

# 重庆山地界限温度起止日期和持续日数的 分布式模拟\*

邱新法<sup>1\*\*</sup> 卞宗雅<sup>1</sup> 曾 燕<sup>2</sup> 施国萍<sup>1</sup>

1. 南京信息工程大学遥感学院地理信息系统系, 南京 210044; 2. 江苏省气象科学研究所, 南京 210008

**摘要** 利用重庆市34个常规气象站1961—2000年日平均气温资料,建立了界限温度起止日期物理经验统计模型;结合山地月平均气温分布式模拟结果,提出了依托常规地面气象观测资料计算复杂地形条件下各界限温度起止日期和持续日数的方法;实现了重庆山地100 m × 100 m分辨率0, 10, 15, 20℃界限温度起止日期及其持续日数的分布式模拟。模拟结果能较好地反映重庆山地各界限温度起止日期和持续日数的宏观分布趋势和局地分布特征。各界限温度起止日期模拟绝对误差平均值在0.6—2.4 d之间,交叉验证绝对误差平均值在1.3—2.8 d之间,个例年验证绝对误差平均值在0.7—2.5 d之间。模拟结果与野外考察资料具有很好的一致性。模型不依赖于山区野外实地考察资料,为利用常规气象观测资料模拟山地热量资源提供了切实可行的技术方法。

**关键词** 分布式模拟 重庆 界限温度 起止日期

热量资源是重要的气候资源,各级界限温度稳定通过的起止日期、持续日数和积温是农业气候区划和农业气象服务中的重要参数,是分析一个地区种植制度、品种分布和农业技术措施选择的重要农业气候指标。

界限温度的起止日期和持续日数有一定的农业意义<sup>[1]</sup>。日平均气温 $\geq 0^\circ\text{C}$ 期间的间隔天数一般视为广义的生长期;稳定通过 $10^\circ\text{C}$ 的时期为越冬作物活跃生长期和喜温作物的可能生长活动期;稳定通过 $15^\circ\text{C}$ 的时期为作物移栽期;日平均气温 $\geq 20^\circ\text{C}$ 是一般常规水稻抽穗开花期的下限温度指标。山区缺乏详细的考察资料,模拟复杂地形下各界限温度的起止日期和持续日数,是评价山区热量条件的重要指标。但大多数山地热量资源研究探讨的是利用海拔高度、经度、纬度等地理因子推算山区积温的问题<sup>[2-6]</sup>,有关山区界限温度起止日期和持续日数的研究却较少。

利用气象站日平均气温观测资料统计界限温度起止日期的方法主要有二倍偏差法、5日滑动平均法、直方图法以及3日连续偏低法等<sup>[7,8]</sup>。对于只有短期考察资料的山区常用相关法和换限法间接推算界限温度起止日期<sup>[9,10]</sup>,而换限法实质上等同于相关法,即根据月平均气温与稳定通过各级界限温度日期之间的相关关系推算出界限温度起止日期以及积温期;崔玉香<sup>[11]</sup>提出一种以月中日序和月平均气温为基础,计算稳定通过某界限温度初、终日期的简便方法;石剑等<sup>[12]</sup>建立了日平均气温稳定通过 $10^\circ\text{C}$ 起止日期的计算模型;甄计国等<sup>[13]</sup>根据气温垂直递减率,提出积温期分解法研究了海拔高度对积温和积温期长度的双重影响及其相互关系。此类模型物理意义清晰,但依赖于野外考察资料,不便于在广大山区推广应用。卢其尧、傅抱璞<sup>[14]</sup>主张采用经度、纬度、海拔高度及其他地理环境因素,建立多元地理统计模式估算界限温度出现日期和持续日

2009-01-04 收稿, 2009-03-03 收修稿稿

\* 中国气象局新技术推广重点项目“基于DEM的我国太阳能资源评估”(编号:CBAT2006Z10)资助

\*\* E-mail: qiuxinfa@sina.com

数等热量要素。刘静等<sup>[15]</sup>通过线性内插近似确定界限温度的起止日期,在此基础上对逐旬气候资料进行小网格订正,生成各级界限温度起止日期、持续日数等要素的小网格数字化图;钱锦霞等<sup>[16]</sup>应用图解法计算了气温样本的负积温、各级界限温度的起止日期、持续日数和积温;任传友等<sup>[17]</sup>采用三维二次幂级数展开法,考虑了经度、纬度、海拔高度及坡度、坡向、地形遮蔽度等小地形因子,采用逐步回归方法计算了10℃初终日、持续日数以及积温。

