

中国 1961—2000 年月平均气温空间插值方法与空间分布

李 军¹, 游松财², 黄敬峰³

1. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 浙江大学农业遥感与信息技术研究所, 浙江 杭州 310029

摘要: 利用地理信息系统软件 ARC/INFO, 在考虑海拔高度对气温影响和没有考虑海拔高度对气温影响的两种情况下, 分别运用样条插值法、普通克里格法和逆距离权重法对中国 623 个气象站 1961—2000 年 40 a 的逐月平均气温进行了空间插值, 并利用交叉检验方法对插值精度进行了评估, 结果表明: 考虑了海拔高度影响的 3 种插值方法的精度都有比较明显的提高, 对于普通克里格法, 平均绝对误差 (MAE) 从 1.44 降到 0.82, 均方根误差 (RMSE) 从 2.31 降到 1.28; 对于逆距离权重法, MAE 从 1.52 降到 0.88, RMSE 从 2.38 降到 1.34; 对于样条插值法, MAE 从 1.54 降到 0.87, RMSE 从 2.49 降到 1.35。在 6 种插值方法中, 考虑了海拔高度影响的普通克里格法是最优空间插值方法。

关键词: 气温; GIS; 空间插值; 样条插值法; 普通克里格法; 逆距离权重法

中图分类号: P208; S181

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2006) 01-0109-06

气象站点是有限的, 而且只能代表一定区域内气象要素的分布情况, 对于广大非气象站点所在区域内气象要素的分布情况, 只能通过推算求得。现代生态学和全球变化科学的发展, 迫切需要高时空分辨率、空间栅格化的气象要素数据。近年来, 基于地理信息系统 (GIS) 技术利用地面观测的气象资料研究气象要素栅格化方法, 已成为国内外的生态学、地学研究的重要任务之一^[1-2]。

20 世纪 80 年代, 以傅抱璞、翁笃鸣、卢其尧等为代表的学者通过数值统计模拟方法 (例如: 分离综合法, 统计模拟法, 回归余项法, 小地形温差估算法等^[3-5]) 获得非气象站点所在区域内气象要素的空间分布情况。20 世纪 90 年代以来, 随着 GIS 技术在国内的迅速发展, 在 GIS 软件中提供了许多空间插值方法, 为研究气象要素的空间分布提供了解决途径^[6-9]。常用于气象要素空间插值的方法有逆距离权重法 (Inverse Distance Weighing)、多项式插值法 (Interpolating Polynomials)、克里格法 (Kriging)、样条插值法 (Spline) 等^[10-13]。

影响气温空间分布的因素很多, 其中以海拔高度和地形条件的影响最显著。一般情况下, 随着海拔高度的增加, 气温下降, 但其变化速率因山地性质和气候条件而不同^[3, 4]。在对气温要素进行空间插值时, 由于海拔高度的影响非常显著, 海拔高度的误差产生的对气温空间插值精度的影响不能忽略^[14]。为了对比和分析海拔高度对中国气温空间分布的影响, 本文利用 6 种方法对中国 623 个气象站

点的气温进行了空间插值, 并利用交叉检验法对结果的精度进行了评估。这 6 种方法分别为: 不考虑海拔高度影响的样条插值法; 不考虑海拔高度影响的普通克里格法; 不考虑海拔高度影响的逆距离权重插值法; 考虑海拔高度影响的样条插值法; 考虑海拔高度影响的普通克里格法; 考虑海拔高度影响的逆距离权重法。

1 资料与方法

1.1 资料

气温资料为中国 623 个气象站 1961-2000 年 40 a 的逐月平均气温, 以及各气象站的经度、纬度和海拔高度数据。其中, 623 个气象站的空间分布见图 1。

