

王丽¹ 王培法¹ 刘爱利¹ 李莹² 吴浩¹ 罗阳欢¹

基于 DEM 的江苏气温空间插值研究

摘要

以江苏省及周边 39 个常规气象站点 1957—2001 年的月平均气温数据和 90 m 空间分辨率的 DEM 数据为基础,采用基于 DEM 的多元线性回归插值方法,分析多年平均气温与海拔、坡度和坡向等地形因子的相关关系,建立适合该区域的多元回归空间插值模型.同时与反距离权重法(IDW)和克里格(Kriging)插值法等传统方法的计算结果进行对比,并用交叉验证方法比较 5 种插值方法的精度.结果表明:该研究区各月气温递减率在 0.5~0.9 °C/(100 m)左右;基于 DEM 的多元线性回归空间插值方法(MLR)无论从插值效果还是误差精度上,均优于其他传统插值方法.插值结果客观地表达了气温与各地形要素的相关性,反映了气温的空间变异性.

关键词

空间插值;平均气温;数字高程模型(DEM);江苏

中图分类号 P42;S181

文献标志码 A

收稿日期 2014-01-17

资助项目 2014 年度大学生实践创新训练计划江苏省重点项目(201410300017Z);国家自然科学基金(41175077);国家自然科学基金青年基金(S0508016001,41101196);黔科合重大专项字[2011]6003 号

作者简介

王丽,女,博士生,研究方向为 3s 集成与气象应用.xuer217@163.com

1 南京信息工程大学 地理与遥感学院,南京,210044

2 天津师范大学 城市与环境科学学院,天津,300387

0 引言

气温为重要的气象因子,它在一定条件下能反映热量状况,是农业、生态和资源环境等相关学科的基础数据源,各类生态系统模型都需要气候要素.全球气候变化给人类及生态系统带来了一系列的影响,如极端天气、海平面上升、生态系统改变等.国内外学者对气温插值的研究比较多,如李莎等^[1]利用时空克里格(Kriging)进行气温插值研究,得出利用时空克里格的插值效果较为理想,其插值精度较空间克里格法更高;朱求安等^[2]利用 PRISM 模型、SPLINE 插值法和克里格插值法等,对站点气温与降水数据进行了空间分析,并进一步对各种插值方法的精度进行了分析和对比;岳文泽等^[3]利用普通克里格和协同克里格方法对以甘肃省年平均降水量和蒸发量为区域化变量的研究发现,在考虑高程的情况下,协同克里格法在空间上更为合理,插值精度也明显好于普通克里格法;蔡迪花等^[4]通过交叉验证指出基于 DEM 的多元线性回归插值方法的精度远高于传统的插值方法,其得到的空间分布图也优于传统的插值方法.这些研究都加入了影响气温变化的因素,如经纬度、坡度、坡向、海拔高度、太阳辐射、植被覆盖、下垫面、含水量、蒸发量等.空间插值方法虽然多,但气温的空间插值没有最优的方法,只有特定条件下的最优途径,即同一种插值方法在不同地区的应用效果存在很大的差别^[5].因此,要对特定环境条件下的气温要素进行较精确、较合理地插值,必须要考虑该区域的空间变异性 and 特点,引入适当的影响气温的因子,采用适当的方法进行插值.本文以江苏省及其周围 39 个气象站点 1957—2001 年的月均气温数据为例,采用基于 DEM 的多元线性回归空间插值方法(MLR)来验证插值方法,与反距离权重法(IDW)、样条函数插值法(SPLINE)、克里格系列插值法比较,对气温要素的空间插值进行研究.

1 研究区域与研究数据

江苏省位于东南沿海,其地理位置介于 116°18'~121°57'E,30°45'~35°20'N 之间(图 1).江苏属于温带向亚热带的过度性气候,各地平均气温介于 13~16 °C,由东北向西南逐渐增高.江苏地处江淮平原,地形以平原为主,是全国地势最低的一个省区,绝大部分地区在海拔 50 m 以下,低山丘陵集中在北部和西南部,占全省总面积的

14.3%,省内最高峰海拔 624.4 m.

