

起伏地形对气温时空分布的影响

——以重庆市为例

周梦甜¹, 李军^{1,2}, 何君¹, 朱康文¹

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047;

2. 重庆师范大学 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047)

摘要: [目的] 基于 GIS 技术等分析起伏地形下气温的时空分布及其变化, 为研究区域生态环境、农业区划及气候变化等提供借鉴和参考。[方法] 以重庆市为例, 利用 34 个气象站点 1971—2010 年历年平均气温资料, 通过在气温与经纬度、海拔高度、坡度和坡向等地理和地形因子之间建立模型, 并在 GIS 平台基于高空间分辨率的 DEM 数据(100 m×100 m)对气温空间分布进行定量估算和三维模拟。[结果] (1) 近 40 a 内不同年代际的平均气温与诸多地理和地形因子之间的复相关系数均在 0.8 以上。(2) 近 40 a 内的年平均气温呈现出先降后升的变化。(3) 绝大部分地区的年平均气温在近 40 a 内均呈现增加趋势, 且增加幅度表现为: 渝东南>渝东北>渝西。[结论] 起伏地形下气温的空间分布与诸多地理和地形因子之间的相关关系显著, 且基于高空间分辨率的 DEM 数据利用 GIS 的三维模拟技术能够直观鲜明的体现出起伏地形下气温的空间分布及其变化特征。

关键词: 起伏地形; 气温; 时空分布; 重庆市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0346-06

中图分类号: S161.2+4

文献参数: 周梦甜, 李军, 何君, 等. 起伏地形对气温时空分布的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 346-351. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.060

Effects of Rugged Terrain on Spatial and Temporal Distribution of Temperature

—Taking Chongqing City as a Case Study

ZHOU Mengtian¹, LI Jun^{1,2}, HE Jun¹, ZHU Kangwen¹

(1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: [Objective] We aimed to analyze the spatial distribution and its change of air temperature based on GIS technology in rugged terrain, in order to provide basis for the study of regional ecological environment, agriculture regionalization, and climate change. [Methods] Taking Chongqing City as a case study, we collected annual temperature data from 1971 to 2010 in 34 meteorological stations in Chongqing City, and constructed the air temperature spatial distribution model according to the correlation between air temperature and topographic factors(longitude, latitude, altitude, slope, and aspect) based on GIS and DEM(digital elevation model) with high resolution(100 m×100 m). [Results] (1) Correlation coefficient between different inter-decadal air temperature and topographical factors were all greater than 0.8. (2) The annual temperature decreased initially and then increased. In 1970s and 1980s, it showed a downward trend, while from 1990s, it showed a significant increase. (3) Temperature in most areas of Chongqing City tended to increase, and the increasing range was: southeast>northeast>west. [Conclusion] In rugged terrain, the spatial distribution of air temperature has strong correlations with topographical factors. Moreover, three-dimensional display of air temperature in ArcScene based on GIS can clearly reflect the spatial distribution of air temperature.

Keywords: rugged terrain; temperature; temporal and spatial distribution; Chongqing City

收稿日期: 2015-03-19

修回日期: 2015-05-18

资助项目: 重庆市气象局开放式研究基金项目“重庆地区起伏地形下气温空间分布的三维模拟”(Kfj-201303); 国家自然科学基金项目“山地人居环境空间信息图谱的区域构建: 以三峡库区为例”(51308575); 重庆师范大学基金(11XLB050)

第一作者: 周梦甜(1990—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区北屯市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感与 GIS 应用。E-mail: mengtianzhou@163.com。

通讯作者: 李军(1974—), 男(汉族), 天津市人, 博士, 副研究员, 主要从事遥感和地理信息系统应用研究。E-mail: junli@cqnu.edu.cn。

气温是近地表观测的大气温度,也是描述地表与大气之间能量交换与水分循环的关键变量之一,有重要的地理学和生态学意义。作为下垫面辐射交换和热量平衡的综合反映,气温参与并控制着许多重要的陆面生物物理过程,不仅是陆面过程模型的重要输入参数,也是气象、农业、水文、生态、环境等多个领域研究的关键指标^[1]。