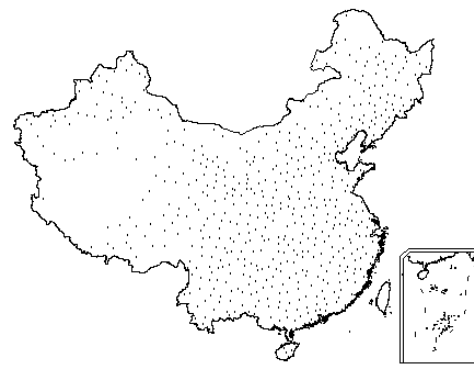


图 1 中国气象站点空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations in China

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KZCX3-SW-333); 中国科学院地理科学与资源研究所所长特别基金项目; 浙江省自然科学基金项目 (30295); 浙江省重点项目 (011103192)

作者简介: 李 军 (1974 -), 男, 博士研究生, 研究方向为农业遥感和地理信息系统应用。E-mail: zjulijun@zju.edu.cn

收稿日期: 2005-08-19

DEM 数据为全球 30 秒数字高程模型 (GTOPO30)(来源于 USGS^①)中获得的中国 DEM 数据,其空间分辨率为 30" (约 1 km)。

1.2 空间插值方法

一方面,在没有考虑海拔高度的影响下,分别运用 3 种插值方法(样条插值法,普通克立格法和逆距离权重法)直接对各气象站的月平均气温进行空间插值,得到月平均气温的空间分布。

另一方面,在考虑了海拔高度的影响下,首先,根据各月的气温垂直递减率和各气象站的海拔高度将各气象站的月平均气温订正到虚拟海平面上,再运用 3 种插值方法(样条插值法,普通克立格法和逆距离权重法)对虚拟海平面上的月平均气温进行空间插值,得到了虚拟海平面上的气温空间分布,然后,在 GIS 环境下,利用 DEM 数据和月气温垂直递减率进行栅格图层的代数运算得到月平均气温的空间分布。

1.2.1 样条插值法(Spline)

样条插值法是使用一种数学函数,对一些限定的点值,通过控制估计方差,利用一些特征节点,用多项式拟合的方法来产生平滑的插值曲线。这种方法适用于逐渐变化的表面,如温度、高程、地下水高度或污染浓度等。使用公式表示^[16]:

$$Z = \sum_{i=1}^n A_i d_i^2 \log d_i + a + bx + cy \quad (1)$$

其中, Z 为待估计的气温栅格值, d_i 为插值点到第 i 个气象站点的距离, $a + bx + cy$ 为气温的局部趋势函数, x 、 y 为插值点的地理坐标, $\sum_{i=1}^n A_i d_i^2 \log d_i$ 为一个基础函数,通过它可以获得最小化表面的曲率, A_i 、 a 、 b 和 c 为方程系数, n 为用于插值的气象站点的数目。

样条插值法又分为张力样条插值法(spline with tension)和规则样条插值法(regularized spline)。为了避免产生极值现象,本文选择张力样条插值法。

1.2.2 逆距离权重法(Inverse Distance Weighing, 简称 IDW)

逆距离权重法是对采样点进行线性的加权来决定输出的栅格值,加权与距离成反比,输入点离输出栅格越远,它对输出栅格的影响越小。使用公式表示为^[16]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}} \quad (2)$$

其中, Z 为待估计的气温栅格值, $Z(x_i)$ 为第 i ($i=1,2,\dots,n$) 个气象站点的气温值, n 为用于气温插值的气象站点数目, d_i 为插值点到第 i 个气象站点的距离, p 为距离的幂。

1.2.3 普通克立格法(Ordinary Kriging, 简称 OK)

普通克立格法是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。使用公式表示为^[17]:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

其中, Z 为待估计的气温栅格值, λ_i 为赋予气象站点月平均气温的一组权重系数, n 为用于气温插值的气象站点数目, $Z(x_i)$ 为气象站点月平均气温值。

为满足无偏性和最优性两个条件,通过建立如下克立格方程组来确定权重系数。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(v_i, v_j) - \mu = C(v_i, V) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中, $C(v_i, v_j)$ 为气象站点之间的协方差函数, $C(v_i, V)$ 为气象站点与插值点之间的协方差函数, μ 为拉格朗日乘数。

