

王加义, 陈惠, 夏丽花, 等. 基于离海距和 GIS 技术的福建低温精细监测. 应用气象学报, 2012, 23(1): 96-104.

## 基于离海距和 GIS 技术的福建低温精细监测

王加义<sup>1)\*</sup> 陈惠<sup>1)</sup> 夏丽花<sup>2)</sup> 潘卫华<sup>1)</sup> 蔡文华<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(福建省气象科学研究所, 福州 350001) <sup>2)</sup>(福建省气象台, 福州 350001)

### 摘 要

利用福建省 1:250000 的 DEM 资料和 67 个气象站气温观测数据, 在建立最低气温与经纬度、海拔高度相关推算方程的基础上, 融合离海距因子, 对 2008—2010 年冬季 3 个冷空气过程的最低气温(数值及分布状态)进行精细模拟, 同时总结出利用逐步回归及综合残差平方和选取适宜离海距的方法。结果表明: 融合离海距因子后, 对冷空气过程最低气温的模拟效果更好。随着过程平均降温幅度的增大, 离海距对过程最低气温模拟值的贡献率有减小趋势。不同冷空气过程的离海距大小存在差异, 总体上以 50 km 为标准, 再进一步得出适宜离海距。离海距以外区域最低气温模拟适用经度、纬度、海拔高度 3 个因子确定的地理气候方程进行, 以内区域则适用在上述最低气温模拟方法的基础上融合离海距因子进行, 以达到提高低温监测模拟精度和体现海洋对陆地温度调节能力的目的。经检验, 模拟结果与实际情况基本相符。

**关键词:** 地理信息系统(GIS); 适宜离海距; 低温过程; 温度模拟; 地理因子

### 引 言

福建省地处我国东南沿海, 属典型的亚热带季风气候, 气候资源优越, 同时气象灾害频繁发生, 冬季强低温过程对福建的热带、亚热带经济作物、冬种作物常常造成严重冻害。根据灰色关联分析福建省主要气象灾害影响农业生产的权重, 从大到小的顺序依次为旱灾、冻害、风雹灾、水灾, 可见低温冻害是对福建省农业生产造成损失的第二大气象灾害<sup>[1]</sup>。福建省海岸线长 3324 km, 占全国海岸线长度的 18.3%, 仅次于广东省。海岸曲折率为 1:6.2, 居全国之首<sup>[2]</sup>。曲折狭长的海岸地带对福建省气候尤其是冬季最低气温分布会产生一定影响, 为使福建省农业相关部门及时掌握低温地理分布状态, 采取相应措施减少低温对农作物的损害, 利用离海距和其他地理因子对冷空气过程中的低温值及其分布状态进行模拟, 总结不同区域的模式构建方式, 其研究意义重大。

现有的地面气象站比较稀少, 难以全面反映福建省气温分布状况, 以往采取的方法主要是建立平均温度与经度、纬度、海拔高度地理三因子的多元回归模型进行模拟<sup>[3-6]</sup>。一些研究者在气象站点实测数据的基础上, 利用 GIS 技术获取影响温度分布的地形要素进行温度等气象要素空间分布推算<sup>[7-13]</sup>, 大幅提高了分辨率。但对最低气温模拟涉及较少, 考虑离海距因子的研究更少。海洋对陆地温度具有一定调节作用, 离海距在一定程度上可以反映这种调节作用的大小, 在温度模拟中融入离海距因子将进一步提高模拟精度。模拟最低气温分布的一般过程是利用相关分析和订正差值方法获得气象站的最低气温多年平均值<sup>[14]</sup>, 建立极端最低气温与地理三因子的多元回归模型进行最低气温分布模拟<sup>[15-18]</sup>; 有研究在地理三因子的基础上, 加入了离海距及坡度、坡向因子来提高预测值与实际值的拟合度<sup>[19-23]</sup>。但这些研究中最低气温值一般采用多年极端最低气温的平均值, 另外, 针对冷空气过程的类型、产生后果等进行分析的工作也较多<sup>[24-26]</sup>, 但对于单独冷空

2011-01-14 收到, 2011-10-20 收到再改稿。

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD04B03), 福建省科技厅农业科技重点项目(2009N0030), 福建省气象局开放式气象科学研究基金项目(2010K06, 2011K03)

\* E-mail: cnfjzwy@163.com

气过程出现的最低气温进行模拟没有涉及。上述研究中离海距的计算方法多采用弧度算法或者网格距离<sup>[27-29]</sup>,精确度受到一定限制。本文利用新的离海距计算方法和地理因子,参考前人研究的温度模拟方法,对单一冷空气过程中的最低气温进行模拟,模拟值及其分布状态在精确度和地域适用性方面有所提高。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本研究所用气象资料来源于福建省气象局,选取 67 个气象站平面坐标系的坐标值(用  $x$  和  $y$  分别表示经度和纬度)、海拔高度( $h$ )和离海距( $d$ ),以及 2007 年 12 月 28 日—2008 年 1 月 4 日、2009 年 1 月 9—17 日、2010 年 3 月 6—11 日 3 个低温过程(以下简称过程 1、过程 2、过程 3)逐日最低气温( $t_L$ )资料。另外,求取 67 站 1950—2009 年共 59 年的年度极端最低气温多年平均值,供确定离海距参与计算的表现形式使用。

