

# 中国气温与降水的时空变化趋势分析

范泽孟, 岳天祥, 陈传法, 孙晓芳

(中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 100101 北京)

**摘要:** 如何对离散分布的气象台站观测数据进行高精度曲面模拟, 为生态系统及服务功能时空变化趋势模拟及其综合评估提供高质量、高分辨率的空间气候数据, 以满足栅格层次上的生态系统过程模型、生态系统格局模型及生态系统综合评估模型的参数需求, 一直是存于生态学界的难点问题。在对全国 1964–2007 年的 752 个气象台站长期观测的气温和降水数据进行空间统计分析的基础上, 综合考虑 DEM 数据、经纬度、坡向、坡度等系列地形特征因子对气温和降水空间分布的影响, 对全国平均气温和平均降水空间分布趋势模型进行构建, 并将其与高精度曲面建模(HASM)方法进行集成, 实现研究周期内各时段的年平均气温和年平均降水时空变化趋势模拟。模拟结果表明, 在 1964–1974(C1)、1975–1985(C2)、1986–1996(C3)和 1997–2007(C4)年 4 个时段内, 全国年平均气温总体呈持续上升趋势(平均每 10 年上升近  $0.28^{\circ}\text{C}$ ), 而全国平均降水总量变化幅度不大, 存在显著的区域分布差异及变化特征。论文所建立的模型和方法, 可以高效快速地实现将离散点气候观测数据转换成高分辨率的空间栅格数据, 从而保证多尺度生态系统时空分析模型的参数精度需求。

**关键词:** 平均气温; 平均降水; 空间分布趋势模型; HASM 方法; 变化趋势; 中国

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00526

## 1 引言

气候变化将影响土地覆盖/利用模式, 导致生物多样性的丧失, 修改水文循环系统, 从而引起对于人类和自然系统尤为重要的全球生物地球化学循环系统的改变<sup>[1]</sup>。气候变化所导致的动植物生境变化, 将影响物种分布及其生态系统过程<sup>[2–3]</sup>, 而气温和降水作为最主要的气候要素, 其时空分布模式的改变将引起水资源和营养物质的时空分布发生变化, 并增加对自然生态系统及其演替过程的干扰程度, 从而影响各种生态系统的结构、服务功能及空间分布变化<sup>[1,4]</sup>。譬如, 气温和降水的变化影响植物光合作用、呼吸作用和土壤有机碳的分解, 从而对生态系统碳循环产生作用, 导致土地覆盖发生变化, 影响到陆地生态系统的分布和结构<sup>[5–7]</sup>。由于气候观测数据是分布在不同观测点的离散点数据, 如何对这些离散的生态参数点数据进行高精度曲面模拟, 能够满足栅格层次上的生态系统过程

模型、生态系统格局模型及生态系统综合评估模型的模型参数需求, 一直是生态学界关心的难点问题。目前, 关于气温、降水等生态气候参数的空间曲面模拟模型主要有反距离加权模型(IDW)、克里格模型(Kriging)和样条插值模型(Spline)等。但这些传统经典插值模型的局限性限制了插值精度<sup>[8–9]</sup>, 而高精度曲面建模(HASM)方法<sup>[10–13]</sup>, 又没有考虑到海拔高程、经纬度、坡度和坡向等地形特征因子对模拟结果的影响。

针对以上研究问题和方法的缺陷, 本文根据全国 1964–2007 年的 752 个气象站点长期观测的气温和降水的点数据, 综合考虑 DEM 数据、经纬度、坡向、坡度等系列地形特征因子, 对气温和降水空间分布的影响进行空间统计分析, 在构建全国平均气温和平均降水空间分布趋势模型的基础上, 并将所建立空间分布趋势模型与 HASM 方法进行集成, 实现研究周期内各时段的年平均气温和年平均降水时空分布趋势的模拟, 最后在  $1\text{km} \times 1\text{km}$  栅格

**收稿日期:** 2010–12–24; **修回日期:** 2011–06–28.

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(40801150); 国家杰出青年科学基金项目(40825003); 国家重点基础研究发展计划“973 计划”(2009CB421105、2010CB950904)。

