

基于 GIS 技术的广东荔枝寒害监测预警研究*

王春林^{1,2)} 刘锦奎¹⁾ 周国逸²⁾ 杜尧东¹⁾

¹⁾ (广东省气象局气候与农业气象中心,广州 510080)

²⁾ (中国科学院华南植物研究所,广州 510650)

摘 要

基于 GIS 技术和气候学模型,融合土地利用、海拔高度、坡度、坡向等地理信息,对平均气温、最低气温资料进行较高空间分辨率的地理订正,结合冬季经济林果的生长发育状况和受害指标,实现对广东寒害发生发展及其强度、范围的实时动态监测、预警。关键技术与结论:(1)采用过程降温幅度和过程极端最低气温 2 个因子定义寒害指标,克服传统业务指标局限性;(2)根据 T213 数值预报产品,采用 MOS 预报方程,实现广东省 86 个地面气象站的气温预报;(3)采用包括经度、纬度、海拔高度 3 因子的地理订正模型,并进一步采用坡度、坡向地理订正技术,获得了较好效果。最后以 1999 年 12 月寒害过程为例检验了监测效果。

关键词:广东 寒害 地理订正 GIS

引 言

广东地处中国东南沿海低地地区,属于世界上严重的气候脆弱区之一^[1]。尽管广东寒害发生频率以及极端最低气温远不能和北方相比,但过程降温幅度平均达 13~14℃,在全国是最大的,并且其降温值越往南越大^[2,3]。兼之随着区域经济的高速发展,引进一些优质高产但抗寒性能相对较差的新品种,进一步降低区域植被总体抗寒能力,寒害往往对冬春作物、蔬菜、花卉、牲畜饲养,特别是对果树、淡水养殖等典型热带、亚热带农业项目造成重大损失。事实上,寒害已经成为广东省继洪涝、台风之后的第 3 重大灾害性天气^[2]。加强广东寒害监测预警研究,对于广东省率先实现农业现代化显得十分必要、迫切,而现代信息技术,特别是地理信息系统(GIS)技术的快速发展,使得对寒害的发生发展及其强度、范围的实时动态监测、预警成为可能。

过去对广东寒害研究主要集中在冬季气温以及寒潮等寒冷灾害时空分布规律及其诊断分析等方面^[2~8],较少涉及寒害监测、预警。地理订正技术广泛应用在气候资源区划工作中,但在灾害监测、评估方面的应用尚不多见,且一般只使用考虑经度、纬度、海拔高度 3 项因子的模型。郭兆夏等^[9]根据气候背景和地形、地貌特点,分区域建立气候要素网格推算模型,实现陕西省气候资源 0.5 km 分辨率的网格推算。黄浩辉等^[10]借助国产地

* 国家“十五”科技攻关项目“农林重大病虫害和农业气象灾害的预警及控制技术”之“农业气象灾害预警技术研究”(2001BA509B13) 广东省农用天气预报关键技术及防寒减灾对策(编号:B30902)资助。

2003-04-06 收到,2003-05-27 收到修改稿。

理信息系统 CityStar 实现广东省 30 年农业气候资源数据集。本研究借助地理信息系统工具,在包括经度、纬度、海拔高度的 3 个因子地理订正模型基础上,增加坡度、坡向订正,实现对广东寒害的监测、预警。

1 寒害概念及其指标

寒害是指热带、亚热带作物受 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上低温侵袭而造成的农业气象灾害($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下叫冻害),而寒潮是导致寒害的天气过程,二者呈准因果关系。

寒潮是天气学概念,根据《广东省各类主要灾害性天气标准》规定,单站寒潮指标为:日平均气温在 24 h 内下降 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或以上(或 48 h 内下降 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或以上),同时过程最低气温 $\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;寒潮出现后天气回暖到日平均气温 $\geq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$,同时极端最低气温 $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,寒潮结束。从其定义不难看出,该寒潮指标强调的是剧烈降温型天气过程,而对于由几股冷空气持续补充,导致气温持续下降,进而出现严重的农作物受害时,该指标往往没有反应。典型的例子是 1999 年 12 月中下旬连绵至 2000 年 1 月上旬的持续降温天气过程,低温天气持续时间长,极端气温低,给全省农牧业造成直接经济损失百亿元,但根据上述指标达不到寒潮标准。可见作为目前业务标准并在科研中得到广泛应用的寒潮指标,若直接借用于寒害指标在反映农作物的实际受害表现方面具有明显局限性。