本文立足于常规地面气象观测资料,在建立界限温度起止日期和持续日数物理经验统计模型的基础上,结合山地月平均气温模拟结果<sup>[18]</sup>,提出了复杂地形下界限温度起止日期和持续日数的分布式计算模型,实现了重庆市100 m×100 m分辨率0, 10, 15, 20℃界限温度起止日期和持续日数的分布式模拟。

## 1 资料及处理

所用资料包括:(i)重庆市范围内34个常规气象站1961—2000年逐日平均气温,用于建立界限温度起止日期和持续日数物理经验统计模型;(ii)复杂地形下重庆市月平均气温模拟结果<sup>[19]</sup>,用于重庆山地界限温度起止日期和持续日数的分布式模拟;(iii)重庆市范围内34个常规气象站2005年逐日平均气温,用于个例年验证;(iv)《盆

周山区农业气候资源资料集》<sup>[20]</sup>部分数据,用于模拟结果验证;(v)1:25万国家基础地理数据,用于生成100 m×100 m分辨率的DEM数据和其他地理地形参数。

## 2 界限温度起止日期与持续日数计算模型

### 2.1 界限温度起止日期计算模型

假设月平均气温呈单调变化,如图1(a)所示,在采用相邻月平均气温线性变化率的情况下,根据月平均气温计算界限温度 $T_c$ 起止日期的模型为:

$$J_b = J_{m-1} + \frac{T_c - T_{m-1}}{T_m - T_{m-1}}(J_m - J_{m-1}) \quad (1)$$

$$J_e = J_{m-1} + \frac{T_{m-1} - T_c}{T_{m-1} - T_m}(J_m - J_{m-1}) \quad (2)$$

式中 $J_b$ 为界限温度开始日序; $T_c$ 为界限温度; $T_{m-1}$ ,  $T_m$ 分别为 $m-1$ 月和 $m$ 月月平均气温; $J_e$ 为界限温度终止日序; $J_{m-1}$ ,  $J_m$ 分别为 $m-1$ 月和 $m$ 月中日期的日序;日序的计算以1月1日为1,12月31日为365。

实际情况下,月平均气温并非完全呈单调变化,且不同季节月平均气温变化速率不同,见图1(b),为此,将公式(1), (2)中的某界限温度起止日期的参照项设为 $J_m$ ,同时再加入相邻月或间隔月月中日序的差值因子作为订正项,将界限温度起止日期模型改进为:

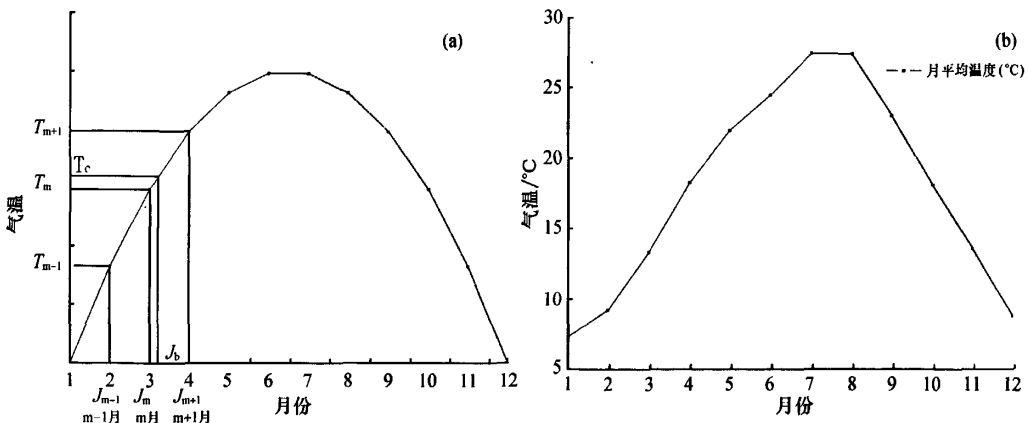


图1 月平均气温变化图  
(a)理想情况;(b)实际情况,以永川站为例

$$\left\{ \begin{aligned} J_b &= a_b J_m + b_b (J_m - J_{m+2}) + \\ & c_b \frac{T_c - T_{m+2}}{T_m - T_{m+2}} (J_m - J_{m+2}) + \Delta J_b \\ & (T_c = 0, m = 1) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} J_b &= a_b J_m + b_b (J_m - J_{m-1}) + \\ & c_b \frac{T_c - T_{m-1}}{T_m - T_{m-1}} (J_m - J_{m-1}) + \Delta J_b \\ & (T_c = 0, m > 1; T_c = 10, 15, 20) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} J_c &= a_c J_m + b_c (J_m - J_{m-2}) + \\ & c_c \frac{T_c - T_{m-2}}{T_m - T_{m-2}} (J_m - J_{m-2}) + \Delta J_c \\ & (T_c = 0, m = 12) \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} J_c &= a_c J_m + b_c (J_{m+1} - J_m) + \\ & c_c \frac{T_c - T_{m+1}}{T_m - T_{m+1}} (J_{m+1} - J_m) + \Delta J_c \\ & (T_c = 0, m < 12; T_c = 10, 15, 20) \end{aligned} \right. \quad (6)$$

式中,  $J_b$ ,  $J_c$  为各界限温度起止日期;  $T_c$  为界限温度;  $m$  为月平均气温首次(最迟)大于界限温度  $T_c$  的月份;  $J_{m-2}$ ,  $J_{m-1}$ ,  $J_m$ ,  $J_{m+1}$ ,  $J_{m+2}$  与  $T_{m-2}$ ,  $T_{m-1}$ ,  $T_m$ ,  $T_{m+1}$ ,  $T_{m+2}$  分别为  $m-2$  月、 $m-1$  月、 $m$  月、 $m+1$  月、 $m+2$  月的月中日期的日序以及月平均气温,  $a_b$ ,  $b_b$ ,  $c_b$ ,  $a_c$ ,  $b_c$ ,  $c_c$  为经验系数;  $\Delta J_b$ ,  $\Delta J_c$  为其他因素对界限温度起止日期影响的综合余项。

模型(3), (4), (5), (6) 右侧第一项为基础项, 相当于常数项, 代表某界限温度起止日期的参照项; 第二项为相邻(间隔)月中日序的差值因子订正项; 第三项为温度变化率引起的日序变化订正项。模型(3), (5) 中采用  $m+2$  月,  $m-2$  月的原因是: 在相邻两个月温度差值不大的情况下, 采用间隔月的温度可以扩大差值项, 减少温度变化率的敏感性。

## 2.2 模型参数确定

采用 5 日滑动平均法对重庆市 34 个气象站 1961—2000 年气温观测资料统计各站逐年的 0, 10, 15, 20℃ 各界限温度起止日期。在忽略综合余项  $\Delta J_b$ ,  $\Delta J_c$  的情况下, 利用 34 个气象站资料拟合确定模型(3), (4), (5), (6) 中的经验系数。在进行 10, 15 和 20℃ 界限温度起止日期拟合时, 直接应用模型(4), (6)。重庆地区气象站稳定通过 0℃ 的起止日期都在 1 月的上中旬和 12 月的中下旬, 集中在两端, 样本较

少, 在模拟起止日期的时候会出现拟合误差较小, 推算误差较大的现象。采用人为改变日平均气温增加 0℃ 起止日期观测样本的方法, 其过程为: 将各气象站点日平均气温每减去 1℃, 计算一次稳定通过 0℃ 的起止日期, 直至稳定通过 0℃ 的开始日期达到 4 月 15 日, 稳定通过 0℃ 的终止日期达到 10 月 15 日为止(根据重庆山地月平均气温模拟结果可知, 重庆市 4—10 月份各地月平均气温均在 0℃ 以上)。将延长后的样本按 1 月、12 月月平均气温分为两类, 大于等于 0℃ 的使用模型(3)、(5), 小于 0℃ 的使用模型(4)、(6) 计算 0℃ 界限温度起止日期。表 1 和表 2 给出了各模型的经验系数及相应的统计指标。

表 1 各界限温度起始日拟合模型经验系数及统计指标<sup>a)</sup>

界限温度/℃	$R^2$	$a_b$	$b_b$	$c_b$	MSE/d	MABE/d
0( $m=1$ )	0.912	0.000	-1.172	0.580	5.8	3.3
0( $m>1$ )	0.999	0.843	-0.028	0.856	2.5	
10	0.999	0.931	-0.367	0.976	1.6	1.2
15	0.999	0.948	-0.358	0.911	1.6	1.3
20	0.999	0.977	-0.474	1.191	2.6	2.0

a)  $R^2$  为决定系数; MSE 为均方差; MABE 为绝对误差平均值, 以下同

从表 1、表 2 可以看出, 各拟合方程均通过了显著性检验, 决定系数都在 0.9 以上, 统计参数 MABE(mean absolute bias error) 为绝对误差平均值, 代表了综合余项  $\Delta J_b$ ,  $\Delta J_c$  的绝对平均值, 其数值不超过 3.3 d, 大部分在 1.5 d 以内, 因此(3), (4), (5), (6) 式进行界限温度拟合是成功的。