**作者简介:** 范泽孟(1977–), 男, 云南镇雄人, 副研, 硕导, 研究方向为气候变化与生态系统响应、生态模型与系统模拟。

E-mail: fanzm@lreis.ac.cn

的时空层次上对 1964 年以来中国年平均气温和年平均降水的时空变化趋势进行综合定量分析。

## 2 年均气温与降水的时空变化分析

### 2.1 基本数据来源

根据全国气象站点的长时间序列观测资料统计分析表明,中国气候变化存在 11 年的小周期<sup>[11]</sup>。因此,利用全国 752 个气候观测站点 1964–2007 年的气候观测数据,以 11 年为间隔分为 C1 (1964–1974)、C2 (1975–1985)、C3 (1986–1996) 和 C4 (1997–2007) 4 个时段,在对每个时段的属性数据进行统计运算的基础上,根据各个站点的经纬度坐标信息,将属性数据转换为空间数据,并对每个时段的年平均气温及其降水进行空间插值(插值过程的辅助数据 DEM 的分辨率为 90m×90m,来源于 USGS <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/Resampledopen.asp> 网站)。在利用 Arc/Info Spatial analysis 模块对下载的 DEM 数据进行合并和重采样处理等空间操作的基础上,获得空间分辨率为 1km<sup>2</sup> 的全国 DEM 数据。被重采样后的 DEM 数据用于构建年平均气温和平均降水的统计转换方程。

### 2.2 模型与方法

#### 2.2.1 年平均气温空间分布趋势模型

采用 1964–2007 年全国 752 个气象观测台站的观测数据,通过计算分析获得的每个站点 44 年的平均气温,以及每个台站的纬度和海拔高程数据,并分别对全国年平均气温与海拔高程和经纬度之间的相关关系进行二元线性拟合。经过分析表明,全国尺度的站点平均气温与纬度和海拔高程之间存在很好的复相关性(复相关系数  $R$  为 0.9631),其回归方程如下:

$$MTem = 38.7582 - 0.7102Y_{cor} - 0.0034Z_{elevation} \quad (1)$$

式中, $MTem$ 、 $Y_{cor}$  和  $Z_{elevation}$  分别代表年平均气温的拟合值、纬度公里网络坐标值(km)和高程(m)。根据公式(1)可建立全国年平均气温的空间分布趋势面的计算公式如下:

$$\begin{aligned} MTem_{f_0}(x, y, t) &= MTem_0(x, y, t) + \\ &0.7102Y_0(x, y) + 0.0034Z_0(x, y) \quad (2) \\ MTem_{gi}(x, y, t) &= MTem_{fi}(x, y, t) - \end{aligned}$$

$$0.7102Y_{fi}(x, y) - 0.0034Z_{fi}(x, y) \quad (3)$$

式中, $MTem_{f_0}(x, y, t)$ 、 $MTem_0(x, y, t)$ 、 $Y_0(x, y)$  和  $Z_0(x, y)$  分别代表各个模拟时段的每个采样点的平均气温的预处理值,平均气温的初始值、纬度和高程值; $MTem_{gi}(x, y, t)$ 、 $MTem_{fi}(x, y, t)$ 、 $Y_{fi}(x, y)$  和  $Z_{fi}(x, y)$  分别代表各个模拟时段的 1km<sup>2</sup> 分辨率的每个栅格单元的平均气温模拟值,平均气温的预处理值、纬度值和高程值。

虽然根据不同时段的气温数据获得的回归方程的系数有所不同,但为了获得 1964–2007 年整个时间序列的平均气温空间分布规律,以及为了将 C1、C2、C3 和 C4 四个时段的模拟放在统一的平均气温空间分布规律的驱动下进行插值和对比。因此,在插值过程中,首先,对 C1、C2、C3 和 C4 4 个时段各个台站的平均气温进行统计计算;然后,根据公式(2)获得各个时段每一个站点的  $MTem_{f_0}(x, y, t)$ ,并运用 HASM 方法进行空间插值,进而获得包括全国范围的 1km<sup>2</sup> 分辨率、栅格总数为 5000×4320 个栅格的每一个时段的年平均气温预处理值  $Tem_{fi}(x, y, t)$ ;最后,根据公式(3)计算各时段每个栅格单元的年平均气温  $MTem_{gi}(x, y, t)$ 。

#### 2.2.2 年平均降水空间分布趋势模型的构建

经纬度在一定程度反映了气候和环流背景及大陆度影响,高程反映了降水的梯度效应,而局部区域的坡向、坡度则一定程度上反映了降水量受主风向的影响<sup>[14-15]</sup>。因此,为了提高年平均降水的空间插值精度,分别对降水量与经度、纬度、海拔高度、坡向及地形开阔度之间的相关性进行模拟和统计分析。