海岸线数据由 1:250000 福建省基础地理信息数据中提取,同时由 DEM 高程值中提取  $-50 \sim 50$  m 的等高(深)线数据,和省、地市边界及县市名称等矢量数据。

### 1.2 离海距计算方法

#### 1.2.1 确定海岸线

在测绘学上将海岸线定义为大潮高潮时海陆分界的痕迹线。痕迹线并不等同于大潮高潮面与陆地地形的交线,大潮高潮面与陆地地形的交线可以通过验潮资料和海岸地形测绘资料在图上绘出。但作为海面,尤其是高潮位时的海面很难有平静的状态。确切的海岸线应该是指海水线常在它到达的陆域边缘留下的痕迹,被水浸过和干出的陆地之间的界线<sup>[30]</sup>。在满足分析需要、保证一定精度的情况下,本研究采用沿海地区的行政边界和岛屿行政边界作为海岸线,并利用 DEM 数据进行检验。

在 ArcGIS 软件中调取福建省线状边界的矢量数据,从中截取沿海边界,剔除内陆边界。保留平潭、厦门和东山的行政岛屿边界,删除其他附属岛屿边界。因沿海边界和岛屿边界是由多条线段组成,利用 GIS 软件分别对线段进行合并,形成 1 条大陆海岸线和 3 条岛屿海岸线。将 DEM 高程值中提取的  $-50 \sim 50$  m 数据,分离出  $-50 \sim -5$  m 和  $10 \sim$

$50$  m 两组数据,利用这两组数据对海岸线地理位置进行验证,结果显示海岸线全部位于  $-5$  m 等深线和  $10$  m 等高线之间,说明海岸线位置的确定符合实际情况。

#### 1.2.2 计算离海距

离海距是指从陆地某一固定点(测站)至海岸线的直线最短距离。日常用到的距离包括欧式距离、曼哈顿距离和路网距离<sup>[31]</sup>。欧式距离是两点之间的直线距离,如果研究区域的地理范围较小,直角坐标系两个节点( $x_1, y_1$ )、( $x_2, y_2$ )之间的欧式距离可以近似表示为

$$d = [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{1/2} \quad (1)$$

在本研究中,测点的最大离海距  $d$  为 268 km (建宁),故选用式(1)欧式距离作为离海距的计算方法。对海岸线矢量数据进行距离分析的栅格化处理,得到分辨率为  $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ ,共计 10546 行、9142 列的格网数据(图 1)。根据各测点在栅格图层中的位置,可以得到各测点至海岸线的直线最短距离,形成测点的离海距数据。

### 1.3 根据离海距的取舍以及选取不同离海距进行低温过程监测

在 9 个地级市中各选取 1 个观测站,作为模式验证站。利用其余 58 个站在低温过程中的最低气温资料,建立  $t_L$  与  $x, y, h$  及  $d$  的回归方程,模拟福建省低温过程中  $t_L$  的空间分布状态。

58 个站均采用离海距因子时,  $t_L$  与  $x, y, h, d$  的低温监测模型(模型 A)为

$$t_L = a_1 \times x + a_2 \times y + a_3 \times h + a_4 \times d^{1/4} + a_0 \quad (2)$$

58 个站均不利用离海距因子时,  $t_L$  与  $x, y, h$  的低温监测模型(模型 B)为

$$t_L = a_1 \times x + a_2 \times y + a_3 \times h + a_0 \quad (3)$$

考虑到  $d$  对  $t_L$  的影响程度,在保证观测样本数量的情况下,  $d$  分别取 25, 50, 100, 150, 200 km, 在  $d$  取值区域内观测站的  $t_L$  值利用地理因子并融合离海距进行模拟,区域外观测站的  $t_L$  值仅利用地理因子进行模拟,然后基于模拟值与实测值的综合残差平方和(Q)来确定  $d$ ,其模型(模型 C)为

$$t_L = \begin{cases} a_1 \times x + a_2 \times y + a_3 \times h + a_4 \times d^{1/4} + a_0, & d \leq d_n; \\ a_1 \times x + a_2 \times y + a_3 \times h + a_0, & d > d_n. \end{cases} \quad (4)$$