本文所用研究数据有 DEM 数据和江苏省行政边界数据等地理数据和气象站观测的气温数据. DEM 数据是空间分辨率为 90 m 的 STRM (Shuttle Radar Topography Mission, 航天飞机雷达地形测绘任务) 数据,其投影系统为 Krasovsky, 椭球体为 Albers. 气温数据源于国家气象中心提供的江苏省及周围区域 39 个基本气象站点 1957—2001 年月平均气温数据,使用前对数据的完整性做了检查并对无效数据做了相应剔除.气象站点及 DEM 空间分布如图 1 所示.

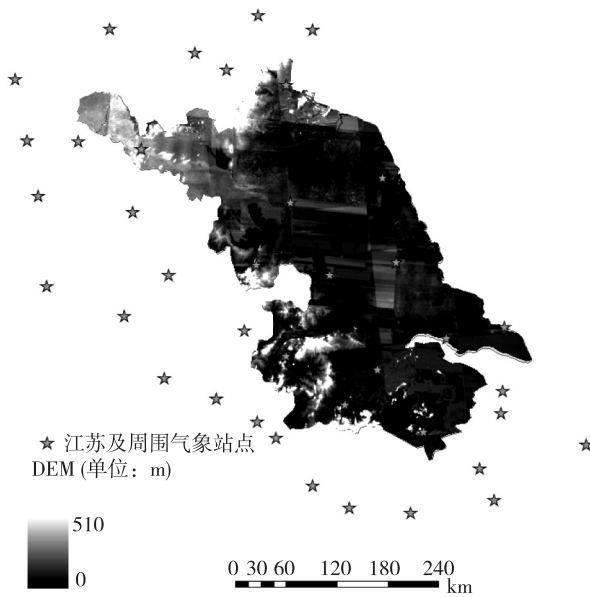


图 1 气象站点及 DEM 空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations and DEM

2 研究方法

空间插值的理论依据是 Tobler 地理学定律,即空间上距离越小的地理数据比那些空间距离更大的数据有更大的相似性^[6-7].目前,以反距离权重法、多项式插值法、最邻近法、算术平均法、克里格插值系列方法、样条插值法、趋势面插值法等最为常用,本文将以上方法称为传统插值方法.传统插值方法的主要特征如表 1 所示.

因为多项式插值法、算术平均法、最邻近法和高次曲面插值等方法均没有考虑变量的空间自相关性,故本文不采用.本文主要考虑空间地形因子对气温的影响,采用基于 DEM 的多元线性回归空间插值方法,同时与传统的反距离权重法、样条插值法和普

表 1 常用插值方法的主要特征比较

Table 1 Comparison of main characteristics for the commonly used interpolation methods

插值方法	局部	整体	随机性	确定性	非精确插值	精确插值
克里格	✓		✓			✓
IDW	✓			✓		✓
SPLINE	✓			✓		✓
趋势面		✓		✓	✓	
密度归算	✓			✓	✓	
多元回归		✓	✓		✓	

通克里格插值法、协同克里格插值法的插值效果做出对比与分析.

2.1 空间插值方法

2.1.1 反距离权重法 (IDW)

反距离权重插值法对待估值点周围的观测点进行线性加权获得估计点的值,权重系数与距离成反比,如果用 v_e 表示待估计点的值^[5,8-10],则有

$$v_e = \sum_{j=1}^n \omega_j v_j, \quad (1)$$

其中, $v_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为待估值点周围的点 (x_j, y_j) 处的变量值, ω_j 是其对应的权重系数,可用如下公式计算:

$$\omega_j = f(d_{ej}) / \sum_{i=1}^n f(d_{ei}), \quad (2)$$

其中, n 为参与插值的临近点数, $f(d_{ej})$ 是待插值点 (x_e, y_e) 与邻近点 (x_j, y_j) 之间的距离 d_{ej} 的权重函数,最常用的为距离倒数函数或距离倒数平方函数^[5,8-10].