##### (1) 坡向对降水影响系数

从中国降水分布受季风的影响来看,主要受东南季风和西南季风的影响,也就是分别来自太平洋和印度洋暖湿气流的影响。因此,在空间插值的过程中,根据 DEM 数据提取的坡向数据,并将从正南方向的坡向对降水量的影响定义为最大,取值为 1,而正北方向对降水量的影响定义为最小定义为 -1,而平坦区域对降水量无影响,定义为 0。从而可建立坡向对降水量影响的系数方程。

$$Asp_{index} = \begin{cases} -\cos(\pi(Aspect/180^\circ)) & Aspect \neq -1 \\ 0 & Aspect = -1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $Asp_{index}$  为坡向对降水量影响的系数, $Aspect$  为坡向数值

(2)地形开阔度对降水的影响系数

除了坡向对降水量的分布具有影响外,每个栅格单元和其邻域间高程距离的最大变化率,即地形开阔度对降水量的分布也有一定的影响。根据坡度数据,地形开阔度的计算方程可表达如方程(5)。

$$V_{index} = [1 + \cos(\pi(Slope/180^\circ))]/2 \quad (5)$$

式中, $V_{index}$ 代表地形开阔度; $Slope$ 代表地形坡度。

(3)年平均降水量的空间分布趋势模型构建

通过计算 1964 - 2007 年全国 752 个气象观测台站分析获得的每个站点 44 年的年平均降水量,以及每个台站的经纬度和海拔高程数据,并根据全国 DEM 数据,分别获得坡向系数数据,坡度数据、地形开阔度数据。分别对全国年平均降水量与海拔高程、经纬度、地形坡向、地形开阔度之间的相关性进行单相关分析显示,平均降水量和其与海拔高程、经度、纬度、地形坡向、地形开阔度之间的相关系数分别为-0.3804、0.3754、-0.7560、-0.0236 和 0.0286,这表明平均降水量的空间分布与以上影响因子的单一相关性较低,因此,必须和以上因子进行多元线性回归分析,才能够获得更加合理和准确的平均降水的空间分布规律。经过模拟分析表明,全国尺度的年平均降水与经度、纬度、海拔高程、地形坡向和地形开阔度之间,存在很好的复相关性( $R$  为 0.8883),年平均降水量与有关因子的回归方程如下:

$$\begin{aligned} Mpre = & 2659.733838 + 0.000176X_{cor} - \\ & 0.0004791Y_{cor} - 0.084694Z_{deviation} - 40.479061 \\ & Asp_{index} - 107.599239V_{index} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, $Mpre$ 代表年平均降水量的拟合值。根据公式(6)可建立全国平均降水量的空间分布趋势模型包括年平均降水空间分布趋势的预处理公式(7)和修正公式(8):

$$\begin{aligned} Mpre_{f0}(x,y,t) = & Mpre_0(x,y,t) - 0.000176 \\ & X_0(x,y) + 0.0004791Y_0(x,y) + 0.084694 \\ & Z_0(x,y) + 40.479061Asp_0(x,y) + 107.599239 \\ & V_0(x,y) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} Mpre_{fi}(x,y,t) = & Mpre_{f0}(x,y,t) + 0.000176 \\ & X_{fi}(x,y) - 0.0004791Y_{fi}(x,y) - 0.084694 \\ & Z_{fi}(x,y) - 40.479061Asp_{fi}(x,y) - \\ & 107.599239V_{fi}(x,y) \end{aligned} \quad (8)$$

式中, $Mpre_{f0}(x,y,t)$ 、 $Mpre_0(x,y,t)$ 、 $X_0(x,y)$ 、 $Y_0(x,y)$ 、 $Z_0(x,y)$ 、 $Asp_0(x,y)$ 和  $V_0(x,y)$  分别代表各个模拟时段的每个采样点的年平均降水量

的预处理值,年平均降水量的初始值、经度值、纬度的公里网坐标值、高程值、坡向系数和地形开阔度; $Mpre_{gi}(x,y,t)$ 、 $Mpre_{fi}(x,y,t)$ 、 $X_{fi}(x,y)$ 、 $Y_{fi}(x,y)$ 、 $Z_{fi}(x,y)$ 、 $Asp_{fi}(x,y)$ 和  $V_{fi}(x,y)$  分别代表各个模拟时段的  $1\text{km}^2$  分辨率的每个栅格单元的年平均降水量模拟值,年平均降水量的预处理值、经度值和纬度的公里网络坐标值、高程值、坡向系数和地形开阔度。