表 2 各界限温度终止日拟合模型经验系数及统计指标

界限温度/℃	$R^2$	$a_c$	$b_c$	$c_c$	MSE/d	MABE/d
0( $m=12$ )	0.999	0.000	5.388	-0.350	3.8	2.2
0( $m<12$ )	0.999	0.982	0.943	-0.978	1.5	
10	0.999	0.841	2.346	-0.905	0.8	0.6
15	0.999	1.073	0.107	-1.027	1.2	0.9
20	0.999	0.750	2.632	-0.789	1.7	1.4

## 2.3 界限温度持续日数计算模型

界限温度起始日至终止日即为界限温度的持续日数。界限温度起止日期用日序来表示, 则界限温度持续日数模型为

$$D_c = J_c - J_b + 1 \quad (7)$$

### 3 复杂地形下重庆市界限温度起止日期与持续时间的分布式模拟

以 100 m×100 m 分辨率的网格为计算单元, 经验系数  $a_b, b_b, c_b, a_c, b_c, c_c$  采用表 1、表 2 参数; 综合余项  $\Delta J_b, \Delta J_c$ 。根据 34 个站界限温度拟合误差余项采用 IDW (Inverse Distance Weight) 插值方法进行空间内插获得; 结合根据分布式气温模型<sup>[18]</sup>计算获得的重庆市月平均气温  $T_{m-2}, T_{m-1}, T_m, T_{m+1}, T_{m+2}$ , 即可获得复杂地形下重庆市各界限温度起止日期与持续时间的空间分布。

#### 3.1 复杂地形下重庆市各界限温度起止日期与持续日数的空间分布

图 2(a), (b) 给出了 1961—2000 年复杂地形下重庆气候平均 0°C 起止日期的空间分布图。可以看出, 重庆市 0°C 起止日期的地域差异明显, 重庆市气候偏暖, 大部分地区气温常年在 0°C 以上, 地势相对平缓的重庆市西部、西南部丘陵及低海拔地区, 0°C 起始日期基本都在 1 月上旬, 终止日期都在 12 月下旬, 且分布较为均匀。而在地势较高的大巴山、金佛山、巫山和七曜山地区, 初日偏晚, 终日偏早, 尤其是东北部大巴山高海拔地区, 稳定通过 0°C 的日

