68 个台站利用差值移植法的最低气温预报准确率,大部分台站预报误差 $\leq 1^\circ\text{C}$ 。从表 5 可见, $\leq 1^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 58.3% (21/36), $\leq 1.5^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 83.3% (30/36), $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率为 91.7% (33/36)。

2.3 最低气温(t_d)的短期精细预报

2.3.1 建立低温预报值空间推算模型 因福建山地多,地形复杂,68 个气象站的日最低气温预报资料难以表达全省不同地形的可能出现的低温分布,低温与地理因子关系密切,随纬度、海拔高度的升高而降低。把经纬网坐标转换为公里网坐标,公里网中的横向坐标用 X 表示,纵向坐标用 Y 表示,海拔高度用 H 表示,进行 68 个气象站的低温预报值 t_d 与 X 、 Y 、 H 间的相关分析,建立空间推算模型。以 2009 年 1 月 10 日低温预报结果为例,建立的推算模型如下:

$$t_d = 51.19256 + 0.0000115211X - 0.00002014922Y - 0.005321868H \quad (1)$$
$$R(t_d, X, Y, H) = 0.968, Sr = 0.0888, F = 321.22, f_1 = 3, f_2 = 64, \alpha = 0.01, f_{0.01} = 4.112, F \gg f_{0.01}, \text{相关极为显著。}$$

2.3.2 应用 GIS 制作低温预报分布图 据(1)式,利用 GIS 制作福建省低温预报空间分布图(图 1),2009 年 1 月 10 日预报的全省最低气温为从东南向

表 5 福建南亚热带果树种植区 36 个台站 2009 年 1 月初最低气温预报与实况

Tab.5 Forecast and of minimum air temperature of 36 weather stations in southern subtropical fruit trees cultivation area of Fujian in early January, 2009

站名	预报	实况	差值	站名	预报	实况	差值
福鼎	-1.3	-1.9	0.6	仙游	1.1	0.7	0.4
拓荣	-4.9	-6.3	1.4	九仙	-8.6	-8.6	0.0
周宁	-4.9	-5.2	0.3	德化	-2.3	-3.3	1.0
福安	-1.1	-1.0	-0.1	永春	0.9	-0.7	1.6
屏南	-6.0	-7.2	1.2	安溪	2.6	1.4	1.2
霞浦	0.0	-0.5	0.5	南安	3.0	2.3	0.7
宁德	1.1	1.5	0.4	惠安	5.0	5.5	-0.5
古田	-2.5	-3.6	1.1	晋江	3.9	4.5	-0.6
罗源	0.0	-0.2	0.2	华安	0.5	-2.4	2.9
连江	0.1	0.2	-0.1	长泰	2.5	1.6	0.9
闽清	-0.7	-1.4	0.7	漳州	3.2	2.4	0.8
长乐	2.1	2.0	0.1	南靖	1.6	-0.5	2.1
永泰	-0.9	-1.9	1.0	龙海	3.5	2.9	0.6
福清	2.7	4.2	-1.5	平和	1.4	0.3	1.1
平潭	4.6	6.4	-1.8	漳浦	3.5	2.2	1.3
闽侯	1.0	-0.2	1.2	云霄	4.3	2.9	1.4
福州	2.0	1.5	0.5	东山	7.1	6.8	0.3
莆田	2.7	4.7	-2.0	诏安	3.5	0.8	2.7

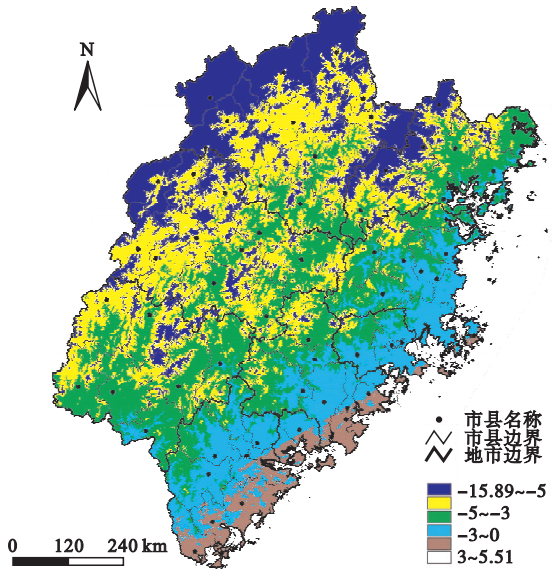


图 1 2009 年 1 月 10 日低温预报分布示意图
Fig.1 Distribution of low temperature forecasting in January 10, 2009