气温主要通过气象站点的观测得到,由于受到许多因素的影响,呈现出很大的空间异质性,特别是在起伏地形下,从较长时间尺度的气候学角度分析,影响气温空间分布的因素主要包括宏观地理条件、海拔高度、地形和下垫面性质等因素^[2],其中,宏观地理条件包括经度、纬度、离大水体的远近、山系走向以及气候背景条件,地形包括海拔高度、坡度、坡向、地形遮蔽度等,下垫面性质包括土壤、植被状况等。在这些影响因素中,海拔高度等地形因子的影响最显著^[3-4]。气温的时空分布(特别是在起伏地形下)研究,不仅对于区域农业和生态环境建设、发展规划和生产布局具有重要的实践意义,而且,对于研究全球气候变化的区域响应和反馈也具有重要的理论价值。

国内外学者相继开展了气温空间分布研究,并且提出了相关的计算方法和模型,目的在于获取复杂地形下网格点的气温数值。目前,大多数学者主要运用空间插值法(inverse distance weighting/IDW, Kriging, Spline 等)、多元回归法和气温垂直递减率订正法等研究气温的空间分布。例如,Hubert 等^[5]曾利用 IDW 方法(将高斯滤波算子作为距离权重方法),综合考虑海拔高度的影响,研究了 38 a 奥地利日最高气温等气候要素的空间分布。Chung 等^[6]综合考虑了夜间辐射冷却对降温的影响,利用对数模型进行气温空间分布模拟。Bellasio 等^[7]利用海拔高度、坡度以及植被与山地气温之间的关系建立回归方程,分析了不同要素对山地气温空间分布的影响。中国是个多山的国家,山地面积约占国土总面积的 2/3。山区地形复杂多样,导致气温的空间分布具有显著差异性^[5],因此,获得起伏地形下气温的空间分布显得尤为重要。在中国,国内学者相继提出一些计算方法,20 世纪 80 年代初,以傅抱璞、翁笃鸣和卢其尧等学者研究为代表^[2-3,8-9]。傅抱璞^[3]考虑了海拔高度对气温的影响,利用研究区推算点的海拔高度以及对照点的海拔高度,并且结合宏观地理温差、小地形订正温差、气温直减率等,计算山区推算点的气温。但是该方法存在一些缺点,当山区范围较大时,纬度对气温的影响力突出,可能会造成较大的误差。翁笃鸣^[8]从山区小气候入手,认为复杂地形下地形条件对气温

状况影响较大,提出了小地形温差的推算方法。但该方法计算过程相对复杂。卢其尧^[9]提出了统计模拟法,该方法综合了宏观和微观的地理和地形因素。20 世纪 90 年代后期,由于地理信息系统(GIS)技术的引入,特别是数字地形分析功能,使得 GIS 技术普遍应用于气温的空间分布模拟^[10-11],目前,GIS 技术已成为研究气温空间分布的重要手段之一^[12-14]。

重庆市有“山城”之称,地形起伏较大,具有一定的代表性。本文以重庆市为研究区,选取经度、纬度、海拔高度、坡度和坡向 5 个因子作为气温空间分布的主要影响因子,对近 40 a 的年平均气温的空间分布进行模拟,并结合地理信息系统中的三维模拟功能进行直观的显示,以期能够更加清楚的反映出起伏地形对重庆市气温空间分布的影响。

1 研究区概况和数据的收集、整理

重庆市地跨东经 105°11′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′,位于中国内陆的西南部、长江上游、四川盆地的东南部。其地貌复杂多样,多以丘陵和山地为主,地貌类型分为中山、低山、高丘陵、中丘陵、低丘陵、缓丘陵、台地和平坝等 8 大类,总面积为 8.24×10⁴ km²,其中,山地(中山和低山)面积为 6.24×10⁴ km²,约占总面积的 75.8%;丘陵面积近 1.50×10⁴ km²,约占总面积的 18.2%;平地和平坝面积为 5 000 km²,仅占总面积的 6%。重庆地势起伏较大,层状地貌明显,呈现出“一山一岭”、“一山一槽二岭”的分布特征,复杂的地形地貌决定了多样的气候特征。

(1) 气温数据:重庆市内 34 个气象站 1971—2010 年历年的年平均气温以及各气象站点的地理位置信息(经度、纬度和海拔高度)。气温数据均经过核对,无明显过失误差和系统误差。