1.3 数据处理

利用地理信息系统软件 ARC/INFO 8.3 的空间分析模块(Spatial Analyst)和地理统计模块(Geostatistical Analyst)^[16, 17]提供的 3 种插值方法:样条插值法、逆距离权重法和普通克立格法,并且在插值的过程中针对不同数据提供了最优参数,选择最优参数的唯一标准是在交叉检验中得到最小的均方根误差。属性数据的处理采用 Excel 2000。主要工作如下:

(1) 将 623 个气象站点的经度、纬度和 40 a 月平均气温在 ARC/INFO 中生成点 Coverage 文件,分别使用 3 种空间插值方法(样条插值法、逆距离权重法和普通克立格法)生成 40 a 月平均气温栅格图,并使用交叉检验法检验插值精度。

(2) 利用 623 个气象站点的海拔高度和 40 年月平均气温数据,在 Excel 2000 中计算各气象站点在虚拟海平面上的 40 a 月平均气温,再在 ARC/INFO 中利用气象站点的经度、纬度和虚拟海平面上的 40 a 月平均气温生成点 Coverage 文件,同样分别使用 3 种空间插值方法(样条插值法、逆距离权重法和普通克立格法)生成虚拟海平面上 40 a 月平均气温的栅格图,然后,在 ARC/INFO 中,

① <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>

利用 DEM 数据和各月气温垂直递减率进行栅格图层的代数运算生成 40 a 各月平均气温栅格图,并使用交叉检验法检验插值精度。

1.4 检验方法

采用交叉检验 (cross-validation) 法对 40 a 平均气温的空间插值结果进行精度检验。即假设某一个气象站点的气温未知,用其它所有气象站点来估算该气象站点的气温,通过计算所有 623 个气象站点的实际气温值与估算值之间的误差来评判空间插值方法的精度。一般用平均绝对误差 (MAE)、均方根误差 (RMSE) 作为检验精度的标准。MAE 反映样本数据估值的总体误差或精度水平, RMSE 反映样本数据的估值灵敏度和极值。

2 结果分析与讨论

2.1 月平均气温随海拔高度的变化

在一定的地形条件下,由于海拔高度不同,气温的空间分布有很大差异,一般情况下,在对流层范围内,气温随海拔的升高而降低,海拔每升高 100 m,气温平均降低 0.65℃,但是气温的垂直递减率因山地性质、季节、和昼夜气候条件等因素的不同而不同,本文根据 623 个气象站的海拔高度和 40 a 月平均气温资料,通过公式 (5) 计算了中国 40 a 各月平均气温的垂直递减率,计算结果见表 1。

$$T_i = a_i h + b_i \tag{5}$$

其中, T_i 为各月平均气温 (℃), a_i 为回归系数, b_i 为残差, h 为海拔高度 (m), i 为月份数

表 1 中国 623 个气象站的月平均气温随海拔高度的变化
Table 1 Regression relationship between monthly average temperature and altitude from 623 meteorological stations in China

月份	回归方程	平均气温/℃	相关系数	F	气温垂直递减率/(℃·hm ⁻¹)
1	$T_1 = -0.0027h - 0.58$	-3.1	0.288	56.21	0.27
2	$T_2 = -0.0025h + 1.84$	-0.4	0.291	57.63	0.25
3	$T_3 = -0.0027h + 7.86$	5.4	0.392	112.56	0.27
4	$T_4 = -0.0033h + 15.22$	12.2	0.596	342.69	0.33
5	$T_5 = -0.0036h + 20.81$	17.4	0.749	794.54	0.36
6	$T_6 = -0.0038h + 24.61$	21.1	0.850	1617.74	0.38
7	$T_7 = -0.0041h + 26.97$	23.2	0.902	2701.05	0.41
8	$T_8 = -0.0041h + 26.12$	22.3	0.878	2095.62	0.41
9	$T_9 = -0.0038h + 21.47$	17.9	0.743	765.54	0.38
10	$T_{10} = -0.0037h + 15.46$	12.0	0.601	351.58	0.37
11	$T_{11} = -0.0036h + 8.24$	4.9	0.457	164.30	0.36
12	$T_{12} = -0.0031h + 1.84$	-1.0	0.343	82.75	0.31