西北降低的趋势,与实况一致。

3 福建果树寒(冻)害短期定量预警预报

3.1 南亚热带果树寒(冻)害温度指标的确定

根据历史资料的统计和参考有关文献资料(蔡文华,2008,2009),确定南亚热带果树寒(冻)害的最低温度指标(表 6)。

表 6 南亚热带果树低温冻害指标 (最低气温值,℃)
Tab.6 Freezing damage index of fruit trees in southern subtropical monsoon climate (minimum temperature,℃)

果树名称	轻度冻害	中度冻害	重度冻害	严重冻害
香蕉	$3 \leq t_d < 5$	$1 \leq t_d < 3$	$-1 \leq t_d < 1$	$t_d < -1$
龙眼	$-1.5 \leq t_d < 0$	$-2.5 \leq t_d < -1.5$	$-3.5 \leq t_d < -2.5$	$t_d < -3.5$
荔枝	$-2.0 \leq t_d < 0$	$-3.0 \leq t_d < -2.0$	$-4.0 \leq t_d < -3.0$	$t_d < -4.0$

3.2 预警等级划分

根据表 6,得出以下预警等级划分原则:(1)在香蕉种植区,当预报 $t_d < -1$ ℃ 时;或在龙眼种植区,当预报 $t_d < -3.5$ ℃ 时;或在荔枝种植区,当预报 $t_d < -4.0$ ℃ 时;发布南亚热带果树严重冻害预警。表示南亚热带果树可能出现严重冻害,造成果树死亡,要做好果树的防寒防冻工作。(2)在香蕉种植区,当预报 -1 ℃ $\leq t_d < 1$ ℃ 时;或在龙眼种植区,当预报 -3.5 ℃ $\leq t_d < -2.5$ ℃ 时;或在荔枝种植区,当预报 -4.0 ℃ $\leq t_d < -3.0$ ℃ 时;发布南亚热带果树重度冻害预警。表示南亚热带果树可能出现重度冻害,要做好果树的防寒防冻工作。(3)在香蕉种植区,当预报 1 ℃ $\leq t_d < 3$ ℃ 时;或在龙眼种植区,当预报 -2.5 ℃ $\leq t_d < -1.5$ ℃ 时;或在荔枝种植区,当预报 -3.0 ℃ $\leq t_d < -2.0$ ℃ 时;发布南亚热带果树中度冻害预警。表示南亚热带果树可能出现中度冻害,注意采取防寒防冻措施。(4)在香蕉种植区,当预报 3 ℃ $\leq t_d < 5$ ℃ 时;或在龙眼种植区,当预报 -1.5 ℃ $\leq t_d < 0$ ℃ 时;或在荔枝种植区,当预报 -2.0 ℃ $\leq t_d < 0$ ℃ 时;发布南亚热带果树中度冻害预警。表示南亚热带果树可能出现轻度冻害,注意采取防寒防冻措施。

3.3 果树寒(冻)害短期定量预警等级发布

将图 1 与南亚热带果树寒(冻)害预警等级对比可知,预计这次低温过程厦门、漳州的低平地带、山区的坡底谷地最低气温可达 2 ℃ 以下,达到香蕉的中度寒害指标,这一带香蕉可能发生中度寒害;闽东北沿海的低洼地最低气温可达-2 ℃ 以下,达到龙眼、荔枝等果树的中度冻害指标,这一带龙眼、荔枝可能发生中度寒害。即红色种植香蕉区域为香蕉轻度寒害区,蓝色种植香蕉区域为香蕉中度寒害区,绿色种植龙眼、荔枝区域为其中度冻害区。据此可发布相应的低温寒(冻)害预警等级。