寒害是个灾害学概念,其指标往往需要综合考虑低温条件以及具体受害作物对低温的生物学响应特性而定义,不同作物的寒害指标是不相同的。文献[11]从统计角度,以过程降温幅度和相应出现的过程最低气温两个因素,结合广东冬季最具代表性的荔枝、香蕉等亚热带植物对低温的忍耐特性,定义广东寒害指标(表 1),包括一般寒害(亚类 I、II)和严重寒害(亚类 III、IV、V)2 个等级和 5 个亚类,亚类 I、III 为降温型寒害,亚类 II、IV、V 为低温型寒害。

表 1 寒害指标和标准

寒害等级	一般寒害			严重寒害	
	I	II	III	IV	V
日平均气温连续降温($^{\circ}\text{C}$)	≥ 10	≥ 5	≥ 15	≥ 10	≥ 5
同时出现的最低气温($^{\circ}\text{C}$)	≤ 5	≤ 0	≤ 5	≤ 0	≤ -2

根据上述指标,对广东 86 个站近 30 年(1971~2000 年)资料统计各类寒害频数列于表 2。全省 30 年合计发生寒害 2631 站次,平均每年 88 站次,站均每年 1 次。亚类频数统计表明,降温型寒害(I+III)占 76%,低温型(II+IV+V)仅占 24%,表明广东寒害以降温剧烈为主要特征;一般寒害(I+II)占 63%,严重寒害(III+IV+V)占 37%。年代际变化,自上个世纪 70 年代以来,寒害呈逐渐减少的趋势,由 70 年代年均 117 站次,下降到 80、90 年代 73 站次,表明广东气候与全球变暖,特别是冬季增温具有基本一致的趋势。值得指出的是,90 年代与 80 年代相比,寒害有增无减,尤其是严重寒害次数增加明显,反映广东气候的复杂性以及该地区农业对极端气候事件的脆弱性一面。限于篇幅,还有许多有意义的结果将另文讨论。

表 2 广东(86 个站) 1971~2000 年寒害站次统计

年代	一般寒害			严重寒害		合计
	I	II	III	IV	V	
70	559	99	291	151	73	1173
80	461	82	131	42	10	726
90	401	55	163	61	52	732
合计	1421	236	585	254	135	2631
百分率(%)	54	9	22	10	5	100%

2 资 料

2.1 基础地理信息数据

借助多种 GIS 工具软件和系统开发的栅格数据加工模块,完成规格统一的较高空间分辨率的基础地理信息,是实现寒害监测预警的基础。

主要包括省、市、县行政边界和海拔高度,以及由海拔高度资料通过 CityStar 等地理信息系统软件处理生成的坡度、坡向文件,合计 4 个栅格数据文件。行政边界文件中,省界外定义为 0,省界内填充市县编码,便于按任意市、县范围统计、切图。原始资料分辨率为 $3\text{ s} \times 3\text{ s}$,相当于 0.1 km ,考虑到微机处理能力有限,实际分辨率取 $30\text{ s} \times 30\text{ s}$,即为 $0.00833^\circ \times 0.00833^\circ$ (空间分辨率略高于极轨卫星星下点 1.1 km 分辨率,可以比较细致地反映地形变化),格点数: $963(\text{列}) \times 636(\text{行}) = 612468(\text{Bytes})$ 。栅格文件对应左上角坐标为 $(109.5133^\circ\text{E}, 25.5201^\circ\text{N})$,右下角坐标为 $(117.5350^\circ\text{E}, 20.2242^\circ\text{N})$ 。地理信息资料来源于 1:25 万测绘地图用地理信息数据集。

2.2 土地利用信息

收集整理广东省当前主要冬种作物分布资料,生成与前面的地理信息图层具有统一格点数、地理定位和分辨率的矩形图幅栅格化资料,便于任意叠加运算。目前主要考虑荔枝、香蕉,依次以 Byte 型正整数(0~255)编码存贮在栅格文件中(Binary 方式),省界以外为 0。作物分布资料主要来源于省农业厅。