($i = 1, 2, \dots, 12$)

由表 1 可知:各月平均气温与海拔高度之间都呈现出一定的相关性,经过信度 1%的 F 检验 (信度 1%的 F 域值为 6.676),相关性都表现为极显著。而且,月平均气温与海拔高度之间的相关性呈现明显的季节性变化,夏季月平均气温与海拔高度之间的相关系数明显大于冬季 (图 2)。各月平均气温随海拔高度的增加均呈现递减趋势,但是递减幅度是

不同的,夏季月平均气温随海拔高度增加而降低的幅度明显大于冬季,各月平均气温的垂直递减率在 0.25 ~ 0.41℃·hm⁻¹ 之间变化。

2.2 误差分析

从表 2 中可以看出:对于年平均气温而言,在没有考虑海拔高度的影响下,MAE 的排序为 SPLINE>IDW>OK,其值分别为 1.54, 1.52, 1.44;RMSE 的排序为 SPLINE>IDW>OK,其值分别为 2.49, 2.38, 2.31。OK 具有最小的 MAE 和 RMSE。在考虑海拔高度影响下,MAE 的排序为 IDW>SPLINE>OK,其值分别为 0.88, 0.87, 0.82;RMSE 的排序为 IDW>SPLINE>OK,其值分别为 1.35, 1.34, 1.28。同样,OK 具有最小的 MAE 和 RMSE。考虑了海拔高度影响的 MAE 和 RMSE 明显比没有考虑海拔高度影响的 MAE 和 RMSE 要低。对于 IDW,MAE 从 1.52 降到 0.88, RMSE 从 2.38 降到 1.34;对于 OK,MAE 从 1.44 降到 0.82, RMSE 从 2.31 降到 1.28;对于 SPLINE,MAE 从 1.54 降到 0.87, RMSE 从 2.49 降到 1.35。因此,在对气温进行空间插值时,考虑海拔高度的影响是非常重要的。

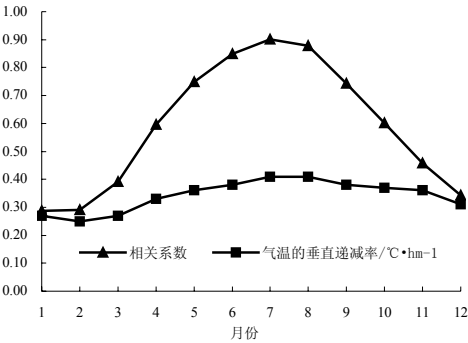


图 2 不同月份平均气温垂直递减率变化
Fig. 2 The lapse rate of monthly mean air temperature to altitude

表2 月平均气温的交叉检验结果
Table 2 Cross-validation of monthly average temperature

			1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
没有考虑海拔高度影响	IDW	MAE	1.49	1.54	1.54	1.58	1.61	1.60	1.56	1.53	1.48	1.44	1.41	1.41	1.52
		RMSE	2.26	2.39	2.45	2.52	2.58	2.56	2.50	2.43	2.31	2.23	2.18	2.13	2.38
	OK	MAE	1.42	1.47	1.46	1.50	1.51	1.50	1.47	1.44	1.42	1.37	1.34	1.35	1.44
		RMSE	2.22	2.35	2.40	2.47	2.45	2.42	2.37	2.33	2.30	2.21	2.13	2.08	2.31
	SPLINE	MAE	1.57	1.62	1.59	1.57	1.57	1.53	1.53	1.53	1.49	1.51	1.48	1.48	1.54
		RMSE	2.44	2.56	2.59	2.59	2.60	2.55	2.54	2.54	2.44	2.43	2.34	2.27	2.49
考虑海拔高度影响	IDW	MAE	1.11	1.14	1.03	0.91	0.88	0.83	0.74	0.70	0.72	0.72	0.81	0.98	0.88
		RMSE	1.65	1.74	1.62	1.43	1.37	1.30	1.15	1.08	1.08	1.06	1.17	1.43	1.34
	OK	MAE	1.01	1.04	0.96	0.85	0.82	0.77	0.68	0.67	0.70	0.69	0.73	0.89	0.82
		RMSE	1.56	1.65	1.55	1.38	1.33	1.23	1.09	1.05	1.06	1.02	1.06	1.32	1.28
	SPLINE	MAE	1.11	1.14	1.04	0.90	0.83	0.78	0.70	0.68	0.76	0.76	0.80	0.96	0.87
		RMSE	1.70	1.79	1.65	1.45	1.34	1.25	1.11	1.07	1.14	1.10	1.14	1.42	1.35