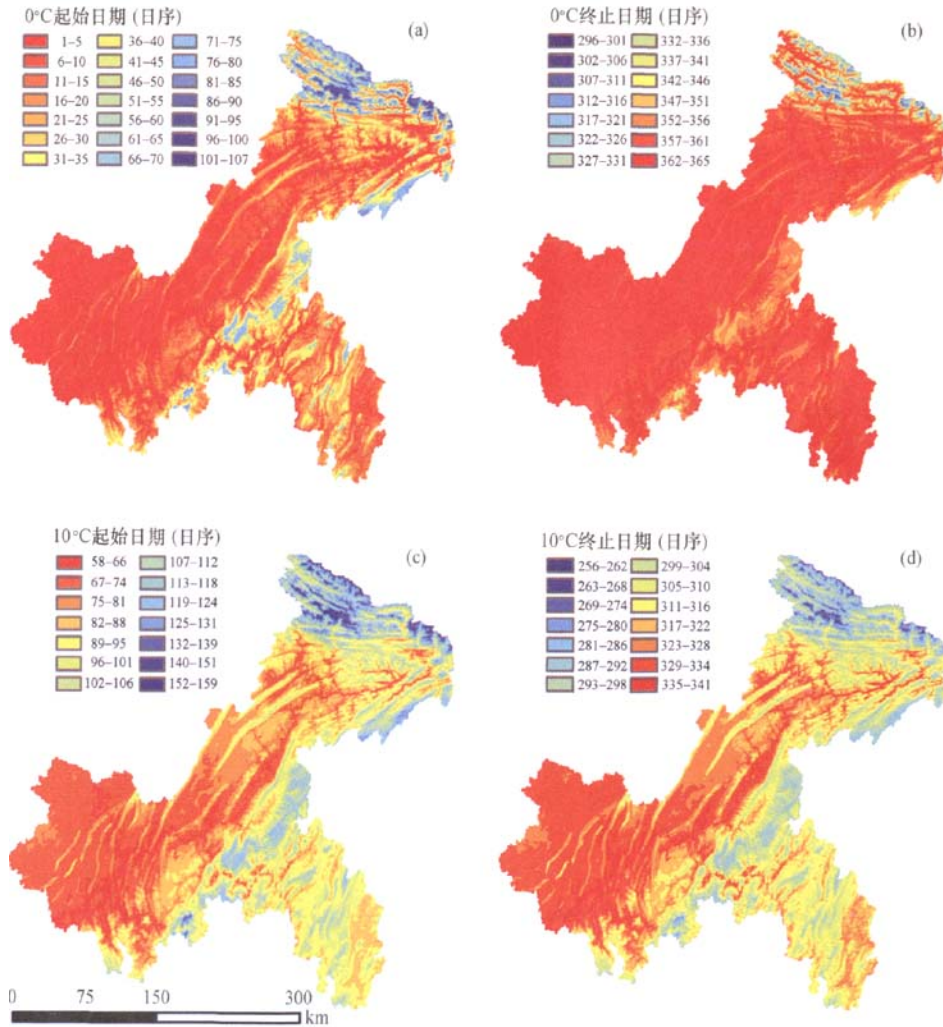


图 2 复杂地形下重庆 0°C、10°C 气候平均起止日期空间分布图(1961—2000)

(a), (b) 0°C 起止日期; (c), (d) 10°C 起止日期

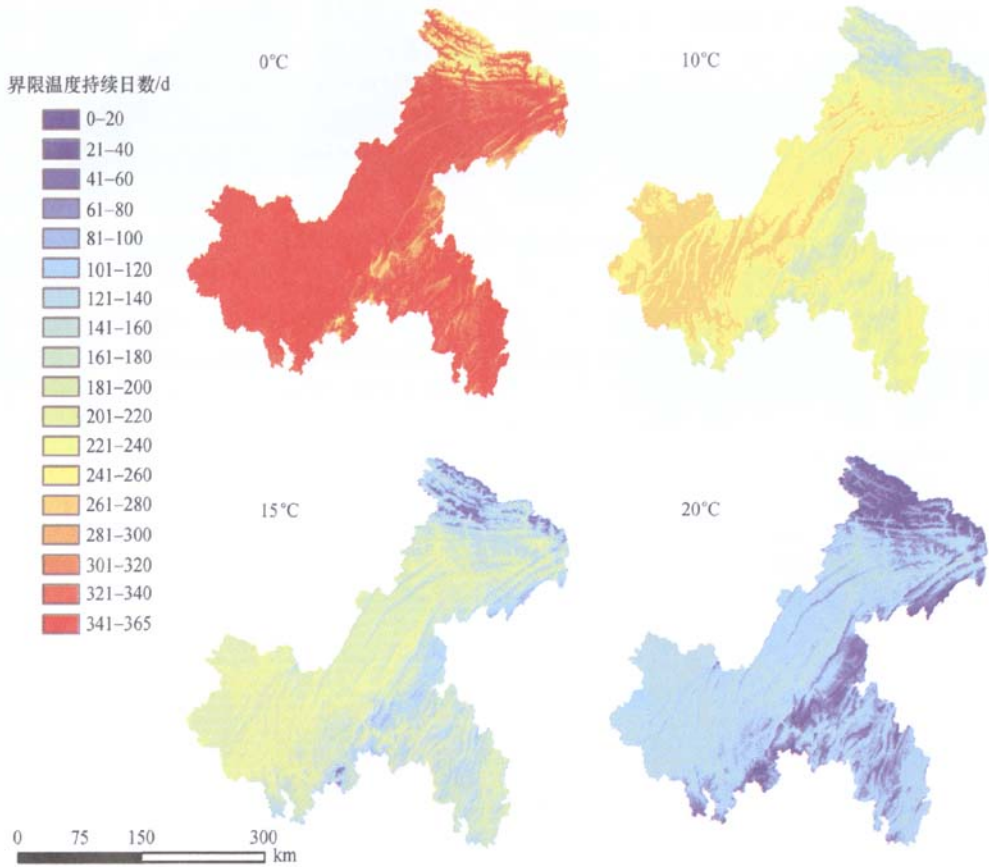


图3 1961—2000年重庆山地各界限温度气候平均持续日数空间分布图

期始于3月中旬,止于10月下旬。地形对于起止日期的作用相当明显,重庆市东部为长江以南山地,山脉多为东北—西南走向;以北山区,山脉基本为东西走向。不管山脉走向如何,模拟结果局地分析表明(局地放大图略,以下同),山区阳坡(偏南坡)温度较高,与背阴坡(偏北坡)形成比较鲜明的对比;向阳坡 $0^{\circ}\text{C}$ 起始日期较早,终止日期较晚;背阴坡起始日期较晚,终止日期较早,南北坡之间差异明显。