2.3 基本气象资料

实况资料包括广东省 86 个地面气象站逐日极端最低气温、日平均气温、日照时数,以及各个气象站的经度、纬度和海拔高度资料。资料均来自广东省气象局,可以通过业务网络实时采集。

3 关键技术与方法

3.1 气温预报

根据 T213 数值预报产品,引进综合因子,适当考虑部分因子与预报量之间的非线性关系,建立 MOS(Model Output Statistics)预报方程(图略),实时制作 86 个地面站未来 24 h、48 h、72 h 平均气温和极端最低气温预报。因此基于 MOS 预报方程的气温预报模块独

立运行,定时产生未来 3 天预报。

3.2 坡度、坡向气温订正气候学模型

离散气象资料一般可以通过三角网插值法等数学方法网格化,然后绘制等值线图来显示气象要素的空间分布状况。对于广东全省共有 86 个站点,平均每个站点代表 2000 km²,由于地形变化比较复杂,相比之下代表站点过于稀少,常规数学插值手段不能全面反映立体的气候资源丰富性,因此有必要根据地理细节进行订正处理。目前常见的地理订正方法^[9,10]认为经度、纬度、海拔高度与气温有近似线性关系,是采用经度、纬度、海拔高度 3 项地理因子多元回归模型,限于技术条件,坡度、坡向资料均与其他环境因子一并作为“黑箱”考虑,若拟合方程通不过统计检验(即残差项过大),则需要进行残差订正;郭兆夏等^[9]预先根据地形将所有目标站点分为几个气候区分别建立模型,以增大拟合率,避开残差订正问题。随着地理信息技术发展,提取坡度、坡向信息并用于进一步提高地理订正精度。

傅抱璞等^[12]研究表明,坡地日平均气温随坡向的分布与直接辐射日总量相似,因此对于坡度 α 、坡向 β 的坡地,气温随坡度、坡向变化的规律参照直接太阳辐射日总量近似计算公式表达如下:

$$T_{\beta, \alpha} = T_0 T_{f(\beta, \alpha)} \quad (1)$$

$$\tau = a s + b s^2 \quad (2)$$

$$f(\beta, \alpha) = c \sum_{i=1}^n [u \sin \delta (\omega_{i+1} - \omega_i) + v \cos (\sin \omega_{i+1} - \sin \omega_i) - w \cos \delta (\cos \omega_{i+1} - \cos \omega_i)] \quad (3)$$

其中 $u = \sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha \cos \beta$, $v = \cos \varphi \cos \alpha - \sin \varphi \sin \alpha \cos \beta$, $w = \sin \beta \sin \alpha$

式(1)中 $T_{\beta, \alpha}$ 、 T_0 分别为订正后和订正前的格点温度, τ 为晴天时平地的大气透明函数(即平地上可能直接太阳辐射与天文辐射之比值), $f(\beta, \alpha)$ 为坡度、坡向订正函数。式(2)为 τ 与平地日照百分率 s 的经验关系式, a 、 b 为经验系数。根据翁笃鸣^[13]的研究,华南地区 a 、 b 值分别为 0.25、0.375。式(3)中 φ 为地理纬度, δ 为太阳赤纬, ω 为时角,假设不考虑地形遮挡, n 取 1; c 为经验常数。

文献[12]对北回归线附近的山区观测研究表明,坡地日平均气温东南偏东和西南偏西坡最高,北坡和南坡最低(对于高纬度地区可能正好相反),平均差异为 0.4~0.5℃,晴天可达 0.6~0.8℃。鉴于本研究中经验常数 c 取 0.1,经过试验,冬季平均温度的坡度、坡向订正值不大于 1.0℃。最低气温通常出现在夜间,与白天温度条件有关,与坡度、坡向关系不大^[12],这里不考虑订正。

4 寒害监测预警系统的实现

实现对寒害的实时监测和预警,关键在于:(1)一套效果良好、简洁易用的寒害指标体系;(2)预报效果良好、切实可行的寒害预报方法;(3)具有可操作性且精度较高的气温地理订正方案;(4)充分的空间地理信息处理、显示支持。基于上述思路,建立了“广东省寒害监测预警系统”,包括气温预测、资料采集处理、地理订正、寒害分析、产品制作与发布等