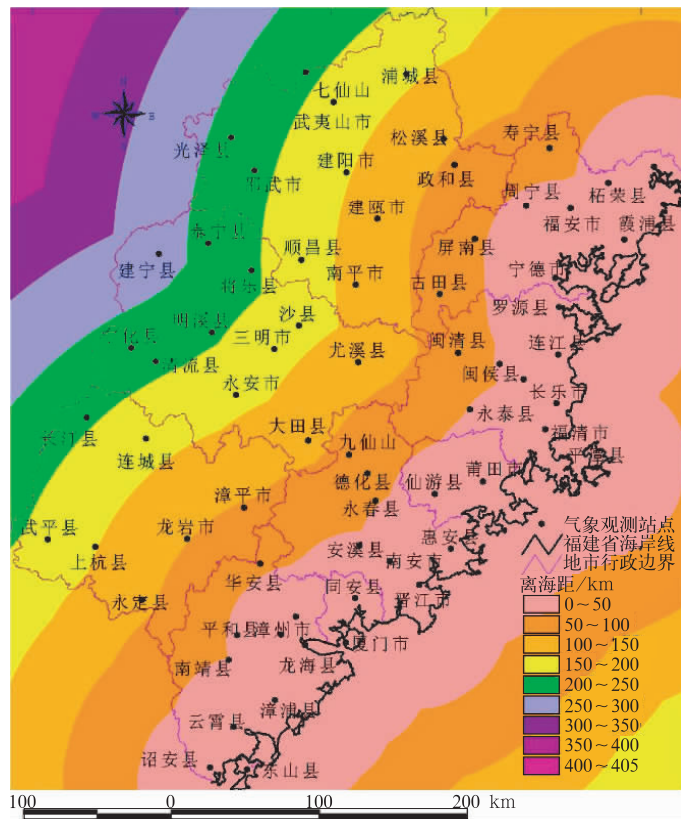


图 1 福建省气象测点离海距示意图

Fig. 1 The distance to coastline diagram of meteorological stations in Fujian Province

$d_n = 25, 50, 100, 150, 200$  km。

式(2)~(4)中,  $a_0$  为常数项,  $a_1, a_2, a_3, a_4$  为系数。

#### 1.4 离海距内外区域衔接处模拟值误差处理方法

采用模型 C 的计算方法, 由于考虑海洋对陆地的影响范围, 离海距因子进行分段处理, 必然形成相邻的两个采用不同因子进行最低气温模拟的区域, 在两区域衔接处将产生不同的模拟结果。为尽可能减小或消除衔接区域低温模拟结果跳跃式变化, 对  $d$  进行调节, 使低温模拟监测值与实测值的  $Q$  最小。具体方法是首先确定  $d$  的基线, 令  $d$  分别为 25, 50, 100, 150, 200 km, 其中使  $Q$  最小的  $d$  为基线。以基线两侧实测站点的  $d$  为标准线, 从基线至标准线的距离为单位, 向基线两侧调整  $d$ , 将使  $Q$  最小的  $d$  作为对应低温过程的离海距因子。利用实测站点进行  $d$  调整的方法, 可以对每个调整  $d$  后的  $Q$  进行比较, 从而确定出最小  $Q$ , 使  $d$  两侧的监测模拟最低气温的变化幅度最小。利用 GIS 技术对筛选和处理后的模型进行福建省低温空间分布的推算模拟, 达

到低温监测的目的, 由于基于 GIS 技术进行温度模拟的方法已经比较成熟, 本文对此过程不进行阐述。

## 2 结果分析

### 2.1 选定离海距因子的计算形式

利用福建省 67 个站 1950—2009 年的年度极端最低气温多年平均值 ( $T_{DP}$ ), 建立  $T_{DP}$  与  $d$  的相关关系(表 1)。对离海距因子处理后表明,  $d^{1/4}$  与  $T_{DP}$  相关度最好, 最终选取  $d^{1/4}$  参加低温过程模拟模型 A

表 1  $T_{DP}$  与选取不同  $d$  计算形式的相关系数  
Table 1 The correlation coefficients of  $T_{DP}$  to different  $d$

离海距	相关系数	残差平方和 / $^{\circ}C$
$d$	-0.7200	349.15
$1/d$	0.3879	615.85
$d^{1/2}$	-0.7698	295.29
$d^{1/4}$	-0.7767	287.57
$d^{1/6}$	-0.7724	292.39
$\ln d$	-0.7493	317.92
$\lg d$	-0.7493	317.92

和模型 C 的计算。从表 1 可以看出,  $d^{1/4}$  与  $T_{DP}$  呈负相关关系, 相关系数为  $-0.77672$ , 通过  $0.001$  显著性检验。

### 2.2 融合离海距前后过程低温模拟效果及其影响因素

利用 58 个站的地理数据和 3 个冷空气过程中最低气温的实测数据, 分别利用模型 A 和模型 B 进行低温监测模拟, 结果见表 2。

分析表明, 变量之间的复相关关系显著, 复相关系数均在  $0.94$  以上,  $F$  检验值均通过  $F_{0.01}$  的检验, 说明地理因子对最低气温的影响显著。但从残差极值和残差平方和来看, 在 3 个过程中模型 A 的模拟效果基本好于模型 B, 加入离海距因子后残差平方和分别减少了  $6.2^{\circ}\text{C}^2$ ,  $9.6^{\circ}\text{C}^2$  和  $0^{\circ}\text{C}^2$ , 说明融合离海距因子后, 低温监测模拟效果更好。