图2(c), (d)给出了1961—2000年复杂地形下重庆气候平均 $10^{\circ}\text{C}$ 起止日期的空间分布图。可以看出,重庆市大部分地区稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的初日集中在3月;最早为3月上旬,出现在西部丘陵及平坝地区;最晚为5月下旬,出现在海拔较高的大巴山区;南部与四川交界的南川市、彭水县,由于海拔较高,稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的初日也较晚。全市稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的终日介于9月中旬与12月上旬之间,整体空间分布

趋势与初日十分相似,大巴山区稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的终日出现最早。受坡度、坡向、地形遮蔽等因素的影响, $10^{\circ}\text{C}$ 起止日期局地分布差异脉络清晰,南向坡较暖,初日偏早,终日偏晚;北向坡较凉,初日偏晚,终日偏早,南北坡差异较大。

图3给出了 $0, 10, 15, 20^{\circ}\text{C}$ 界限温度持续日数的空间分布图。可以看出,随着界限温度的提高,各界限温度的持续日数相应减少,北部大巴山区与中南部大娄及武陵山区各界限温度持续日数较短,西部丘陵与低海拔地区各界限温度持续日数较长。相比之下 $10, 15, 20^{\circ}\text{C}$ 界限温度持续日数的空间分布差异比 $0^{\circ}\text{C}$ 持续日数的空间分布差异更为显著。重庆市北部的大巴山与南部大娄山部分地区海拔较高,气温常年持续在 $20^{\circ}\text{C}$ 以下,其 $20^{\circ}\text{C}$ 界限温度持续日数为 $0\text{d}$ 。局地分析表明,坡度、坡向、地形遮蔽等地形因素对各界限温度持续日数分布作用明

显, 向阳坡偏长, 背阴坡偏短.

### 3.2 界限温度起止日期与持续时间的局地分布规律

影响各界限温度起止日期与持续时间空间分布的地理、地形因素包括纬度、经度、海拔高度、坡度、坡向等. 为了分析模拟结果的局地分布规律, 将逐栅格的各界限温度起止日期和持续时间按纬度、海拔高度、坡度、坡向四个要素进行分组统计, 限定其他三个要素在相同取值范围, 分析其随单一要素的分布规律.

图4(a)反映的是北纬30°, 1200 m海拔高度、15°坡地上0, 10, 15, 20°C界限温度的起始日期随坡向的变化规律, 其中, 横坐标为坡向, 90°为东坡, 180°为南坡, 270°为西坡, 0°或360°为北坡; 纵坐标为起始日期距平, 指某一坡向上栅格起始日期与所有坡向上所有栅格起始日期之差; 图上每个点的起始日期距平是同一坡向上多个栅格起始日期距平的平均值. 由图可见: 偏南坡0, 10, 15, 20°C界限温度起始日期均早于偏北坡; 东坡和西坡的起始日期与各坡向平均值相当; 不同坡向起始日期距平随界限温度的提高而减小.

图4(b)反映的是北纬30°, 2600 m海拔高度、15°坡地上0, 10, 15°C<sup>1)</sup>界限温度终止日期随坡向的变化规律. 由图可见: 偏南坡各界限温度终止日期均晚于偏北坡; 不同坡向间界限温度终止日期以0°C变幅为最大, 10, 15°C的变化相对较小.

图4(c)反映的是北纬30°, 1500 m海拔高度、15°坡地上0, 10, 15, 20°C界限温度的持续日数随坡向的变化规律, 综合了地形对各界限温度起止日期的双重影响, 可以看出, 持续日数随坡向的变化以0°C为最大, 其次是10°C, 15, 20°C变化相对较小.

图4(d)给出了北纬30°, 1200 m海拔高度、不同坡度的坡地上10°C界限温度终止日期随坡向的变化规律. 由图可见, 在10°—25°的范围内, 向阳坡与背阴坡10°C界限温度的终止日期之间差异随坡度的增加而增加.