在插值过程中,首先,分别对 C1、C2、C3 和 C4 4 个时段的每一个站点的年平均降水进行统计分析,获得各个时段各个台站的年平均降水量;然后,根据公式(7)获得各个时段每一个站点的  $Mpre_{f0}(x,y,t)$ ,并运用 HASM 方法进行空间模拟,进而获得包括全国范围的  $1\text{km}^2$  分辨率、栅格总数为  $5000 \times 4320$  个栅格的每一个时段年平均降水量的预处理值  $Mpre_{fi}(x,y,t)$ ,并利用公式(8)进行修正后,获得每个时段每个栅格单元的年平均降水量  $Mpre_{gi}(x,y,t)$ 。

2.3 模拟结果分析

2.3.1 HASM 方法与其他方法的插值精度对比分析

本文为了对插值结果的精度进行验证,在对全国 1964 - 2007 年的 752 个气象台站长期观测的气温和降水的各个站点的平均气温和平均降水进行计算的基础上,随机抽取 38 个(约 5%)站点数据作为验证数据,另外,714 个(约 95%)站点数据作为插值数据,分别运用 IDW、Kriging、Spline 和 HASM 方法进行空间插值。在对插值结果的精度进行统计分析获得表 1。

表 1 不同插值方法的插值精度  
Tab. 1 The comparison of simulation accuracy with different methods

	IDW 误差	Kriging 误差	Spline 误差	HASM 误差
平均气温(℃)	0.60	0.28	1.70	0.05
平均降水(mm)	114.1	89.6	33.9	0.8

从表 1 可以看出,运用 HASM 方法进行空间插值的平均气温和平均降水的误差均远低于其他方法的误差。在平均气温插值过程中,HASM 方法的精度最高,Spline 方法的误差最大。对平均降水插值来说,HASM 的精度最高,IDW 方法的误差最大。

在对多种方法进行精度对比验证并确定 HASM 方法空间插值精度优势的基础上,分别对 1964 - 2007 年及 C1 - C4 各个时段全国平均气温和平均降水进行空间插值,并利用 Arc/Info 的空间分析和制图功能,获得如图 3 - 5 所示的全国平均气温和平均降水的空间分布及其时空变化趋势

2.3.2 平均气温的空间变化趋势

自 1964 年以来,全国的年平均气温呈持续上升趋势,而且上升速度在不断加快。其中,C1 - C2 时段上升 0.16℃,C2 - C3 时段上升 0.38℃,C3 -

C4 时段上升 0.70℃。

在 C1 - C2 时段内,除东北、内蒙、新疆西北部及青藏高原局部地区气温呈上升趋势外,其余全国大部分区域呈降温趋势。除青藏高原东南部的澜沧江上游一带有小范围降温幅度达到 - 2℃ 以上外,其余的降温地区的降温幅度范围主要在 0.25 ~ 0.50℃ 之间。由于在青藏高原西南部和内蒙西部地区有大于 2℃ 的升温幅度,黑龙江东北部和新疆西北部有 0.5 ~ 1.0℃ 的升温幅度,导致全国 C1 - C2 时段的总平均气温比 C1 时段上升 0.16℃。