功能,另有土地利用信息、生育期资料整理等若干辅助模块,为更新数据提供操作平台。系统流程图见图 1。

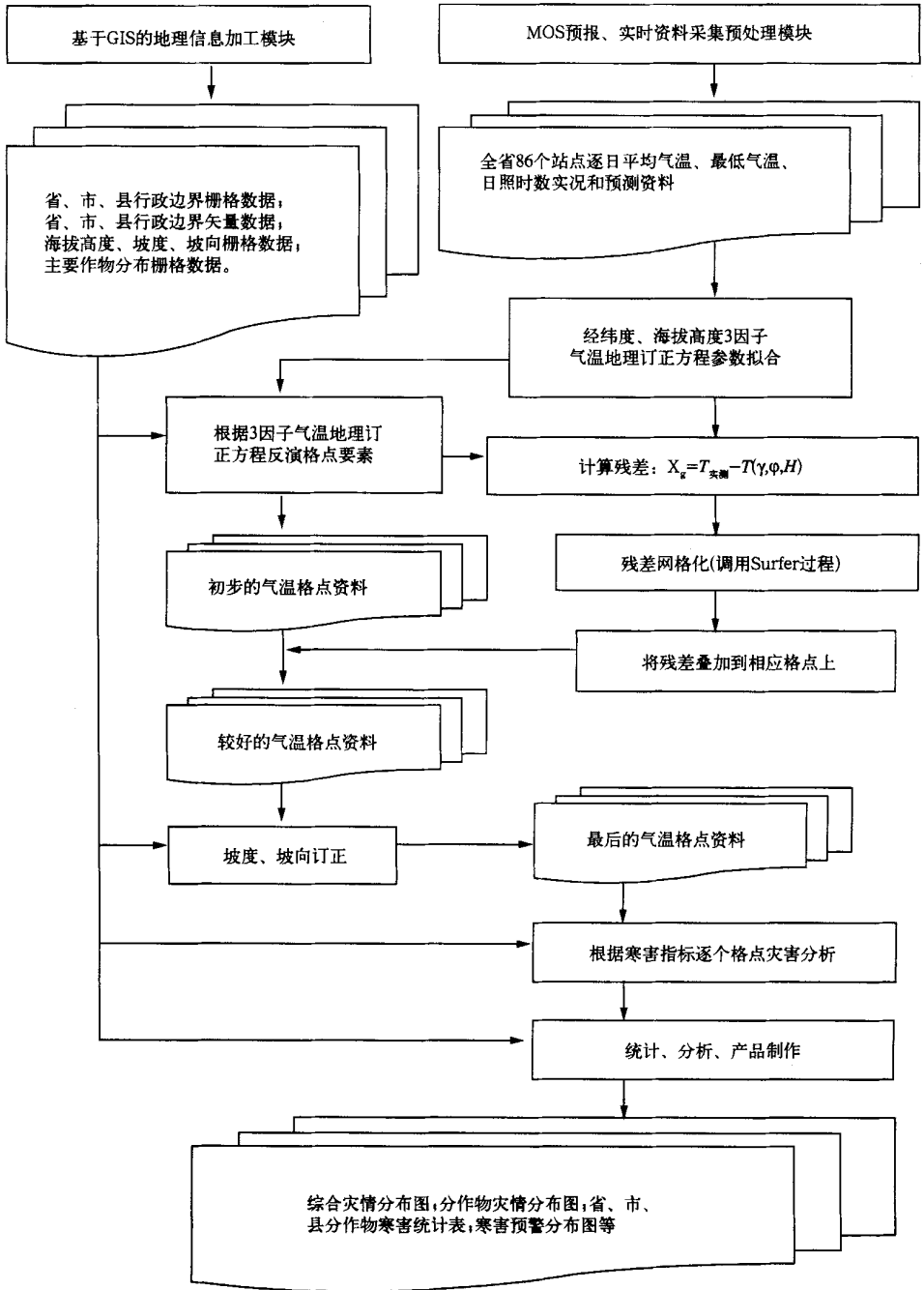


图 1 广东省寒冷灾害监测、预警系统流程图

4.1 寒害监测步骤

(1) 根据全省平均气温、最低气温监测资料,鉴于经度、纬度、海拔高度与气温有近似的线性关系,建立经度、纬度、海拔3因子与气温线性回归方程 $T(\gamma, \varphi, H)$,并根据此回归方程,结合全省较高分辨率格点高程数据,反演格点气温,得到初步的全省气温格点资料。