## 4 模拟结果误差分析

表3列出了重庆市内34个气象站1961—2000年0, 10, 15, 20°C界限温度起止日期的40 a气候

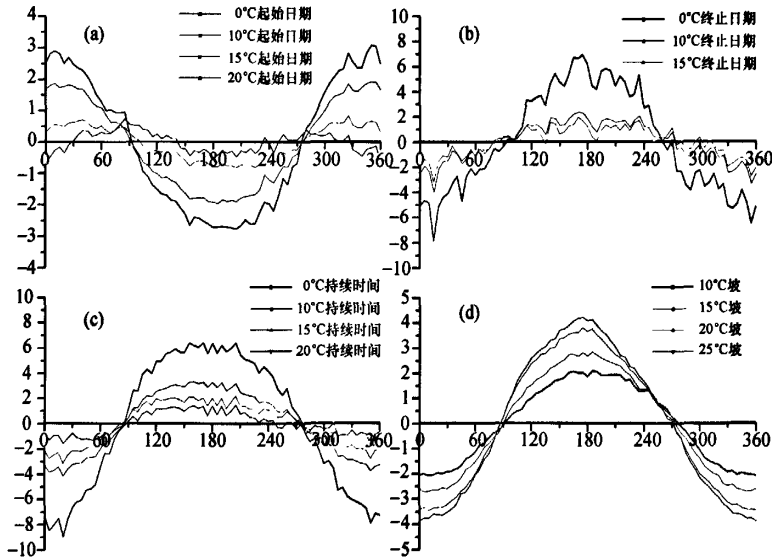


图4 重庆市各界限温度起止日期及持续时间受地形影响规律特征

(a) 30°N, 1200 m海拔, 15°坡地; (b) 30°N, 2600 m海拔, 15°坡地; (c) 30°N, 1500 m海拔, 15°坡地; (d) 30°N, 1200 m海拔, 不同坡度

1) 海拔较高, 温度终年处于20°C以下, 所以此图中未给出20°C界限温度曲线

平均值与模拟值的对比情况。表中数据是重庆市内34个气象站界限温度起止日期模拟绝对误差平均值。为了减少地理地形参数偏差带来的误差,采用邻近相似栅格法<sup>[19]</sup>提取气象站对应栅格点的模拟值。从表3可以看出各界限温度起止日期模拟绝对误差平均值均在0.6—2.4 d之间。

表3 重庆市各界限温度起止日期模拟误差分析表

界限温度/℃	绝对误差平均值/d	
	开始日期	终止日期
0	1.3	0.6
10	2.4	2.0
15	1.8	2.0
20	1.7	0.9

#### 4.1 交叉验证分析

为了进一步分析模型的稳定性,采用了交叉验证方案。交叉验证过程中,考虑到验证次数和工作量等因素,每次按照空间位置分布,均匀地抽取3个气象站点。除城口站因地处高海拔地区且周边站点稀少,未参加交叉验证分析外,其余33个气象站均进行了交叉验证分析。表4列出了交叉验证的误差分析结果。

表4 交叉验证各界限温度起止日期模拟误差分析表

界限温度/℃	交叉验证绝对误差平均值/d	
	开始日期	终止日期
0	2.6	1.3
10	2.5	2.0
15	2.2	2.2
20	2.8	1.6

表4数据是在对应气象站被抽取,不参加建模的情况下,利用其他站点资料建模获得的起止日期模拟值与实测值之间的绝对误差平均值。由表4可见,各界限温度起止日期的交叉验证绝对误差平均值在1.3—2.8 d之间,与表3相比增加了0.1—1.2 d,表明所用模型在空间上是比较稳定的。

#### 4.2 个例年验证分析

选取2005年作为个例年来验证该模型的时间维模拟性能。经验系数 $a_b, b_b, c_b, a_c, b_c, c_c$ 采用表1和表2中的数值,表5列出了34个气象站2005年各界限温度起止日期模拟绝对误差平均值。由表5

可见,各界限温度起止日期模拟绝对误差平均值最大不超过3 d,最小仅有1 d,表明模型具有较好的时间维外推性能。

表5 2005年各界限温度起止日期模拟误差分析表

界限温度/℃	绝对误差平均值/d	
	开始日期	终止日期
0	1.9	1.0
10	2.4	1.8
15	1.4	2.0
20	2.5	0.7

#### 4.3 野外考察资料对比分析

表6 起止日期模拟结果与野外考察资料推算结果比较表

界限温度/℃	开始日期 R	终止日期 R
0	0.90	0.97
10	0.93	0.98

为了进一步验证模拟结果的可靠性,选取《盆周山区农业气候资源资料集》中重庆市内丰都、万县、开县以及万源4个考察站点的0, 10℃界限温度的起止日期数据与本文模拟结果进行比较。《盆周山区农业气候资源资料集》中4个考察站点的0, 10℃界限温度起止日期数据由1983年在多个山地剖面(即不同海拔高度)所得的1, 4, 7, 10月的温度数据以“线性内插法”和“相关图法”推算所得<sup>[20]</sup>, 参考资料给出了4个站点不同剖面的推算数据共4组。因为两者均为推算数据,所以采用相关分析比较两者间的一致性。表6列出了模拟结果与参考资料的比较结果,两者之间的相关程度较好,相关系数均在0.90以上,说明模拟结果与野外考察资料具有很好的一致性。