表 2 融合离海距前后低温模拟效果对比

Table 2 The contrast of primal model and merged the distance to the coastline in air temperature simulation

过程	模型	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R_{\max}/^{\circ}\text{C}$	$R_{\min}/^{\circ}\text{C}$	残差平方和/ $^{\circ}\text{C}^2$
1	A	57.60	$1.14 \times 10^{-5}$	$-2.13 \times 10^{-5}$	-0.0045	-0.147	3.68	0.01	86.2
1	B	66.41	$1.80 \times 10^{-5}$	$-2.62 \times 10^{-5}$	-0.0048		3.75	0.04	92.4
2	A	47.60	$1.16 \times 10^{-5}$	$-1.85 \times 10^{-5}$	-0.0049	-0.183	3.02	0.03	88.0
2	B	57.36	$1.97 \times 10^{-5}$	$-2.45 \times 10^{-5}$	-0.0053		3.38	0.09	97.6
3	A	39.69	$7.60 \times 10^{-5}$	$-1.47 \times 10^{-5}$	-0.0068	-0.006	2.42	0.00	51.7
3	B	40.02	$7.90 \times 10^{-6}$	$-1.49 \times 10^{-5}$	-0.0068		2.43	0.02	51.7

注:  $a_0$  为常数项,  $a_1 \sim a_4$  为系数,  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  为最低气温实测值与模拟值的最大、最小残差绝对值。

福建省所有观测站的平均降温幅度过程 1 为  $11.73^{\circ}\text{C}$ ; 过程 2 为  $7.18^{\circ}\text{C}$ ; 过程 3 达到  $13.93^{\circ}\text{C}$ 。在 3 个过程中, 离海距内外区域相比,  $d$  以内区域平均降温幅度均低于  $d$  以外区域(表 3)。

表 3 不同过程及离海距内外区域平均降温幅度(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Table 3 The average cooling range of different regions and processes(unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

过程	范围	平均降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$
1	福建省	11.73
	$d \leq 45 \text{ km}$	9.55
	$d > 45 \text{ km}$	13.38
2	福建省	7.18
	$d \leq 41 \text{ km}$	6.45
	$d > 41 \text{ km}$	7.69
3	福建省	13.93
	$d \leq 60 \text{ km}$	12.06
	$d > 60 \text{ km}$	15.55

由表 2、表 3 可知, 在福建省最低气温监测模拟过程中, 随着冷空气过程平均降温幅度的增加, 相关性有增大趋势, 监测模拟值与实测值的残差平方和以及离海距因子对监测模拟的最低气温值的贡献率有减小趋势, 当平均降温幅度达到某个临界值时,  $d$  对最低气温的贡献率趋近于 0。如过程 3, 其平均降温幅度为  $13.9^{\circ}\text{C}$ , 离海距因子系数仅为  $-0.006$ , 模型 A 与模型 B 的残差平方和基本相同。这是由海

洋对陆地的温度调节能力所决定的, 海洋的温度调节作用存在一定限度, 当平均降温幅度远大于这个限度时, 海洋的调温作用就会显得能力不足, 表现出离海距因子对监测模拟最低气温值的影响有限。所以应该确定离海距对低温的影响范围, 仅在有效范围内融合离海距因子, 提高范围内的低温模拟精度。

### 2.3 利用适宜离海距进行福建省低温过程监测

#### 2.3.1 适宜离海距的确定方法

为更好体现海洋对陆地的温度调节作用随着离海距的增加而减弱的关系, 按照 1.4 节的方法进行 3 个冷空气过程中离海距  $d$  的选取, 即基于观测站对  $d$  进行调整, 将模拟值与实测值的  $Q$  最小时所对应的  $d$  作为过程低温监测模拟的适宜离海距因子, 结果见表 4。

比较表 2、表 4 中的残差平方和可知: 3 个冷空气过程中, 表 4 中的综合残差平方和( $Q$ )均小于表 2 中对应过程的残差平方和, 说明模型 C 的模拟效果要优于模型 A, 更优于模型 B。同时, 当  $d$  分别取  $25 \text{ km}$ ,  $50 \text{ km}$ ,  $100 \text{ km}$ ,  $150 \text{ km}$  和  $200 \text{ km}$  时, 3 个过程的  $Q$  在  $d = 50 \text{ km}$  时最小。将  $50 \text{ km}$  作为基准线对  $d$  做进一步调整, 直到得出使  $Q$  最小的  $d$ , 过程 1、过程 2 和过程 3 能够使  $Q$  最小的离海距分别为  $45 \text{ km}$ ,  $41 \text{ km}$  和  $60 \text{ km}$ 。因此, 选择模型 C 适宜离海距分别取  $45 \text{ km}$ ,  $41 \text{ km}$ ,  $60 \text{ km}$  进行 3 个过程的福建省最低气温的监测模拟, 结果见表 5。表 5 中