从图3中可以看出:6种插值方法的MAE和RMSE的变化都有明显的季节性,对于MAE,在没有考虑海拔高度的影响下,OK和IDW都表现为春、夏季略高于秋、冬季,春季最高的趋势,而SPLINE表现为1—5月略高于其它月份,其中,2月最高;在考虑海拔高度的影响下,3种插值方法的MAE的季节性变化规律更加明显,OK、IDW和SPLINE表现出的趋势比较一致,表现为:1月较高,2月最高,2—8月逐渐减小,8—10月非常接近,10—12月增加较快。对于RMSE,在没有考虑海拔高度的影响下,OK、SPLINE和IDW表现出的季节性变化趋势较一致,都表现为春、夏季略高于秋、冬季的趋势,其中,IDW表现出的趋势最明显;在考虑海拔高度的影响下,季节性变化规律更加明显,趋势一致,表现为:1月较高,2月最高,2—8月逐渐减小,8—10月非常接近,达

2月最高,2—8月逐渐减小,8月最低,9—10月非常接近,10—12月增加较快。对于RMSE,在没有考虑海拔高度的影响下,OK、SPLINE和IDW表现出的季节性变化趋势较一致,都表现为春、夏季略高于秋、冬季的趋势,其中,IDW表现出的趋势最明显;在考虑海拔高度的影响下,季节性变化规律更加明显,趋势一致,表现为:1月较高,2月最高,2—8月逐渐减小,8—10月非常接近,达

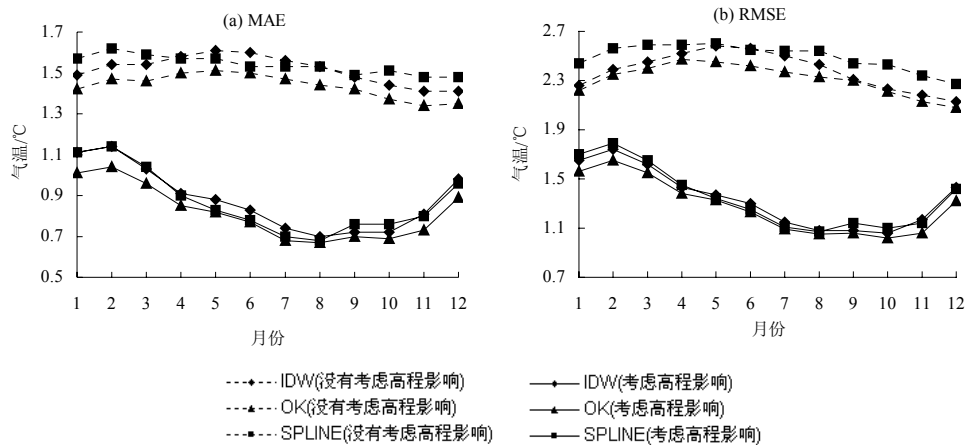


图3 6种插值方法的平均绝对误差和均方根误差的对比分析(a为MAE, b为RMSE)

Fig. 3 Comparing analysis of cross-validation MAE (a) and RMSE (b) for monthly mean temperature during 40 years across all stations for the six interpolation methods