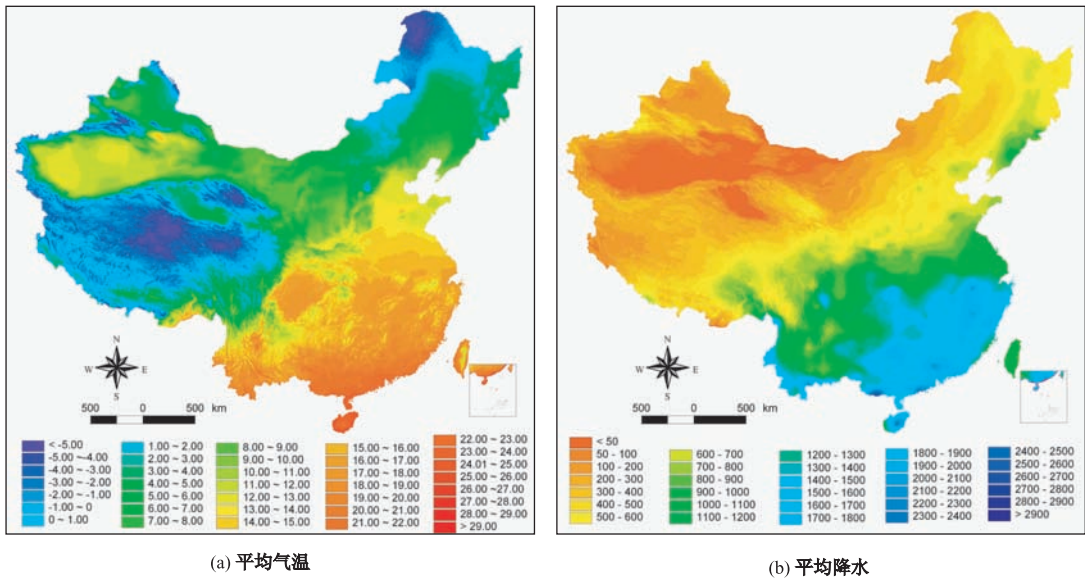


图 1 1964 - 2007 年全国平均气温和平均降水的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of mean annual temperature and precipitation from 1964 to 2007

在 C2 - C3 时段内,全国平均气温呈上升趋势,C3 时段比 C2 时段上升 0.38℃。在中国西南和中东部的大部分地区、青藏高原南部和新疆西部地区的平均气温呈下降趋势,但除青藏高原东南部的澜沧江上游一带有极小区域的降温幅度达到 - 2℃ 以上外,其他降温地区的降温幅度均在 0.25 ~ 0.50℃ 之间。中国东北、华北北部及中国西部大部分区域的平均气温呈上升趋势,东北、内蒙、新疆东北部和青藏高原北部区域的升温幅度在 1℃ 以上,在青藏高原东南部局部地区的降温升温幅度达到 2℃ 以上。

在 C3 - C4 时段内,全国平均气温呈快速上升趋势,C4 时段比 C3 时段上升 0.70℃。除黑龙江西北部 and 东北部、天山局部、青藏高原东部的局部地区、西南局部地区、以及东部的极小区域的平均气温呈下降趋势外(降温幅度基本上在 0.25 ~

0.50℃),其余中国大部分地区均呈上升趋势,而且在新疆东北部、河北与山西北部交界区域、重庆与贵州交界区域、浙江东部局部地区的升温幅度达到 2℃ 以上。

2.3.3 年平均降水的空间变化趋势

全国年平均降水量在 C1 - C2 时段呈增加趋势,在 C2 - C4 时段呈减少趋势。其中,C1 - C2 时段增加 4.7mm,C2 - C3 时段减少 2.1 mm,C3 - C4 时段增加 2.4 mm,中国年降水空间分布变化的差异较大。

在 C1 - C2 时段内,全国大部分区域的平均降水量呈增加趋势,C2 时段比 C1 时段增加 4.7mm,尤其是中国东南部及中部的部分地区的降水量增加幅度超过 200mm。但在中国西南地区、山东与江苏北部地区和东北三省的东部地区降水量呈减少趋势,其局部降水量减少幅度超过 100mm。