(2) 地形数据:采用重庆市 100 m×100 m 栅格大小的 DEM,来源于国家 1:25 万基础地理数据库。在地理信息系统软件中,利用 DEM 数据提取了 100 m 空间分辨率的经度、纬度、坡度和坡向等地理和地形因子,研究区内的栅格总数为 4 608×4 514 个。

2 气温空间分布的研究方法

2.1 气温的时间序列变化分析方法

2.1.1 线性倾向率法 将气温序列 x_i 与时间序列 t_i 建立一元线性回归方程,可用公式表达为:

$$x_i = a + bt_i \quad (1)$$

式中: a ——常数; b ——回归系数,根据最小二乘法,回归系数 b 可用如下公式计算。

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (2)$$

式中： b ——气温变化的趋势值，表示线性趋势的倾向。当 $b > 0$ 时气温随着时间的增加呈上升趋势；反之， $b < 0$ 时气温随着时间的增加呈下降趋势； b 的绝对值的大小能够反映上升或下降的速率，绝对值越大，上升或下降趋势越明显。

2.1.2 滑动平均法 滑动平均表示以与确定时间序列的平滑值来表示变化趋势。对 n 年的气温序列 x ，滑动平均序列表示为：

$$x_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_{i+j-1} \quad (j=1, 2, 3, \dots, n-k+1) \quad (3)$$

式中： k ——滑动长度，为了使平均值加到时间序列中的坐标上，一般取奇数， n 个数据可以得到 $n-k+1$ 个平滑值。经过平滑平均后，短于滑动长度的气温波动被大大削弱，从而显示出长期的变化趋势。

2.2 起伏地形下气温空间分布的地形调节统计模型

本文在考虑海拔高度、经度、纬度对气温空间分布影响的基础上，进一步考虑了坡度、坡向这些微观地形因子对气温空间分布的影响。根据地形调节统计模型^[12-13]，在考虑微观地形（坡度、坡向）情况下，根据面辐射与地形存在的函数关系，实际气温可表示为：

$$T_T = T_H \times \cos i / \cos z \quad (4)$$

式中： T_T ——地形调节统计模型模拟的气温（℃）； T_H ——常规统计模型模拟的气温（℃），可根据如下公式(5)求得； i ——地球面法线与太阳光线之间的角度（°），可根据如下公式(6)求得。

$$T_H = a_0 + a_1 \lambda + a_2 \varphi + a_3 h \quad (5)$$

式中： λ ——经度（°）； φ ——纬度（°）； h ——海拔高度（m）； a_0 ——常数； a_1, a_2, a_3 ——偏回归系数。

$$\cos i = \cos \alpha \cos z + \sin \alpha \sin z \cos(\varphi - \beta) \quad (6)$$

式中： α ——坡度（°）； z ——太阳天顶角（°）； φ ——太阳方位角（°）； β ——坡向。

根据中国的地理位置特点和气温模拟方法，将太阳天顶角 z 设为 45° ，太阳方位角 φ 设为 180° （正午时间），因此，可将公式(1)归纳为如下公式(7)。

$$T_T = T_H \times (\cos \alpha - \sin \alpha \cos \beta) \quad (7)$$

本文利用重庆市 34 个气象站点在 1971—2010 年历年的平均气温数据，统计出近 40 a 的平均气温以及 4 个年代际（1970s, 1980s, 1990s, 2000s）的平均气温，并结合气象站点的地理位置信息以及 DEM 数据，利用上述公式(7)分别对其进行空间分布模拟。

2.3 气温空间分布的三维模拟

本文基于地理信息系统 ArcGIS 中的 ArcScene 平台，以 DEM 作为参考，将通过空间分布模型得到的近 40 a 平均气温以及不同年代际的平均气温进行三维显示，使得气温的空间分布能够较直观和真实地进行三维显示，并能较好地反映出重庆市近 40 a 以及不同年代际平均气温的空间分布及其变化特征。其中，ArcScene 是 ArcGIS 软件中 3 D 分析扩展模块中的重要组成部分，是一个适合于展示三维透视场景的平台，适用于不同空间数据场景的 3 D 显示。ArcScene 为实现空间数据的三维可视化提供了较好的解决办法。起伏地形下，气温的空间分布特征受地形影响明显，因此，对其三维模拟显示能够较好的体现出气温在起伏地形下的空间分布异质性。但是，气温空间分布的三维模拟只是气温空间数据可视化的直观表达，如果从气温空间数据的定量化进行分析，可对其空间数据在不同的海拔高度、坡度和坡向等方面进行定量分析。