所有复相关系数均在 0.91 以上,并通过 0.01 的显著性检验。

3 个过程中,随着平均降温幅度增大,离海距的取值也增加,分析后得出当平均降温幅度增大时,内陆区域的降温差值与沿海区域降温差值的比值加大,为缩小比值,使整体区域的气温趋于平衡状态,

海洋对气温的调节范围加大,其表现为适宜离海距的增加。

另外,增加离海距为 50 km 基准线左右的观测站,可以更准确选取适宜离海距,离海距因子在低温模拟中的作用更明显,模拟效果更好。

表 4 利用综合残差平方和确定适宜离海距(单位:℃<sup>2</sup>)

Table 4 Appropriate distance to the coastline confirmed by the method of integrative residual sum of squares(unit:℃<sup>2</sup>)

离海距/km	过程 1			过程 2			过程 3		
	区域内残差平方和	区域外残差平方和	综合残差平方和	区域内残差平方和	区域外残差平方和	综合残差平方和	区域内残差平方和	区域外残差平方和	综合残差平方和
25	16.78	36.52	53.30	21.49	42.42	63.91	11.19	28.30	39.49
50	30.33	19.01	49.34	37.34	24.52	61.87	15.76	21.38	37.14
100	48.62	16.40	65.02	50.91	20.84	71.75	32.11	12.45	44.56
150	64.74	6.40	71.14	65.05	6.83	71.88	43.33	3.75	47.08
200	84.59	1.05	85.64	83.35	1.94	85.29	50.73	0.12	50.85
45	28.10	19.53	47.63						
41				35.42	25.01	60.43			
60							15.92	21.18	37.10

表 5 利用适宜离海距进行低温监测模拟的效果

Table 5 The influence of the appropriate distance to the coastline in low temperature simulation models

过程	离海距/km	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R_{\max}/\text{℃}$	$R_{\min}/\text{℃}$	残差平方和/℃ <sup>2</sup>
1	$d \leq 45$	116.33	$4.82 \times 10^{-5}$	$-5.14 \times 10^{-5}$	-0.0020	-0.042	2.36	0.078	28.10
1	$d > 45$	48.34	$1.02 \times 10^{-5}$	$-1.89 \times 10^{-5}$	-0.0037		1.79	0.01	19.53
2	$d \leq 41$	95.38	$3.83 \times 10^{-5}$	$-4.22 \times 10^{-5}$	-0.0022	-0.093	2.54	0.02	35.42
2	$d > 41$	37.38	$1.28 \times 10^{-5}$	$-1.65 \times 10^{-5}$	-0.0045		2.31	0.01	25.01
3	$d \leq 60$	76.12	$2.66 \times 10^{-5}$	$-3.22 \times 10^{-5}$	-0.0040	-0.021	2.04	0.002	15.92
3	$d > 60$	34.15	$8.80 \times 10^{-6}$	$-1.30 \times 10^{-5}$	-0.0068		2.09	0.024	21.18

### 2.3.2 低温过程监测模拟结果

利用模型 C,适宜离海距因子分别选取 45 km, 41 km, 60 km,对福建省最低气温进行模拟。对 58 个站误差绝对值分别进行平均,过程 1 为 0.71℃,过程 2 为 0.78℃,过程 3 为 0.59℃。3 个过程的误差绝对值平均为 0.69℃,从单个过程的最低气温模拟效果来说,能够满足了解福建省过程低温状况、为相关部门提供低温影响范围及程度可靠信息的需要。同时,为有关部门及时采取相应的农业生产减灾措施提供必要的依据,从而减轻低温冻害带来的损失。

图 2 是过程 3 的福建省最低气温监测模拟图,图 3 是对应的实测最低气温分析图。由图 2 和图 3 可知,融合离海距及地理三因子得出的模拟图中,最低气温的分布状态比实测图更为精细,有利于对福建省或局部特殊区域低温状况的掌握,并且可以通

过对低温分段数值的调整,对照不同农作物的冻害指标,方便、有效地得到农作物受冻范围和程度等信息,进而更好地服务于农业减灾。

### 2.4 模型验证

由于适宜离海距的选取基于最小残差平方和值,而最小残差平方和值的确定依赖于离海距内外站点的数量及各站点的模拟误差值,因验证站点较少,无法真实反映福建省的低温模拟情况,且验证目的主要是评估本研究选用模式的应用效果,所以仅将 9 个验证站点数据分别带入模型 C 计算得到低温模拟值,利用实测值与模拟值之差的绝对值进行验证结果分析,见表 6。

从表 6 的数据可以看出,过程 3 的验证结果较好,所有验证站点的平均误差绝对值为 0.67℃,过程 1 和过程 2 分别为 1.04℃ 和 0.86℃。所有站点