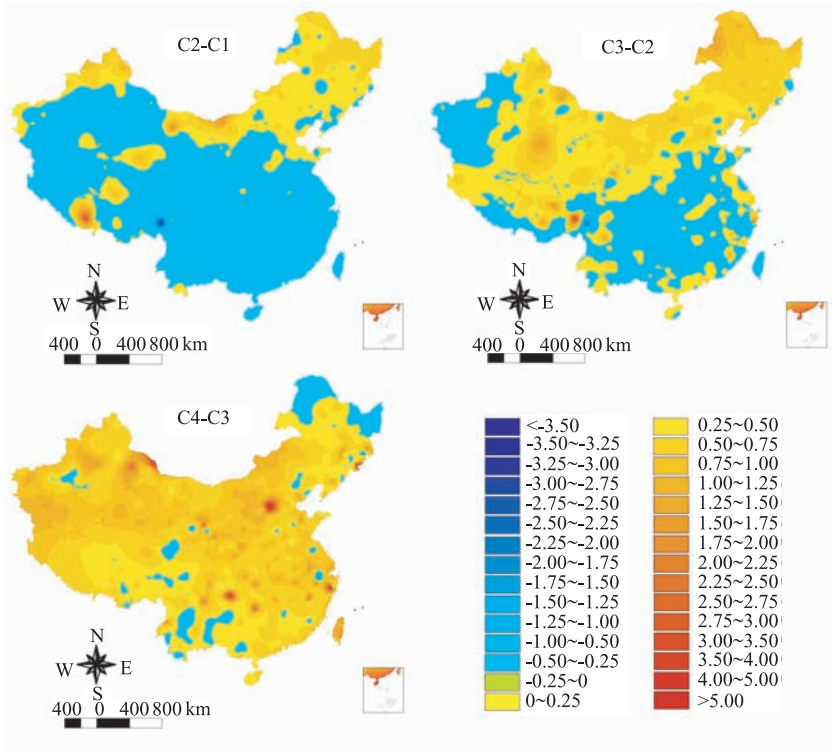


图 2 全国平均气温的变化趋势

Fig. 2 Change trend of mean annual temperature from c1 to c4

在 C2 - C3 时段内,全国平均降水量呈减少趋势,C3 时段的平均降水量比 C2 时段的平均降水量减少 2.1mm。其中,西藏东部、重庆与贵州交界、福建、江西南部、广东、河南南部、陕西与四川交界等地区的局部区域的降水量减少幅度达 250mm 以上。降水量增加区域主要分布在东北、新疆、青海中部及青藏高原东南部、华北平原、长江下游、以及台湾等地区,但增加幅度较小,主要增加幅度范围主要在 0~100mm 之间。

在 C3 - C4 时段内,全国平均降水量仍然呈减少趋势,C4 时段的平均降水量比 C3 时段的平均降水量减少 2.4mm。降水量减少区域主要分布在东北、内蒙、长江中下游、以及华南的局部地区,其中,吉林、北京、河北、安徽、湖北、浙江、四川、湖南等区域的局部地区的降水量减少幅度达到 250mm 以上。新疆、甘肃、青海、西藏、云南、贵州、陕西、河南、山东等区域的降水量有 0~60mm 等不同程度的小幅度增加,仅有重庆与贵州交界、湖南与安徽交界、广西、广东、福建、及台湾等地区的局部区域的降水量增加幅度达到 200mm 以上。

总之,在 C1 - C4 时段(也就是 1964 - 2007 年)内,中国平均气温呈时序快速上升趋势,及 C3 - C4

时段的增温幅度最大,C2 - C3 时段的增温幅度次之,而 C2 - C1 时段的增温幅度最小,但各个时段内平均气温上升趋势的空间分布差异较大;对于平均降水量的变化趋势来说,C1 - C2 时段平均降水量有较大幅度的增加,而 C2 - C3 时段和 C3 - C4 时段的平均降水量则均有不同程度的减少,各个时段内平均降水量变化趋势的空间分布差异比较大。

3 讨论与结论

根据长时间序列(1964 - 2007 年)的全国气温和降水站点观测数据,在对站点平均气温和降水的空间分布与海拔高程、经纬度、坡向、坡度等因子进行线性拟合的基础上,利用 HASM 方法运算 4 个时段(1964 - 1974 年、1975 - 1985 年、1986 - 1996 年和 1997 - 2007 年)全国年平均气温和降水的 1km<sup>2</sup> 栅格连续空间分布数据,从而获得高分辨率年平均气温和降水的时空分布特征。空间插值精度对比表明,运用 HASM 方法对全国平均气温和平均降水进行空间插值的精度均远高于 IDW、Kriging 和 Spline 方法的空间插值精度。插值运算结果显示,在 C1 - C4 时段内,全国年平均气温总体