2.1.2 样条函数 (SPLINE)

样条插值法^[5,8-10]主要是通过估计方差,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.该方法适用于逐渐变化的表面,如气温.如果用 v_e 表示待估计点的值,则有

$$v_e = \sum_{j=1}^n A_j d_{ej}^2 \log d_{ej} + ax_e + by_e + c, \quad (3)$$

其中, n 为参与插值的临近点数, d_{ej} 为待插值点 (x_e, y_e) 与邻近点 (x_j, y_j) 之间的距离, A_j, a, b, c 都是相应的参数.

2.1.3 克里格插值法 (Kriging)

克里格系列插值法包括简单克里格法、普通克里格法、协同克里格法、泛克里格法以及块克里格法等.克里格插值法是一种线性的无偏估计方法,要求估计误差的方差最小.克里格方法以区域化变量理

论为基础,半变异函数为其分析工具,对空间分布具有随机性与结构性变量的研究具有其独特的优点^[10-11].本文主要选用普通克里格法(OK)、协同克里格法(CK),有关克里格插值公式可参考文献[5].

2.2 基于 DEM 的多元线性回归插值方法(MLR)

根据国内外学者的研究可知,影响气温空间分布的因素以海拔高度和地形最为显著^[12],气温的水平地带性和垂直地带性分布特征对气温插值结果会产生很大的影响^[4].研究表明,影响气温的空间分布因素主要有海拔高度、经纬度、坡度、坡向等^[2].基于 DEM 的多元线性回归法,即考虑气温的空间分布是经纬度、海拔高度、坡度、坡向等因素综合作用的结果.为了分析这种综合影响,在 SPSS 平台下,以平均气温为因变量,海拔高度、经纬度、坡度、坡向等地形因子为自变量进行多元线性回归分析.基于 DEM 的多元线性回归插值模型公式^[4]为

$$T = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + \varepsilon, \quad (4)$$

式(4)中, T 为气温, X_1 为经度, X_2 为纬度, X_3 为坡度, X_4 为坡向, X_5 为海拔高度, a 、 b 、 c 、 d 、 e 为回归系数, ε 为残差项.

3 研究结果与精度分析

3.1 研究结果

本文通过江苏省的 DEM 数据,获取了江苏省及周围地区 39 个站点的海拔高度、经纬度、坡度和坡向数据.利用 SPSS 软件分析江苏省 39 个气温插值站点空间影响因素与气温的相关性,基于 DEM 的多元线性公式与回归插值模型,即得到多元回归分析结果(表 2).

通过研究气温与各地形要素的相关系数可以发现,月平均气温与经纬度、坡度和海拔高度的相关性显著.其中平均气温与海拔高度成负相关,其相关性在 $-0.375 \sim -0.855$ 之间,尤其是在夏季与年平均相关性很高;平均气温与坡度也成负相关,其相关性在 $-0.289 \sim -0.803$ 之间,其相关性较海拔高度略低些,但在夏季,坡度与月平均气温的相关性较其他月份更强,均大于 -0.7 ;经度、纬度与气温的相关性受季节的变化而不同,冬季的月气温与经度、纬度的相关性较高,其绝对值大于 0.5.在冬季,理论上坡向对月平均气温影响应该变大,但因为气象站点都建立在开阔的平地区,四周无遮挡,所以其相关性较弱.就年平均气温而言,其与纬度、坡度和海拔高度的相关性较高,而与经度和坡向的相关性极弱.由以上分析可知:平均气

表 2 平均气温与各地形要素的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between mean temperature and terrain elements

月份	经度	纬度	坡度	坡向	海拔高度	多因子相关系数
1	0.524	0.768	-0.289	0.052	-0.375	0.936
2	0.340	-0.675	-0.447	0.152	-0.521	0.946
3	-0.028	-0.422	-0.566	0.119	-0.626	0.914
4	-0.319	-0.192	-0.586	0.105	-0.631	0.900
5	-0.390	0.018	-0.685	0.044	-0.717	0.924
6	-0.513	0.176	-0.746	0.044	-0.757	0.955
7	-0.015	-0.220	-0.803	0.101	-0.851	0.967
8	0.139	-0.289	-0.793	0.164	-0.855	0.976
9	0.324	-0.333	-0.765	0.240	-0.822	0.962
10	0.427	-0.459	-0.676	0.230	-0.737	0.961
11	0.596	-0.713	-0.421	0.180	-0.494	0.973
12	0.581	-0.798	-0.299	0.164	-0.377	0.968
年平均	0.196	-0.477	-0.656	0.154	-0.724	0.966