3 模拟结果分析

3.1 重庆市近 40 a 的年及不同年代际的平均气温空间分布模型

将重庆市内 34 个气象观测站在 1971—2010 年历年的年平均气温统计整理为 40 a 的平均气温，并按照年代际进行统计整理，即将 1971—1980 年为 1970s, 1981—1990 年为 1980s, 1991—2000 年为 1990s, 2001—2010 年为 2000s, 共得到 4 个年代际的平均气温。根据上述整理后的数据以及各气象站的地理位置信息，通过常规的气温空间分布模型(公式 5)建立重庆近 40 a 平均气温以及 4 个年代际平均气温的空间分布模型，结果见表 1。

表 1 重庆市近 40 a 平均气温以及各年代平均气温的空间分布模型

年代	模拟方程	复相关系数
40 a 平均	$T=28.457 \sim 0.007h + 0.007\lambda - 0.081\varphi$	0.852
1970s	$T=33.079 \sim 0.007h + 0.028\lambda - 0.130\varphi$	0.838
1980s	$T=25.942 \sim 0.007h - 0.016\lambda - 0.054\varphi$	0.802
1990s	$T=30.072 \sim 0.006h + 0.000\lambda - 0.096\varphi$	0.813
2000s	$T=28.464 \sim 0.007h + 0.005\lambda - 0.081\varphi$	0.851

各空间分布模型均有较好的可靠性，复相关系数均在 0.8 以上。从各空间分布模型可以看出，气温与海拔高度、纬度均呈现出负相关关系，且相关性显著；而气温与经度的相关性没有明显的规律，且相关性不显著。

3.2 重庆市近 40 a 的年平均气温的时间变化

利用 ArcGIS 软件对空间数据的统计分析功能,得到重庆市近 40 a 的年平均气温为 13.8 °C。以此可以得到重庆市近 40 a 期间历年年均气温的时间序列(图 1),由图 1 可以看出,重庆近 40 a 间历年的年平均气温在 13~15 °C 波动,其中:最低气温出现在 1989 年,年平均气温为 13 °C,最高气温出现在 2006 年,年平均气温为 15 °C,比历年年均温高出 1.2 °C。重庆市近 40 a 的年平均气温呈现先降后升的变化特征,但总体上是增加趋势,增温幅度约为 0.20 °C/10 a(置信度达到 0.01),虽然略低于相关研究中全国年均温度 0.22 °C/10 a 的增温幅度,但与全国增温强度由北向南降低,长江流域南部区域增温趋势低于全国平均的结论一致。整体来看,重庆市近 40 a 年平均气温呈现出波动上升的趋势,这个变化特点与西南地区的变化趋势基本一致^[14]。从 5 a 滑动平均可以看出,近 10 a,年平均气温整体增温趋势不明显。

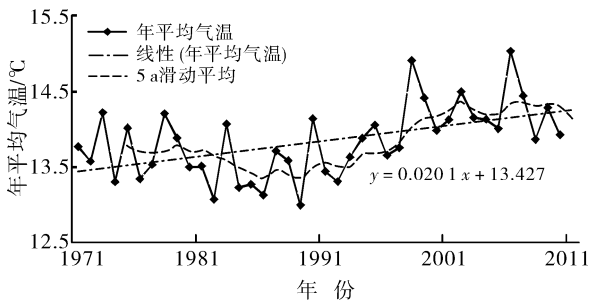


图 1 重庆市近 40 a 年平均气温时间变化

对近 40 a 间历年年平均气温距平以及各年代际平均气温的距平进行分析,结果见图 2。从图 2 可以看出,重庆近 40 a 间年平均气温呈现出较明显的先降后升的阶段性特征,但总体上呈现增加的趋势。具体表现为:20 世纪 70 年代,气温偏低,距平为 -0.10 °C;80 年代是重庆近 40 a 间气温最低的 10 a,距平为 -0.37 °C;从 70 年代至 80 年代,气温呈现下降趋势;而从 90 年代以来,气温呈现明显上升趋势,这种上升趋势主要表现在 90 年代,而近 10 a,气温整体变化趋势不大,然而却是近 40 a 间气温最高的 10 a,距平为 0.41 °C。