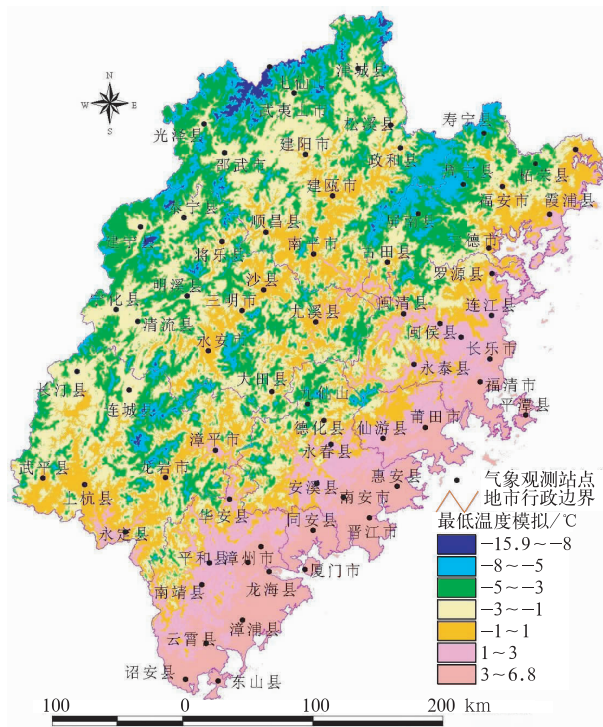


图 2 2010 年 3 月 6—11 日福建省最低气温模拟分布图

Fig. 2 The distribution of minimum air temperature simulation in Fujian Province during 6—11 March 2010

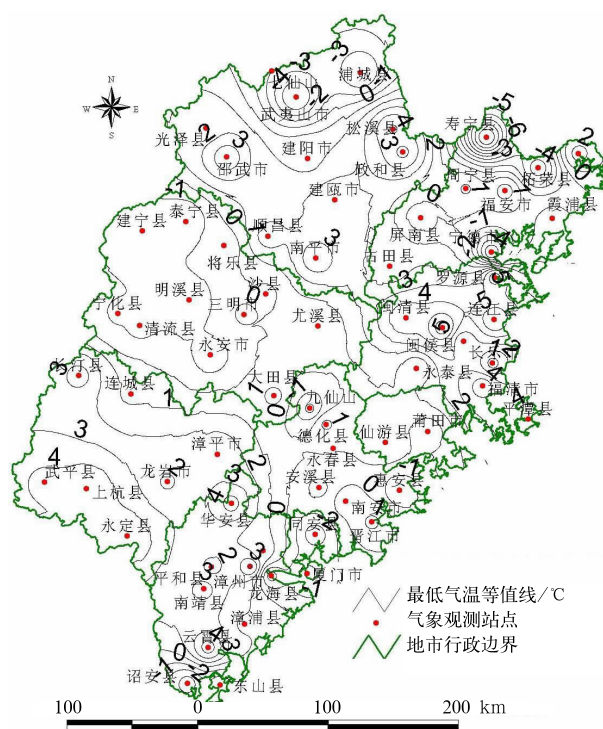


图 3 2010 年 3 月 6—11 日福建省最低气温分布

Fig. 3 Isotherm of minimum air temperature in Fujian Province during 6—11 March 2010

表6 验证站最低气温实测值、模拟值和误差绝对值

Table 6 The actual minimum air temperature value, simulated value and absolute error of validate stations

过程	比较项目	明溪	建阳	上杭	永春	平和	闽侯	福安	莆田	同安
1	$d/\text{km}$	>45	>45	>45	>45	>45	>45	<45	<45	<45
	实测值/ $^{\circ}\text{C}$	-4	-3.5	0.9	1.7	1.8	1.8	-0.1	6.8	6.2
	模拟值/ $^{\circ}\text{C}$	-3.00	-3.39	-0.41	1.02	2.57	1.32	-2.13	5.04	5.02
	误差绝对值/ $^{\circ}\text{C}$	1.00	0.11	1.31	0.68	0.77	0.48	2.03	1.76	1.18
2	$d/\text{km}$	>41	>41	>41	>41	>41	>41	<41	<41	<41
	实测值/ $^{\circ}\text{C}$	-6.6	-5.6	-1.9	-0.7	0.3	-0.2	-1.2	3.1	2.8
	模拟值/ $^{\circ}\text{C}$	-5.63	-5.40	-3.51	-1.48	-0.36	-0.58	-3.64	2.51	2.72
	误差绝对值/ $^{\circ}\text{C}$	0.97	0.20	1.61	0.78	0.66	0.38	2.44	0.59	0.08
3	$d/\text{km}$	>60	>60	>60	<60	<60	<60	<60	<60	<60
	实测值/ $^{\circ}\text{C}$	-2.4	-1.5	1.2	1.8	3.4	1.5	0.9	4.3	4.1
	模拟值/ $^{\circ}\text{C}$	-1.63	-1.03	0.60	1.53	3.00	2.72	-0.95	3.85	4.13
	误差绝对值/ $^{\circ}\text{C}$	0.77	0.47	0.60	0.27	0.40	1.22	1.85	0.45	0.03