#### 5 结束语

界限温度的起止日期及持续时间是热量资源分析的重要内容。本文建立了界限温度起止日期与持续日数的物理经验统计模型,实现了重庆市复杂地形下各界限温度起止日期与持续日数的分布式模拟。通过本项研究,得出以下几点结论:

(1) 依据月平均气温与界限温度起止日期期间的内在联系建立的界限温度起止日期与持续日数模型,虽然需要采用统计方法确定模型系数,但具有

明确的物理意义,相对于前人使用的多元地理统计模型有明显区别。

(2) 模拟结果能较好地反映重庆山地各界限温度起止日期与持续日数的宏观分布趋势和局地分布特征。对模拟结果的局地分布规律分析表明,起止日期随坡度、坡向等局地地形因素的分布规律能得到较好地表达。

(3) 提出的各界限温度起止日期和持续日数分布式模型立足于常规地面气象观测资料,可以方便地在广大地区推广使用。

本文提出的界限温度起止日期模型基于月平均气温,而实际情况下起止日期是由日平均气温推算所得,随着更短时间尺度气温模拟模型的提出,模拟精度将会有进一步提高。

### 参 考 文 献

- 1 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等. 农业气候学. 北京:气象出版社,1990:65-70
- 2 欧阳宗继,赵新平,赵有中,等. 山区局地气候的小网格研究方法. 农业工程学报,1996,12(3):144-148
- 3 Hallett SH, Jones RJA. Compilation of an accumulated temperature database for use in an environmental information system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1993, 63(12): 21-34
- 4 Hargy VT. Objectively mapping accumulated temperature for Ireland. *Int J Climatol*, 1997, 17(9): 909-927
- 5 Ustrnui Z, Czekerda D. Application of GIS for the development of climatological air temperature maps: An example from Poland. *Meteorological Applications*, 2005, 12(1): 43-50
- 6 Häentzschel J, Goldberg V, Bernhofer C. GIS-based regionalisation of radiation temperature and coupling measures in complex terrain for low mountain ranges. *Meteorological Applications*, 2005, 12(1): 33-42
- 7 张连强,赵新平,欧阳宗继,等. 求算界限温度日期的一种新方法——样条函数插值法. *地理学报*, 1993, 48(1): 70-74
- 8 王树廷. 关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法. *气象*, 1982, 6: 29-30
- 9 傅抱璞. 山地气候. 北京:科学出版社,1983,250
- 10 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候. 北京:气象出版社,1990,230
- 11 崔玉香. 稳定通过某界限温度初、终日期的简便计算方法. *山东气象*, 1988, 1: 41-42
- 12 石 剑,杜春英,王育光,等. 黑龙江省热量资源及其分布. *黑龙江气象*, 2005, 4: 29-32
- 13 甄计国,赵 军. 区域积温插值的GIS方法. *冰川冻土*, 2005, 27(4): 591-597
- 14 卢其尧,傅抱璞. 山区农业气候资源空间分布的推算方法及小地形的气候效应. *自然资源学报*, 1988, 2(3): 101-112
- 15 刘 静,马力文. 宁夏扬黄新灌区热量资源的网格点推算. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(3): 64-70
- 16 钱锦霞,张建新,王果静,等. 基于City Star地理信息系统的农业气候资源网格点推算. *中国农业气象*, 2003, 24(1): 47-50
- 17 任传友,于贵瑞,刘新安,等. 东北地区热量资源栅格化信息系统的建立与应用. *资源科学*, 2003, 25(1): 66-71
- 18 Zeng Y, Qiu XF, He YJ et al. Distributed modeling of monthly air temperatures over the rugged terrain of the Yellow River Basin. *Science in China Series D*, 2009, 52(5): 694-707
- 19 邱新法,仇月萍,曾 燕. 重庆山地月平均气温分布式模拟研究. *地球科学进展*, 2009, 24(6): 621-628
- 20 银尧庆,沈正怀. 四川省盆周山区农业气候资源考察与研究;盆周山区农业气候资源资料集. 四川省气象局农业气候区划办公室,1988,22-27