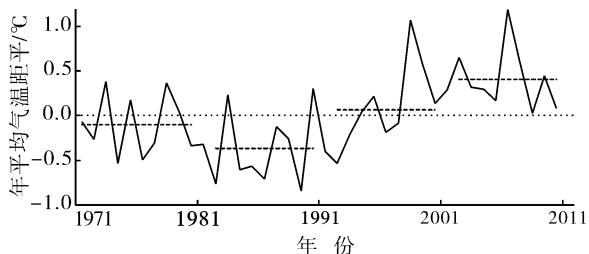


图 2 重庆市近 40 a 年平均气温距平变化

3.3 重庆市近 40 a 的年平均气温空间分布特征

利用重庆市近 40 a 的年平均气温空间分布常规的气温空间分布模型(表 1)的基础上,结合坡度、坡向微观地形因子,利用地形调节统计模型,得到重庆地区近 40 a 的年平均气温的空间分布。重庆地区近 40 a 的年平均气温空间分布受地形影响非常明显,显示出起伏地形下局地气候的复杂性。整体而言,重庆市西部、主城区以及中部的气温普遍要比东北部、东南部和西南部要高,原因在于这些地区的海拔相对较低,其中主城区的气温要更高些,主要可能是由于主城区人口较多造成的城市热岛效应等原因;处在渝中平行岭谷的低山丘陵区近 40 a 的年平均气温也较高,地势低是导致该地区气温高原因之一;而渝东北和渝东南地区,由于其地形的复杂多样,气温空间分布的异质性更大些,气温随海拔高度的梯度较大;渝东北的城口县由于海拔较高,其平均气温是最低的。

通过 ArcGIS 对空间数据的统计分析功能,按照每 3 °C 一个样带,将重庆近 40 a 平均气温的空间分布进行重分类,分为 6 个样带区,分布统计不同气温样带区所占的栅格数、面积以及占整个重庆的面积比,结果见表 2。

由表 2 可以看出,重庆市近 40 a 平均气温集中分布在 15~18 °C,约占研究区总面积的 24.7%,其次主要分布在 18 °C 以上和 12~15 °C 这 2 个气温分段,分别占研究区总面积的 22.3%和 18.7%,研究区有部分区域年均温在 6~9 °C,该区域约占研究区面积的 10.3%,并且研究区部分区域年均温在 6 °C 以下,该区域面积占研究区面积的 9.2%。整体来看,重庆市近 40 a 大部分地区温度在 15 °C 以上,仅有小部分区域其年均温是低于 15 °C。

表 2 重庆市近 40 a 平均气温空间分布的统计分析

气温区划/°C	栅格数	面积/10 ⁴ km ²	面积比/%
<6	754 087	0.75	9.2
6~9	849 824	0.85	10.3
9~12	1 218 852	1.22	14.8
12~15	1 543 430	1.54	18.7
15~18	2 030 930	2.03	24.7
>18	1 835 336	1.84	22.3

为了分析逐栅格单元上气温的变化情况,将近 40 a 内历年平均气温分别按照地形调节统计模型得到历年平均气温的空间数据,再基于栅格单元通过线性倾向率法得到逐栅格单元上气温的变化分布图,结果见图 3。