中,建阳站模拟效果最好,3个过程的平均误差绝对值最小仅为 $0.26^{\circ}\text{C}$ 。3个过程的平均误差值在 $1^{\circ}\text{C}$ 以下的站点有明溪( $0.91^{\circ}\text{C}$ )、永春( $0.58^{\circ}\text{C}$ )、平和( $0.61^{\circ}\text{C}$ )、闽侯( $0.69^{\circ}\text{C}$ )、莆田( $0.93^{\circ}\text{C}$ )、同安( $0.43^{\circ}\text{C}$ ),在 $1^{\circ}\text{C}$ 以上的站点有上杭( $1.17^{\circ}\text{C}$ ),福安( $2.11^{\circ}\text{C}$ ); $2/9$ 的验证站点平均误差绝对值低于 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,有 $8/9$ 的验证站点平均误差绝对值低于 $1.2^{\circ}\text{C}$ ;仅福安站的误差绝对值较大,单独对其分析后认为是由该站所处地理位置形成的特殊局地小气候所造成。

### 3 小结

本文阐述了计算离海距的原理和方法,融合离海距因子进行福建省冷空气过程的最低气温空间分布模拟,实际效果较好。在不同离海距情况下,针对离海距因子对过程最低气温的贡献率进行讨论,并确定出适宜的离海距。最后利用地理因子和离海距对福建省低温分布状态进行模拟,对模拟结果进行验证。得到以下主要结论:

1) 福建省低温过程中最低气温与离海距呈负相关关系。

2) 低温过程的平均降温幅度越大,离海距对最低气温监测模拟值的贡献率越小,适宜离海距因子的取值越大。

3) 利用逐步逼近的方法,可以确定使最低气温模拟值与实测值的残差平方和最小的离海距,达到使监测模拟值与实测值拟合度最好,并且最大限度消除离海距内外衔接区域最低气温误差的目的。

4) 可以通过融合离海距因子进一步提高最低气温模拟值的准确度,离海距有一定的区域适用性,区域内融合适宜离海距因子进行低温监测模拟,区域外利用经度、纬度、海拔高度地理因子进行低温模拟即可。

利用以上研究结果,结合不同农作物或果树的寒(冻)害指标,可以实现相应的寒(冻)害监测产品,明确寒(冻)害发生的程度和区域,对指导减灾措施制定和启动起到积极作用,对农业生产应对灾害、减少损失意义重大。

### 参考文献

- [1] 张星,郑有飞,周乐照.农业气象灾害灾情等级划分与年景评估.生态学杂志,2007,26(3):418-421.
- [2] 温克刚,宋德众,蔡诗树.中国气象灾害大典——福建卷.北京:气象出版社,2007:1-3.
- [3] 何燕,李政,廖雪萍.基于GIS的巴西陆稻IAPAR29种植气候区划研究.应用气象学报,2007,18(2):219-224.
- [4] 罗伦.无测站地方平均气温的推求方法.气象,1978,4(2):31-32.
- [5] 梁敬,朱家龙.山区热量资源的估算方法.气象,1981,7(10):24-25.
- [6] 张洪亮,倪绍祥,邓自旺,等.基于DEM的山区气温空间模拟方法.山地学报,2002,20(3):360-364.
- [7] 朱琳,朱延年,陈明彬,等.基于GIS陕南商洛地区农业气候资源垂直分层.应用气象学报,2007,18(1):108-113.
- [8] 方书敏,秦将为,李永飞,等.基于GIS的甘肃省气温空间分布模式研究.兰州大学学报:自然科学版,2005,41(2):6-9.
- [9] 李军,游松财,黄敬峰.中国1961—2000年月平均气温空间插值方法与空间分布.生态环境,2006,15(1):109-114.
- [10] 杨凤海,王帅,刘晓庆,等.基于ArcGIS的近10年黑龙江省旬平均气温插值与建库.黑龙江农业科学,2009(5):120-124.