4 结 论

在 12 月上旬—翌年 2 月上旬(即果树寒(冻)害预警期),当福州最低温度出现 ≤ 5 ℃ 的低温预警温度时,利用逐步回归建立的福州、厦门和邵武 3 个

探空站日最低气温短期预报模型进行 3 个探空站日最低气温短期预报,预报结果经差值法移植后,用于全省各台站日最低气温短期预报,经 2008/2009 年冬季业务应用, ≤ 1 ℃ 的预报准确率为 58.3%, ≤ 1.5 ℃ 的预报准确率为 83.3%, ≤ 2 ℃ 的预报准确率为 91.7%,可投入业务应用。建立各气象站日最低气温预报值与经度、纬度、海拔高度的地理推算模型,并利用 GIS 制作日最低气温预报分布图,开展日最低气温空间精细预报,结合南亚热带果树寒(冻)害预警等级,对果树寒(冻)害的发生、发展和范围进行短期定量预报预警。

所制作的福建全省极端最低气温预报值分布图,若能与具体果树种植分布图叠加,则可以统计可能发生各级寒(冻)害的面积;若应用各种果树各级冻害指标分区,果树寒(冻)害分布预警将更为直观,有待今后进一步完善。

参考文献

蔡文华, 陈 惠, 潘卫华, 等. 2009. 福建龙眼树冻害指标初探. 中国农业气象, **30**(1): 109-112.
蔡文华, 王加义, 岳辉英. 2005. 近 50 年福建省年度极端最低气温统计. 气象科技, **33**(3): 227-230.
蔡文华, 张 辉, 徐宗焕, 等. 2008. 荔枝树冻害指标初探. 中国农学通报, **24**(8): 353-356.
陈家豪, 徐宗焕, 张淮民, 等. 2006. 南亚热带 2 月低温预测模型及其应用. 福建农林大学学报, **35**(4): 336-341.
陈家豪, 张淮民, 陈家文, 等. 2005. 南亚热带 12 月低温预测模型及其应用. 江西农业大学学报, **27**(5): 776-780.
陈家豪, 张淮民, 徐宗焕, 等. 2005. 南亚热带 1 月低温预测模型及其应用. 湖南大学学报, **31**(6): 677-680.
崔读昌. 1999. 关于冻害、寒害、冷害和霜冻. 中国农业气象, **20**(1): 56-57.
江爱良. 1997. 中国热带东、西部地区冬季气候的差异与橡胶树的引种. 地理学报, **52**(1): 45-53.
林日暖, 崔巧娟, 朱正心. 2003. 广东经济林果寒害地面预警强信号和长期统计预报模式的研究. 应用气象学报, **14**(4): 499-501.
林业寒害联合调查组. 2000. 广东省林业寒害情况调查报告. 广东林业科技, **16**(4): 26-33.
陆 丹. 2000. 广西严重冷冬前期强信号的探索. 广西气象, **21**: 63-66.
罗晓玲, 张 勇, 汤海燕, 等. 2001. 冬季寒害对广东种养业的严重影响及其对策. 自然灾害学报, **10**(1): 107-113.
罗宗洛, 殷宏章. 1988. 罗宗洛文集. 北京: 科学出版社.
王春林, 刘锦鑫, 周国逸, 等. 2003. 基于 GIS 技术的广东荔枝寒害监测预警研究. 应用气象学报, **14**(4): 487-495.
夏丽花, 张立多, 林河富. 2007. 福建省冬季果树冻(寒)害低温预报预警. 中国农业气象, **28**(2): 221-225.
易燕明, 李秀存, 覃峥嵘. 2003. 广西冬季严重冻害的前期强信号及预测概念模型. 广西气象, **24**(4): 28-31.

作者简介 陈 惠,女,1963 年 12 月生,高级工程师。从事农业气象和气象生态环境研究工作。E-mail: ch775@126.com
责任编辑 李凤芹