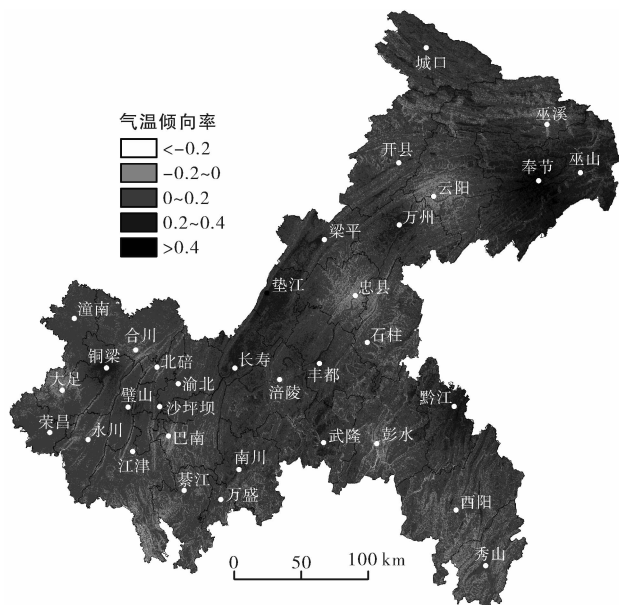


图 3 重庆市 1971—2010 年气温倾向率

由图 3 可以看出,近 40 a 来,重庆绝大部分地区的年平均气温均呈现增加趋势,而且有一定的区域分布特征,渝西区域的增温幅度以 $0 \sim 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 为主,这部分区域的海拔普遍较低,且地势起伏相对较小;而增温趋势在 $0.2 \sim 0.4 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 的区域主要分布在渝东南和渝东北,且增温趋势最明显的区域,即在 $0.4 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 以上的区域(约占重庆市总面积的 3%)主要分布在奉节、巫山和城口县的一些区域,该区域海拔较高,地势起伏较大。此外,近 40 a 以来重庆市还存在一些有降温趋势的地区,面积较小,主要分布在石柱、黔江和忠县的部分区域。但是,整体来看,近 40 a 来,重庆大部分地区呈现增温趋势,其中增加幅度方面,渝东南>渝东北>渝西地区。

3.4 重庆市近 40 a 平均气温空间分布的三维模拟

利用 ArcScene 平台对上述重庆地区近 40 a 年平均气温以及不同年代际的平均气温的空间分布进行三维模拟和显示,得到了 5 幅气温空间分布的三维模拟专题图,如附图 5-7 所示。从附图中可以看出,三维的气温模拟在空间分布上与二维的气温空间分布是一致的,但是,在可视化方面,明显具有更好的效果,特别是在起伏地形的山区,将考虑海拔高度、坡度和坡向等地形因子的气温空间分布模型和地理信息系统中的三维模拟平台进行结合,能够更好的且直观的展示出气温等气候要素的空间分布及其变化规律。

通过上述气温的三维空间分布可以直观的看出,重庆地区无论是近 40 a 的年平均气温还是期间不同年代际的平均气温均随海拔高度的分布特征明显,其

中,渝东北和渝东南两翼地势起伏较大区域的气温普遍较低,而且,渝东北的大巴山和巫山由于海拔较高,气温最低,普遍小于 $6 \text{ } ^\circ\text{C}$;其次为渝中的平行岭谷地区和渝东南的平坝地区,年平均气温约在 $6 \text{ } ^\circ\text{C}$;而渝西的低山丘陵区、长江、乌江等水系的低海拔河谷地区的年平均气温较高,在 $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右,不同年代际之间有所差异。

从不同年代际之间的空间分布差异来看,重庆市近 40 a 的气温时空变化规律十分显著。从 1970s—1980s,明显看出气温整体上呈现降低趋势,尤其是在渝西的合川、潼南等地区,气温降低的趋势十分显著,此外,主城的部分区域以及渝东南的彭水和黔江等区域的气温也有所降低;而从 1980s—1990s,气温整体处于一个上升的趋势,其中:主要表现在渝西的潼南、铜梁、合川以及主城区等地区,其次为渝东南的彭水和黔江以及渝中的丰都和忠县等地区,而渝东北由于海拔较高,在三维空间分布上升高趋势不明显。

4 讨论与结论

(1) 重庆市近 40 a 及其不同年代际平均气温的空间分布模型均有较好的可靠性,复相关系数均在 0.8 以上,而且,气温与海拔高度、纬度均呈现出负相关关系,且相关性显著;然而,与经度的相关关系无明显规律,且相关性不显著。

(2) 重庆市近 40 a 期间历年平均气温在 $13 \sim 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间波动,呈现出较明显的先降后升的阶段性变化特征,总体上呈现增加趋势。其中:年平均气温的最低值($13 \text{ } ^\circ\text{C}$)出现在 1989 年,最高值($15 \text{ } ^\circ\text{C}$)是在 2006 年,比历年年均温高出 $1.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。从年代际的分布看,20 世纪 70 年代,气温偏低,距平为 $-0.10 \text{ } ^\circ\text{C}$;20 世纪 80 年代是重庆近 40 a 间气温最低的 10 a,距平为 $-0.37 \text{ } ^\circ\text{C}$;从 70 年代至 80 年代,气温呈现下降趋势;而从 90 年代以来,气温呈现明显上升趋势,这种上升趋势主要表现在 90 年代,近 10 a 的气温整体变化较小,但是近 40 a 间气温最高的 10 a,距平为 $0.41 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