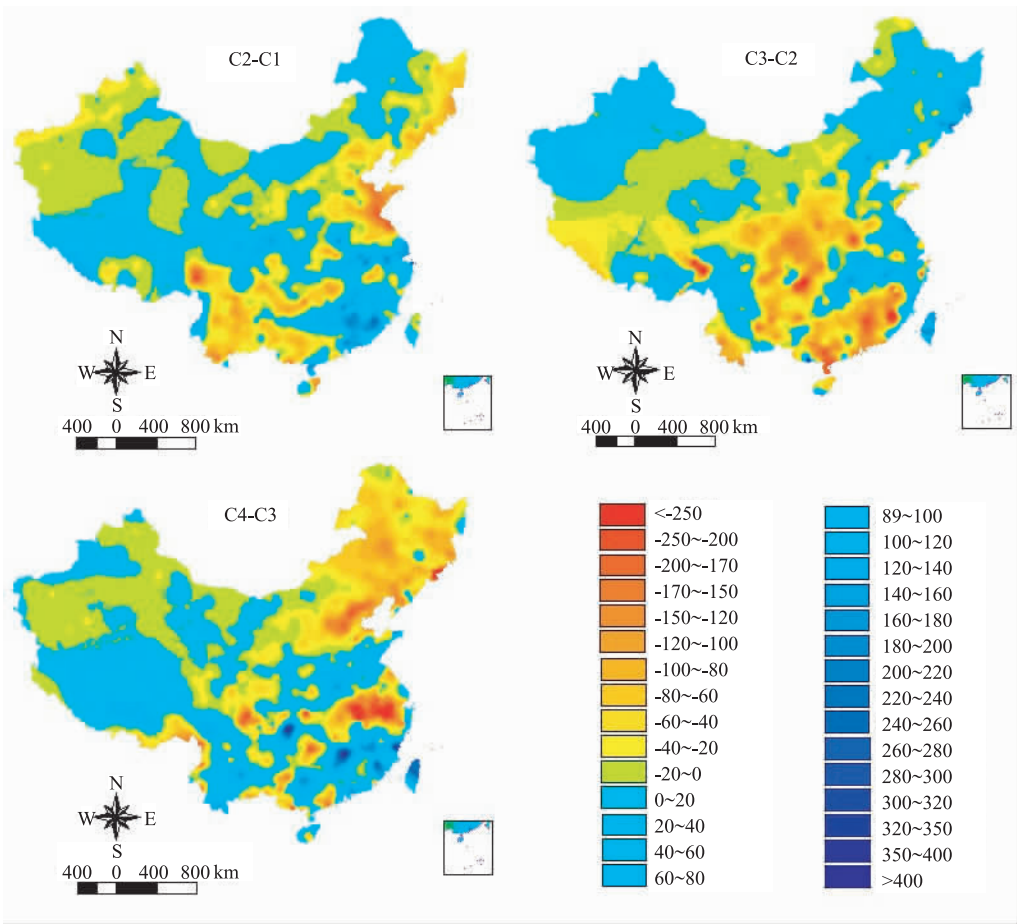


图 3 全国平均降水的变化趋势

Fig. 3 Change trend of mean annual precipitation from c1 to c4

呈持续上升趋势(平均每 10 年上升近 0.28℃)。

国内有关气候学者对中国气温变化趋势进行大量研究表明,中国近百年来平均气温均呈现不同程度的升温趋势,尤其是近半个世纪以来升温速度呈快速增加趋势其中,屠其璞等<sup>[16]</sup>研究表明,近一百多年来中国各区都呈升温趋势,中国平均气温的线性趋势为 0.76℃/100a,赵宗慈等<sup>[17]</sup>对从国内外收集到 4 组中国近百年的温度资料检测表明,近 100 年中国气候变暖 0.2~0.8℃/100a;唐国利等<sup>[18]</sup>发现自 1905 年以来,中国地表年平均气温明显增暖,增温速率约为 0.08℃/10a;任国玉等<sup>[19]</sup>研究表明我国近 54 年来,年平均地表气温变暖的增温速率接近 0.25℃/10a,这与本文的计算结果 0.28℃/10a 极为相似。另外,众多研究结果均表明全国降水总量变化幅度不大,空间分布的区域差异性强,而且不同时段具有不同的空间分布差异,比较一致的观点是自 20 世纪 90 年代以来,东北降水呈减少趋势,东南沿海地区降水呈增加趋势<sup>[20-21]</sup>。

综上所述,通过建立全国年平均气温的空间分布模型和年平均降水空间分布模型,再结合 HASM 方法,可以高效快速地实现将离散点气候观测数据转换成高分辨率的空间栅格数据,从而保证生物群落模型、生态系统过程模型、生态系统格局模型等各种生态系统模型的参数精度需求。

参考文献:

[1] Dobson A P, Bradshaw A D, Baker A J M. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology [J]. Science, 1997, 277: 515-521.

[2] Emanuel W R, Shugart H H, Stevenson M P. Climatic Change and the Broad-scale Distribution of Terrestrial Ecosystems Complexes [J]. Climatic Change, 1985, 7: 29-43.

[3] Rik L, Bas E. Another Reason for Concern: Regional and Global Impacts on Ecosystems for Different Levels of Climate Change [J]. Global Environmental Change, 2004, 14: 219-228.