(2) 计算上述回归方程残差(可以理解为水体、植被以及坡度、坡向等其他环境因子所产生的影响) $X_g = T_{\text{实测}} - T(\gamma, \varphi, H)$,借助工具软件(如 SURFER)完成残差网格化(注意格点数要匹配),最后将网格化的残差数据叠加到回归方程反演的格点资料上,得到较好的全省气温格点资料。

(3) 对上述气温格点化资料进一步作坡度、坡向订正(原理如3.2节),得到最后的全省气温格点资料(参见图2)。

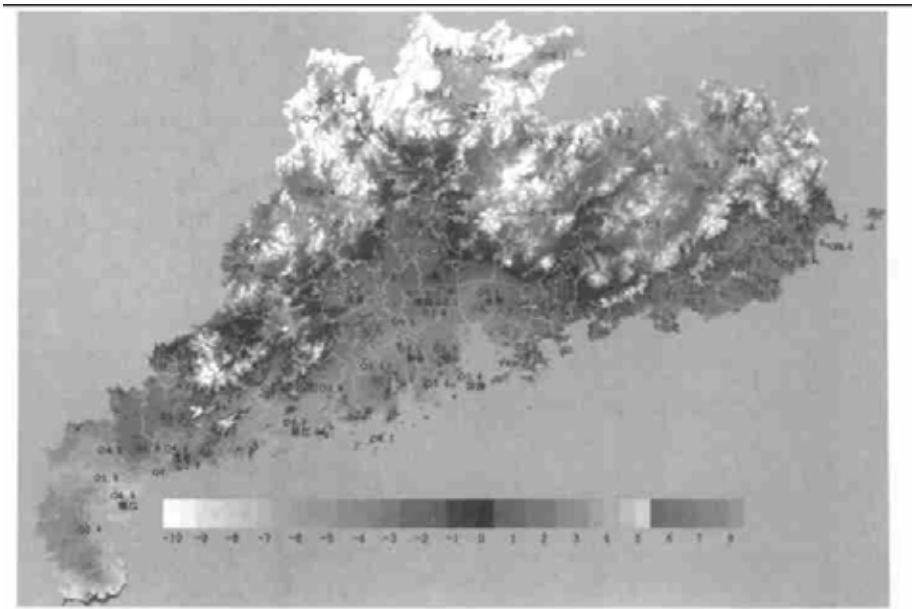


图2 广东省1999年12月下旬寒害过程最低气温分布图(℃)

(4) 结合目标作物寒害指标及其土地利用格点资料(参见图3),逐个格点分析寒害等级,得到寒害分布栅格数据。

(5) 结合行政边界等地理信息,根据上述结果绘制作物寒害分布图,统计省、市、县各种作物寒害强度,得到最终寒害监测结果(参见图4)。

4.2 寒害预警步骤

根据基于 MOS 预报方程的未来3天的气温预报,采用与4.1节寒害监测相似的步骤进行地理订正,最终得到作物可能受害情况分布图,实现对寒害的预警。需要指出的是,寒害预警流程中未进行坡度、坡向订正,原因是:(1)气温预报精度为1.0℃,大于坡度、坡向订正值;(2)缺少行之有效的日照时数的预报方法。