- [11] 唐力生, 杜尧东, 陈新光, 等. 广东寒害低温过程动态监测模型. 生态学杂志, 2009, 28(2): 366-370.
- [12] 王春林, 刘锦銮, 周国逸, 等. 基于 GIS 技术的广东荔枝寒害监测预警研究. 应用气象学报, 2003, 14(4): 487-495.
- [13] 王瑾, 刘黎平. 基于 GIS 的贵州省冰雹分布与地形因子关系分析. 应用气象学报, 2008, 15(9): 627-634.
- [14] 蔡文华, 陈家金, 陈惠. 福建省 2004/2005 冬季低温评价和果树冻害成因分析. 亚热带农业研究, 2005, 1(3): 35-39.
- [15] 吴仁焯, 陈家豪, 徐宗焕, 等. 漳州果树种植适宜性区划的 GIS 应用. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009, 38(4): 366-370.
- [16] 杜尧东, 李春梅, 毛慧琴. 广东省香蕉与荔枝寒害致灾因子和综合气候指标研究. 生态学杂志, 2006, 25(2): 225-230.
- [17] 何燕, 谭宗琨, 李政, 等. 基于 GIS 的广西甘蔗低温冻害区划研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(9): 81-85.
- [18] 何燕, 李政, 谭宗琨, 等. GIS 支持下的广西龙眼冻害区划研究. 云南农业大学学报, 2009, 24(15): 725-728.
- [19] Myburgh J. Estimation of minimum temperature on a mesoscale. *South African Journal of Plant and Soil Functional Ecology*, 1985, 2(2): 89-92.
- [20] 李文, 蔡文华, 王加义. 利用宁德市沿海越冬热量条件发展晚熟龙眼荔枝. 中国农业气象, 2005, 26(4): 239-241.
- [21] 王加义, 李文, 蔡文华. 应用 GIS 进行闽东南果树避冻农业气候区划. 福建农业科技, 2005(6): 60-62.
- [22] 蔡文华, 李文. 用地理因子模拟年度极端最低气温模式的探讨. 气象, 2003, 29(7): 31-34.
- [23] 蔡文华, 李文, 王加义. 海洋对台湾海峡西岸沿海最低气温的影响//新世纪气象科技创新与大气科学发展——农业气象与生态环境. 北京: 气象出版社, 2003: 395-398.
- [24] 周淑玲, 丛美环, 吴增茂. 2005 年 12 月 3—21 日山东半岛持续性暴雪特征及维持机制. 应用气象学报, 2008, 19(4): 444-453.
- [25] 章国材, 李晓莉, 乔林. 夏季 500 hPa 副热带高压区域一次暴雨过程环流条件的诊断分析. 应用气象学报, 2005, 16(3): 396-401.
- [26] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰. 2000 年以来云南 4 次强降雪过程的对比分析. 应用气象学报, 2007, 18(1): 64-72.
- [27] Matzarakis A, Balafoutis C. Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *International Journal of Climatology*, 2004, 24(14): 1817-1828.
- [28] Miyazaki Hiroshi, Moriyama Masakazu. Study on estimation of air temperature distribution by using neural network. *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, 2001, 543: 71-76.
- [29] Markow T A, Raphael B, Dobberfuhl D, et al. Elemental stoichiometry of *Drosophila* and their hosts. *Functional Ecology*, 1999, 13: 78-84.
- [30] 夏东兴, 段焱, 吴桑云. 现代海岸线划定方法研究. 海洋学研究, 2009, 27(增刊): 28-33.
- [31] 王法辉. 基于 GIS 的数量方法与应用. 北京: 商务出版社, 2009: 29-31.



## Monitoring of Low Temperature in Fujian Based on the Distance to the Coastline and GIS Technology

Wang Jiayi<sup>1)</sup> Chen Hui<sup>1)</sup> Xia Lihua<sup>2)</sup> Pan Weihua<sup>1)</sup> Cai Wenhua<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (*Fujian Institute of Meteorological Sciences, Fuzhou 350001*)

<sup>2)</sup> (*Fujian Provincial Meteorological Observatory, Fuzhou 350001*)

### Abstract

Based on the 1:250000 Digital Elevation Model (DEM) data and statistical data of the air temperature of 67 weather stations, considering the distance to coastline in Fujian Province considering the feedback effect of ocean to continent, the geographic mathematical model is established depending on the connections between factors such as the lowest temperature, latitude, longitude, altitude, and is used to simulate the fine distribution of lowest temperature in cold air processes of winter from 2008 to 2010.

On the basis of the ascertainment of coastline and proven distributions, the appropriating calculation formula of the distance to coastline is ensured and the three monitoring models of low temperature processes are founded based on the choice of different distance to coastline or no distance to coastline. Moreover, the models are analyzed comparably and the best model is applied to simulate the low temperature. Contemporarily, the method of selecting appropriate the distance to coastline is approved by regression models and integrative residual sum of squares, and the transacting process of simulated errors in the joint of inter and outer coastline is introduced.

The results show that the lowest temperature is well simulated by introducing the appropriate distance to coastline to the low temperature monitoring model during the cold air processes. With the increase of average cooling range of cold air, the efficiency of distance to the coastline factor to the value of the minimum temperature simulation decreases. Moreover, the distances to the coastline are changed with the different cold air processes and are not more than 50 kilometers. Furthermore, the method of how to select appropriate distance to the coastline is confirmed based on the value of different square sum. Although there is adjusting effect of ocean temperature to land temperature, with the increase of distance to coastline, the feedback effect on temperature of ocean to land decreases, and the mathematical model made up of factors such as longitude, latitude, altitude and the distance to coastline is suitable for low temperature monitoring simulation in regions where the distance to the coastline are more than 50 kilometers. Similarly, the mathematical model made up of factors as longitude, latitude, altitude and the distance to coastline is suitable for low temperature monitoring simulation in regions of the distance less more than 50 kilometers, which could increase the precision of low temperature monitoring simulation and embody the adjustment function of sea to land temperature. Finally, 9 destined samples (each sample is selected optionally from one city of Fujian) are verified in the model and the simulated results of low temperature are proved to match with actual situation substantially.

**Key words:** Geographic Information System(GIS); appropriate distance to the coastline; cold air processes; temperature simulation; geographic factors