温与经度、纬度、坡度、坡向、海拔高度存在着显著的相关性,但与这些单一因素的相关性十分不稳定,相关性大小会受到季节变化的影响;而从气温与多因子(包括经度、纬度、坡度、坡向、海拔高度)的相关性可以看出,其相关性均大于 0.9,明显高于只考虑单一影响因子的相关系数,存在极强的相关性,且不受季节变化的影响.基于上述分析,海拔高度、经度、纬度和坡度等多要素的有效组合能够更好地反映平均气温及其变化.

由于月平均气温与各地形要素的相关系数不同,影响效果不同,因此可得出月平均气温与年平均气温回归插值模型(表 3).

由表 3 可知,气温随海拔高度增加,一般呈递减趋势,但因不同区域或不同季节而有所不同.各月平均气温以及年均气温推算模型均通过显著水平为 0.05 的 F 检验,其复相关系数在 0.810~0.952 之间,显示出推算模型具有较好的回归相关性.由表 3 推算方程可知,月平均气温和年平均气温均与海拔高度以及纬度具有显著的负相关性,除 12 月外,月平均气温与坡度具有一定的正相关性.由表 3 还可以看出,各月平均气温及年均气温与海拔高度负相关系数在 0.005~0.009 之间,即气温递减率在 $0.5 \sim 0.9 \text{ } ^\circ\text{C}/(100 \text{ m})$ 左右.气温递减率随月份不同有所不同,2、3、4、6、11 和 12 月气温递减率均为 $0.5 \text{ } ^\circ\text{C}/(100 \text{ m})$,1 和 8 月气温递减率最高,均为 $0.9 \text{ } ^\circ\text{C}/(100 \text{ m})$.年均气温推算模型显示的气温递减率约为 $0.6 \text{ } ^\circ\text{C}/(100 \text{ m})$.

表 3 江苏省月平均气温与年平均气温回归插值模型

Table 3 Regression interpolation model of monthly mean temperature and annual mean temperature in Jiangsu province

月份	方程	R^2
1	$T = 17.283 + 0.142X_1 - 0.984X_2 - 0.009X_5$	0.876
2	$T = 44.774 - 0.0115X_1 - 0.844X_2 + 0.220X_3 - 0.005X_5$	0.896
3	$T = 71.731 - 0.651X_2 + 0.015X_3 - 0.005X_5$	0.835
4	$T = 98.176 + 0.142X_1 - 0.984X_2 + 0.220X_3 - 0.005X_5$	0.835
5	$T = 97.772 + 0.543X_1 + 0.07X_3 - 0.007X_5$	0.810
6	$T = 110.36 + 0.63X_1 - 0.34X_2 + 0.08X_3 - 0.005X_5$	0.911
7	$T = 73.933 - 0.4924X_2 + 0.004X_3 - 0.006X_5$	0.936
8	$T = 56.574 - 0.463X_2 + 0.15X_3 - 0.009X_5$	0.952
9	$T = 27.645 + 0.068X_1 - 0.409X_2 + 0.064X_3 - 0.007X_5$	0.925
10	$T = 18.653 + 0.123X_1 - 0.508X_2 + 0.023X_3 - 0.006X_5$	0.921
11	$T = 9.163 + 0.236X_1 - 0.826X_2 + 0.008X_3 - 0.005X_5$	0.946
12	$T = 16.648 - 0.16X_1 - 0.969X_2 - 0.027X_3 - 0.005X_5$	0.938
年平均	$T = 50.053 - 0.621X_2 + 0.04X_3 - 0.006X_5$	0.932