- [4] Adger W N, Brown K. Land Use and the Causes of Global Warming[J]. John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [5] 范泽孟, 岳天祥. 生态区边界智能识别模型构建分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(1): 1-5.
- [6] 方精云 主编. 全球生态学: 气候变化与生态响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 2002.
- [7] 李克让, 陈育峰, 黄玫, 等. 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型[J]. 地理学报, 2000, 20(11): 57-63.
- [8] 岳天祥, 杜正平. 高精度曲面建模与经典模的误差比较分析[J]. 自然科学进展, 2007, 16(8): 986-991.
- [9] Yue T X, Du Z P, Song D J, *et al.* A New Method of Surface Modeling and Its Application to DEM Construction[J]. *Geomorphology*, 2007, 91(1-2): 161-172.
- [10] YUE T X. Surface Modeling: High Accuracy and High Speed Methods[J]. CRC Press, 2010.
- [11] 范泽孟, 岳天祥, 宋印军. 基于 YUE-HASM 方法的气温与降水时空变化趋势[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 643-652.
- [12] Yue T X, Fan Z M and Liu J Y. Scenarios of Land Cover in China[J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 55: 317-342.
- [13] Yue T X, Fan Z M. and Liu J Y. Changes of Major Terrestrial Ecosystems in China Since 1960[J]. *Global and Planetary Change*, 2005, 48: 287-302.
- [14] 孙鹏森, 刘世荣, 李崇巍. 基于地形和主风向效应模拟山区降水空间分布[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1910-1915.
- [15] Franke J, Häntzschel J, *et al.* Application of a Trigonometric Approach to the Regionalization of Precipitation for a Complex Small-scale Terrain in a GIS Environment[J]. *Meteorological Applications*, 2008, 15: 483-490.
- [16] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增刊): 34-42.
- [17] 赵宗慈, 王绍武, 徐影, 等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 807-817.
- [18] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的分析[J]. 气候与环境变化, 2005, 10(4): 791-798.
- [19] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [20] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.
- [21] 冯新灵, 罗隆诚, 冯自立. 中国近 50 年降水变化趋势及突变的 Hurst 指数试验[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 859-866.

## Spatial Change Trends of Temperature and Precipitation in China

FAN Zemeng, YUE Tianxiang, CHEN Chuanfa, SUN Xiaofang

(State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** How to attain the high-resolution spatial climate grid data by high accuracy spatial interpolation method according to the climate observed data scattered over China, which can satisfied with the demands of ecological process, structure and landscape simulation model, and ecosystem integrated assessment model, is the focus issue in the field of ecological modeling. To address the above issue, the property feature data from 752 weather stations during the period from 1964 to 2007 are transferred into spatial feature data in terms of coordinate information supplied by every meteorological station meteorological data. SRTM DEM of China on a spatial resolution of  $90\text{m} \times 90\text{m}$  is transferred into DEM on a spatial resolution of  $1\text{km} \times 1\text{km}$  using the resampling method. The DEM is used as auxiliary data to develop the statistical transfer functions of mean annual temperature and precipitation. The spatial distribution trend model of mean annual temperature and mean precipitation are respectively developed by spatial statistical analysis method combined with the factors of elevation, longitude, latitude, aspect, and slope, which are integrat-

ed into the High Accuracy Surface Modeling (HASM) method. Spatial change trends of mean annual temperature and mean annual precipitation in China in the four periods of time of C1 (1964 – 1974), C2 (1975 – 1985), C3 (1986 – 1996) and C4 (1997 – 2007) are analyzed in terms of results from running these models. The simulation results indicate: (1) Mean annual temperature has shown an accelerating increase trend with the rate of speed of 0.28℃ per ten years since 1964, respectively rose 0.1631℃ during the period from C1 to C2, 0.3835℃ from C2 to C3 and 0.7007℃ from C3 to C4. (2) Mean annual precipitation increased by 4.7069mm during the period from C1 to C2, decreased by 2.1335mm from C2 to C3 and continuously decreased by 2.3735mm from C3 to C4. Furthermore, the conclusion can be got that the continuous and high-resolution climate data can be quickly attained from the observed climate data on scattered distribution by the HASM method integrated with the factors of elevation, longitude, latitude, aspect, and slope, and are available used to the parameters of spatially explicit multi-scale ecosystem model.

**Key words:** mean annual temperature; man annual precipitation; distribution trend model; HASM method; change trends; China