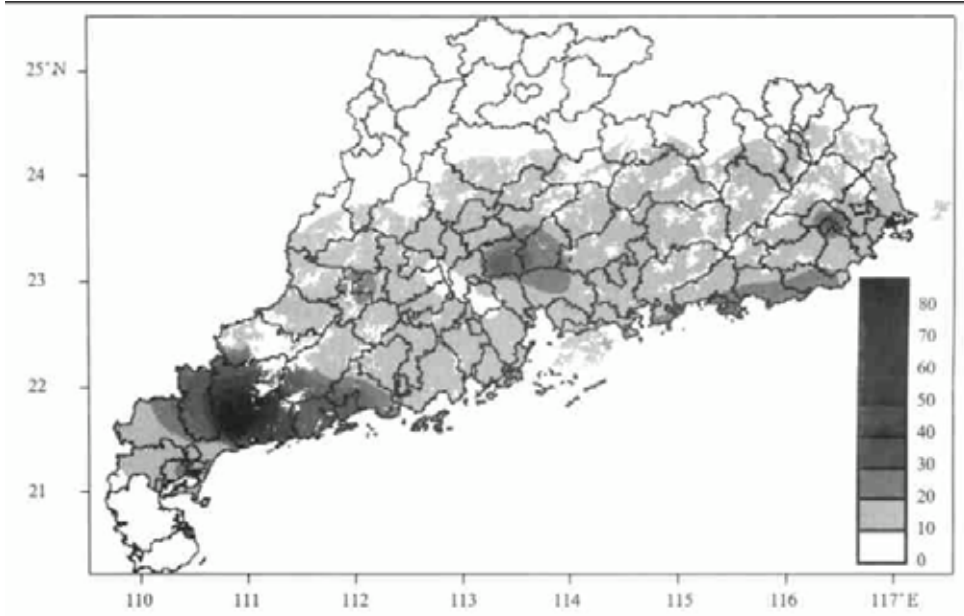


图 3 广东省荔枝种植面积百分率(%)分布图

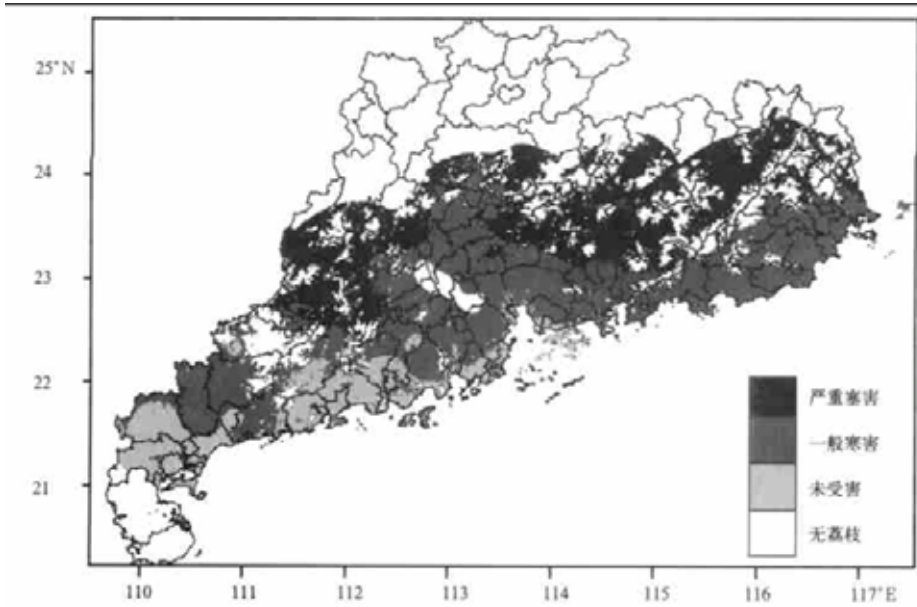


图 4 广东省 1999 年 12 月下旬荔枝寒害分布图

5 效果分析

1999 年 12 月中旬后期开始,受北方强冷空气持续南下和夜间辐射降温的影响,全省

气温逐日下降,23日早晨,各地出现了历史同期少见的极端最低气温,其中粤北乐昌、连山、始兴、新丰、惠阳、惠来、惠东、化州、电白、雷州市等站的极端最低气温破了历史记录,广州、曲江、兴宁、龙门的极端最低气温也平了历史记录,全省各地出现了大范围的冰冻和霜冻现象。

监测结果(图2)表明,粤北山区最低气温达到 -10°C 以下,经过地理订正后,分布图上地表细节丰富,直观再现了地形、地貌对冷空气作用效果。经过反复试验表明,经过坡度、坡向订正后,多山地区平均气温分布图像更加细腻,富有立体感,而珠江三角洲等平坦地区,没有产生明显变化。寒害预警分布图与监测图效果上略显粗糙,主要与资料精度有关。这些分布图在近2年的寒害监测预警业务服务工作中,均得到广泛的认同。