到最低,10—12月增加较快。

3 月平均气温的空间分布

根据6种空间插值方法分别得到了中国1961—2000年40 a 1月和7月平均气温空间分布(图4—7,下页)。从中可以看出,①无论是否考虑海拔高度对气温的影响,中国1月平均气温的空间差异性及其纬度地带性都比7月大,这与日照时间的空间分布有关;②在没有考虑海拔高度对气温的影响下(图4、图6),对于1月和7月,无论采用哪一种空间插值方法,西部的气温差异总是大于东

部,尤其是在新疆和西藏的大部分地区,这与西部地区的气象站点分布相对较少有关。无论是1月还是7月,比较利用3种空间插值方法生成的空间分布图,IDW法生成的空间分布图中明显存在较多小的“牛眼”。在考虑海拔高度对气温的影响下(图5、图7),对于1月和7月,无论采用哪一种空间插值方法都能体现出气温随地形特征变化的趋势,在地形起伏比较大的区域,如天山山脉、昆仑山脉、大兴安岭、秦岭、横断山脉等区域,其月平均气温受地形的影响表现的非常明显,而且,7月平均气

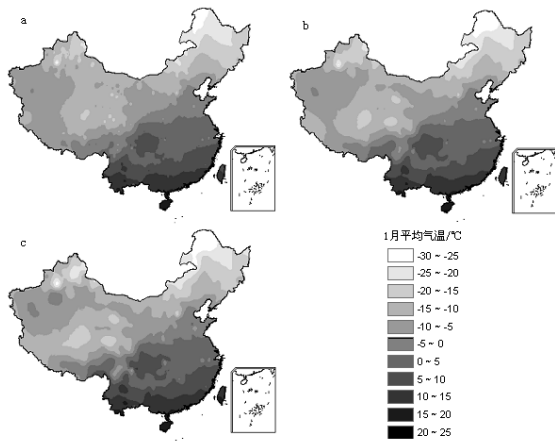


图 4 中国 1 月平均气温空间分布（不考虑海拔高度影响，a 为 IDW, b 为 OK, c 为 SPLINE）

Fig. 4 The spatial distribution map of monthly mean temperature on January in China by IDW (a), OK (b) and SPLINE (c) (without taking altitude into consideration)

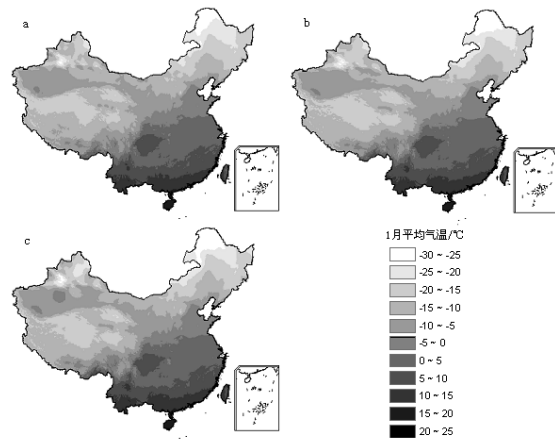


图 5 中国 1 月平均气温空间分布（考虑海拔高度影响，a 为 IDW, b 为 OK, c 为 SPLINE）

Fig. 5 The spatial distribution map of monthly mean temperature on January in China by IDW (a), OK (b) and SPLINE (c) (taking altitude into consideration)

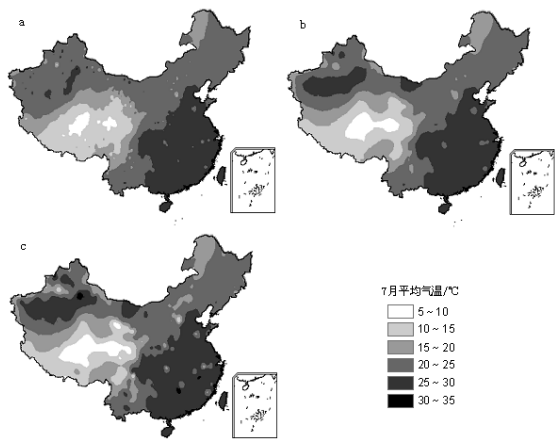


图 6 中国 7 月平均气温空间分布（不考虑海拔高度影响，a 为 IDW, b 为 OK, c 为 SPLINE）

Fig. 6 The spatial distribution map of monthly mean temperature on July in China by IDW (a), OK (b) and SPLINE (c) (without taking altitude into consideration)