(3) 空间分布上,重庆市近 40 a 平均气温的空间分布中大多数地区集中在 $15 \sim 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。而且,受地形影响非常明显。整体而言,重庆西部、主城区以及中

部的气温普遍要比东北部、东南部和西南部高;其次为渝中平行岭谷的低山丘陵区;而渝东北和渝东南地区气温空间分布的异质性更大,气温随海拔高度变化较大;渝东北城口县的平均气温最低。空间分布的变化方面为:绝大部分地区的年平均气温均呈现增加趋势,增幅幅度方面为:渝东南>渝东北>渝西地区。

(4) 从三维的空间分布来看,无论是近 40 a 的年平均气温还是不同年代际的均温均随海拔高度的分布特征明显。本文虽然构建气温的三维模拟图能够较好的体现出起伏地形下重庆市气温的空间分布特点,但 ArcScene 主要适合于小区域空间数据的三维场景刻画,对于像重庆市这样一个较大区域内的气温的三维模拟,在模拟的细节部分还有待不断改进和完善,例如,山尖部分过于尖锐,如何考虑叠加遥感影像以及河流、交通等矢量数据以更加形象和直观的方式突出气温的空间分布特征等。

[参 考 文 献]

- [1] 孙卫国. 气候资源学[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [2] 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京:气象出版社,1990:1-10.
- [3] 傅抱璞. 关于山地气候资料的推算问题[C]// 山地气候文集. 北京:气象出版社,1984:23-34.
- [4] 李军,黄敬峰. 山区气温空间分布推算方法评述[J]. 山地学报,2004,22(1):126-132.
- [5] Hubert H, Katarina M, Richard P. Validating daily climate interpolations over complex terrain in Austria[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 119 (1/2): 87-107.
- [6] Chung U, Seo H, Hwang H, et al. Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006,137(1/2):15-24.
- [7] Bellasio R, Maffei G, Scire J S, et al. Algorithms to account for topographic shading effects and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models[J]. Boundary Layer Meteorology, 2005,114(3),595-614.
- [8] 翁笃鸣. 大寨大队沟、梁、坡地的小气候分析[J]. 南京气象学院学报,1978(1):68-80.
- [9] 卢其尧. 山区年月平均气温推算方法的研究[J]. 地理学报,1988,45(3):213-222.
- [10] 史舟,王人潮,吴宏海. 基于 GIS 的山区年均温分布模拟与制图[J]. 山地研究,1997,15(4):264-268.
- [11] 陈晓峰,刘纪远,张增祥,等. 利用 GIS 方法建立山区温度分布模型[J]. 中国图象图形学报,1998,3(3):234-238.
- [12] 张洪亮,倪绍祥,邓自旺,等. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报,2002,20(3):360-364.
- [13] 杨昕,汤国安,王春,等. 基于 DEM 的山区气温地形修正模型:以陕西省耀县为例[J]. 地理科学,2007,27(4):525-530.
- [14] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-955.
- [8] 王海梅,李政海,韩国栋,等. 锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律[J]. 生态学报,2010,30(23):6538-6545.
- [9] 包姝芬,马志宪,崔学明. 近 50 a 锡林郭勒盟的气候变化特征分析[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2011,32(3):157-160.
- [10] 王海梅,李政海,阎军,等. 锡林郭勒草原不同生态地理区降水周期变化特征的小波分析[J]. 水土保持通报,2010,30(5):46-49.
- [11] 辛志远,史激光,刘雅琴,等. 锡林郭勒地区降水时空分布特征及变化趋势[J]. 中国农学通报,2012,28(2):312-316.
- [12] 春喜,丹丹,毕力格,等. 阿拉善高原近 60 a 的气候变化[J]. 水文,2013,33(2):43-50.
- [13] 李森,夏军,陈社明,等. 北京地区近 300 年降水变化的小波分析[J]. 自然资源学报,2011,26(6):1001-1011.
- [14] 尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M]. 北京:气象出版社,1998.
- [15] 范泽孟,岳天祥,陈传法,等. 中国气温未来情景的降尺度模拟[J]. 地理研究,2011,30(11):2043-2051.

(上接第 345 页)