图3为广东近些年荔枝分布图,图中灰度值与种植密度成正比。

图4为该次寒潮过程中的全省荔枝寒害分布图,分析表明,监测实况与寒害实况基本相符。局部地区没有反映出实际寒害强度,可能与品种有关。

6 结论与讨论

(1) 采用气候学模型对气温资料作坡度、坡向订正,效果良好。

(2) 采用过程降温幅度和过程最低气温定义寒害指标,克服当前业务上寒潮指标局限性,简洁易用。局部地区没有反映出实际寒害强度,可能与品种有关,有待进一步研究。

(3) 根据 T213 数值预报产品,通过 MOS 预报方程实现未来3天的气温预测。气温预测部分作为子系统独立运行,与相关气象业务接轨,同时也便于系统维护。若直接对 T213 数值预报产品进行地理订正、寒害分析,则系统可能会更加紧凑,运行效率更高,但其复杂性亦必然大增,值得进一步探讨。

(4) 实际上寒害是气候、地形、水体、植被综合作用与反馈的结果,理论上只有采用动力生态学模型才能得到更好的监测预警效果。但是由于生态学模型本身的复杂性及其技术、经济可行性问题,限制其在业务领域的普及应用。通过数学模型手段并借助发展迅速的地理信息技术,得到较高分辨率的图像,清晰反映出地形、地貌对气温以及寒害的影响,实现对寒害的有效监测预警和评估,证明是可行的。

参考文献

- 1 Houghton J. 全球变暖. 戴晓苏, 石广玉, 等译. 北京: 气象出版社, 1998.
- 2 黄增明, 谢炯光, 吴尚森, 等. 广东省短期气候预测研究. 北京: 气象出版社, 2000. 20~26.
- 3 林爱兰, 吴尚森. 近40多年广东省的寒潮活动. 热带气象学报, 1998, 14(4): 337~343.
- 4 梁建茵, 吴尚森. 广东冬季气温变化的气候诊断分析. 热带气象学报, 1999, 15(3): 221~229.
- 5 黄大文. 广东寒潮的分析和预报. 广东气象, 1995, (4).
- 6 纪忠萍, 谢炯光. 广东春季低温阴雨的年景变化趋势分析. 热带气象学报, 2000, 16(1): 76~84.
- 7 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的气温变化. 气象, 1994, 20(12): 19~26.
- 8 刘小宁, 孙安健, 张尚印. 华南寒潮气候特征研究. 中国气候灾害的分布和变化(1). 北京: 气象出版社, 1996. 147~155.

- 9 郭兆夏,朱琳,叶殿秀,等. GIS 在气候资源分析及农业气候区划中的应用. 西安大学学报, 2000, 30(4): 357 ~ 359.
- 10 黄浩辉,刘锦奎,陈新光. 地理信息系统在广东省农业气候资源分析中的应用. 广东气象, 2001, (4).
- 11 广东省气象局资料室. 广东气候. 广州: 广东科技出版社, 1987.
- 12 傅抱璞,虞静明,卢其尧. 山地气候资源与开发利用. 南京: 南京大学出版社, 1996. 132 ~ 144, 165 ~ 171.
- 13 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法. 气象学报, 1964, 34(3): 304 ~ 314.

RESEARCH ON REAL-TIME COLD DISASTER WATCHING AND PREDICTION IN GUANGDONG PROVINCE BASED ON GIS TECHNOLOGY

Wang Chunlin^{1,2)} Liu Jinluan¹⁾ Zhou Guoyi²⁾ Du Yaodong¹⁾

¹⁾ (Climatic & Agri meteorological Center, Guangdong Meteorological Bureau, Guangzhou 510080)

²⁾ (Botany Institute of Southern China, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510650)

Abstract

Based on GIS techniques and a climatology model, using several types of geographic data such as land-use information, longitude, latitude, altitude, slope grade and direction, etc., cold-disaster data are corrected according to specific geographic details. Considering growing conditions and cold-index of winter economic fruit trees, a method is presented, by which when the cold-disaster occurs, its developing condition, intensity and area can be watched and predicted in real time and dynamically. The key techniques and conclusions are: (1) The cold disaster index is defined based on two factors (temperature dropping range and extreme lower temperature during the course) to offset the disadvantage of the conventional operation system. (2) Based on the output of Numerical Forecast Model T213 (developed in China) and the MOS (Model Output Statistics) forecast equation, cold disaster forecast for 86 ground meteorological stations in Guangdong Province is made. (3) The geographical correction model considering slope grade and slope direction information together with three general factors (longitude, latitude and altitude) is adopted and get a good result.

Key words: Guangdong Cold disaster Geographical correction GIS