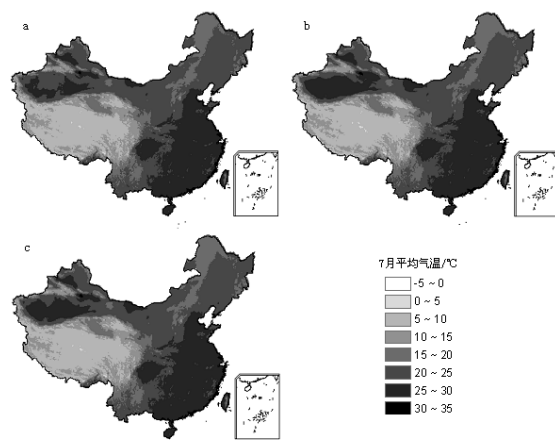


图 7 中国 7 月平均气温空间分布（考虑海拔高度影响，a 为 IDW, b 为 OK, c 为 SPLINE）

Fig. 7 The spatial distribution map of monthly mean temperature on July in China by IDW (a), OK (b) and SPLINE (c) (taking altitude into consideration)

温受地形的影响比 1 月大，这在平原地区表现的比较明显，如东北平原、华北平原和长江中下游平原等区域，无论是 1 月还是 7 月平均气温空间分布图，比较 3 种空间插值方法产生的空间分布图，差异比较明显的地方都表现在塔里木盆地和塔克拉玛干沙漠地区，原因在于这些地区基本上无气象站点，而且地形起伏较小，气温受海拔高度影响较小。

4 结论

(1) 中国月平均气温与海拔高度之间呈现显著的相关关系，各月平均气温随海拔高度的增加均呈现递减趋势，但是递减幅度是不同的，夏季月平均气温随海拔高度增加而降低的幅度明显大于冬季，

各月平均气温的垂直递减率在 $0.25 \sim 0.41 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$ 之间变化；且它们之间的相关性呈现明显季节性变化，夏季月平均气温与海拔高度之间的相关系数大于冬季。

(2) 在考虑海拔高度影响和没有考虑海拔高度影响两种情况下，采用 3 种空间插值方法（样条插值法、普通克立格法和逆距离权重法）对中国 623 个气象站点 1961—2000 年这 40 a 的月平均气温进行了插值，结果表明：考虑海拔高度影响的插值结果好于不考虑海拔高度影响的插值结果，在考虑海拔高度影响的 3 种空间插值方法中，普通克立格法是最好的，其次是样条插值法和逆距离权重法。

(3) GIS 技术为气温、降水、太阳辐射等气象要素的定量空间分布研究提供了很好的技术手段,但是,如何根据气象站点的数目、空间分布和不同气象要素的特点等选择合适的空间插值方法,以及地形数据(例如 DEM 数据)对气象要素空间插值结果的影响如何等都是非常值得研究的课题。

参考文献:

- [1] 林忠辉,莫兴国,李宏轩,等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47 - 56.
LIN Zhonghui, MO Xingguo, LI Hongxuan, *et al.* Comparison of three spatial interpolation methods for climate variables in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(1): 47 - 56.
- [2] 于贵瑞,何洪林,刘新安,等. 中国陆地生态信息空间化研究(I): 气象/气候信息的空间化途径[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 537 - 544.
YU Guirui, HE Honglin, LIU Xinan, *et al.* Study on spatialization technology of terrestrial eco-information in China (I): The approach of spatialization in meteorology/climate information [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(4): 537 - 544.
- [3] 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 1 - 10.
WENG Duming, LUO Zhexian. Topographical Climate in Mountainous Areas [M]. Beijing: Chinese Meteorological Press, 1990: 1 - 10.
- [4] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 120 - 132.
FU Baopu. Mountainous Climate [M]. Beijing: Chinese Science Press, 1983: 120 - 132.
- [5] 傅抱璞,虞静明,卢其尧. 山地气候资源与开发利用[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996: 165 - 179.
FU Baopu, YU Jingming, LU Qiyao. Climate Sources, Development and Utilization In Mountainous Areas [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1996: 165 - 179.
- [6] 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.
CHEN Xiaofeng, LIU Jiyuan, ZHANG Zengxiang, *et al.* Using GIS to establish temperature distribution model in mountain area [J]. Journal of Image & Graphics, 1998, 3(3): 234 - 238.
- [7] 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.
ZHANG Hongliang, NI Shaoxiang, DENG Ziwang, *et al.* A method of spatial simulating of temperature based Digital Elevation Model (DEM) in mountain area [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(3): 360 - 364.
- [8] 李军,黄敬峰,王秀珍. 山区月平均气温的高空间分辨率分布模型与制图[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 19 - 23.
LI Jun, HUANG Jingfeng, WANG Xiuzhen. Distribution model and mapping of monthly average temperature with high space resolution in mountainous areas [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 19 - 23.
- [9] 潘耀忠,龚道溢,邓磊,等. 基于 DEM 的中国陆地多年平均温度插值方法[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 366 - 374.
PAN Yaozhong, GONG Daoyi, DENG Lei, *et al.* Smart distance searching-based and DEM-informed interpolation of surface air temperature in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(3): 366 - 374.
- [10] PATRICK M B. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighing [J]. Computer & Geoscience, 1996, 22(7): 795 - 799.
- [11] ASHRAF M, LOFTIS J C, HUBHARD K G. Application of geostatistics to evaluate partial station networks [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 84: 225 - 271.
- [12] NALDER I A, WEIN R W. Spatial interpolation of climate normals: test of a new method in the Canadian boreal forest [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 92: 211 - 225.
- [13] PRICE D T, MEKENNEY D W, NALDER I A, *et al.* A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 101: 81 - 94.
- [14] 游松财,李军. 海拔误差影响气温空间插值误差的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 140 - 144.
YOU Songcai, LI Jun. Study on error and its pervasion of temperature estimation [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(1): 140 - 144.
- [15] 许绍祖. 大气物理学基础[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 27 - 40.
XU SHAO-ZU. Base of Atmospheric Physics [M]. Beijing: Chinese Meteorological Press, 1993: 27 - 40.
- [16] JILL M, KEVIN J. Using ArcGIS Spatial Analyst. CA USA, Redlands, 2001: 136 - 148.
- [17] KEVIN J, JAY M H, KONSTANTIN K, *et al.* Using ArcGIS Geostatistical Analyst. CA USA, Redlands, 2001: 116 - 162.

Spatial interpolation method and spatial distribution characteristics of monthly mean temperature in China during 1961—2000

LI Jun¹, YOU Songcai², HUANG Jingfeng³

1. College of Environment and Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China; 3. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract: Monthly mean temperature data from 623 meteorological stations in China from 1961 to 2000 were interpolated by using inverse distance weighing (IDW), ordinary kriging (OK) and spline with ARC/INFO, when altitude was taken into consideration or otherwise. Cross-validation were applied to evaluate the three interpolation method, from which the mean absolute error (MAE) and root mean squared error (RMSE) were calculated. The results showed that better simulation would be achieved if altitude were taken into consideration. MAE and RMSE by IDW decrease from 1.52 to 0.88 and from 2.38 to 1.34, respectively; for OK, from 1.44 to 0.82 and from 2.31 to 1.28, respectively; for SPLINE, from 1.54 to 0.87 and from 2.49 to 1.35, respectively. It revealed OK gave the best simulation, followed by SPLINE and then by OK.

Key words: temperature; GIS; spatial interpolation; spline; ordinary kriging; inverse distance weighing