注: T 为气温; X_1 为经度; X_2 为纬度; X_3 为坡度; X_4 为坡向; X_5 为海拔高度。

3.2 空间插值方法精度验证

3.2.1 精度验证方法

本文通过交叉验证对各种插值方法进行误差检验。交叉验证的过程是,首先假定每一个观测站点要素未知,而采用周围站点的观测值来估算,然后计算所有站点实际观测值与估算值的误差,以此来评估插值方法的优劣^[3]。常用于评价精度的参数是平均绝对误差(MAE)和均方根误差(RMSE)。平均绝对误差总体反映估计误差的大小,而均方根误差可以反映利用样点数据的估值灵敏度和极值效应,两者的值越小,表明模型模拟的精度越高。其计算公式分别为

$$E_{MA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{abs}(T_{oi} - T_{ei}), \quad (5)$$

$$E_{RMS} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{oi} - T_{ei})^2 \right]^{1/2}, \quad (6)$$

式中, E_{MA} 表示平均绝对误差, E_{RMS} 表示均方根误差, n 为测站数, T_{oi} 和 T_{ei} 分别表示第 i 个台站位置上的实际观测气温和预测气温值。

3.2.2 各空间插值方法精度分析

本文选择江苏省及其周围 39 个气象站,通过 1957—2001 年的 1—12 月气温数据,分别使用 MLR、IDW、OK、CK 和 SPLINE 5 种方法进行插值,并利用交叉验证对比 5 种插值方法的精度,其插值的精度结果如表 4 所示。从表 4 可以看出:基于 DEM 的多元线性回归空间插值方法(MLR)的各月和年平均气温的预测值与观测值的 MAE 与 RMSE 的值均最

小,其中各月的平均气温的预测值与观测值的 MAE 值在 0.235 0~0.453 9 之间, RMSE 值在 0.367 0~0.734 8 之间,年平均气温的预测值与观测值的 MAE 值为 0.25, RMSE 值为 0.361 3;其次为 IDW 插值法,各月的 MAE 值在 0.616 9~1.428 0 之间, RMSE 值在 1.084~1.386 之间,年平均气温的预测值与观测值的 MAE 值为 0.948, RMSE 值为 1.226;然后是 CK 插值法,各月的 MAE 值在 0.741 4~1.356 6 之间, RMSE 值在 1.127~2.231 之间,年平均气温的预测值与观测值的 MAE 值为 1.010 5, RMSE 值为 1.317;之后为 OK 插值法,各月的 MAE 值在 0.826 7~1.391 2 之间, RMSE 值在 1.177~2.324 之间,年平均气温的预测值与观测值的 MAE 值为 1.044 4, RMSE 值为 1.046;各月和年平均气温的预测值与观测值的 MAE 与 RMSE 值最大的均为 SPLINE 插值法,其各月 MAE 值在 0.978~2.256 之间, RMSE 在 1.114~5.349 之间,年平均气温的预测值与观测值的 MAE 值为 1.061 8, RMSE 值为 1.268。可见,对江苏省月和年平均气温的 5 种插值法优劣排序为 MLR>IDS>CK>OK>SPLINE,影响插值结果优劣的主要原因为江苏省沿海岸线分布和江苏省地势总体上东低西高的特征,导致了经度、纬度、坡度、坡向和高程与气温之间都具有明显的相关性,因此考虑各地形要素后的插值方法具有更高的拟合性。此外,本文归纳了检验站点各月平均气温的观测值与 MLR 模型的预测值之间的 R^2 均通过了 0.001 显著性水平检验,模型预测值具有较高的相关系数(表 3)。

表4 检验站点各月(年)的交叉验证结果

Table 4 The cross-validation results of five interpolation methods for the validation stations

°C

月份	IDW		CK		OK		SPLINE		MLR	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
1	0.616 9	1.325	0.741 4	1.604	0.826 7	1.573	2.256 0	5.349	0.453 9	0.734 8
2	0.860 8	1.277	0.874 2	1.201	0.895 8	1.177	0.978 0	1.330	0.330 1	0.512 6
3	0.898 9	1.129	1.160 7	1.306	1.087 2	1.356	0.998 1	1.176	0.350 6	0.536 2
4	0.939 8	1.084	1.077 9	1.145	1.097 8	1.186	1.040 9	1.114	0.348 6	0.543 9
5	1.428 0	1.125	1.059 7	1.127	1.182 4	1.178	1.149 8	1.150	0.407 0	0.643 8
6	1.144 1	1.124	1.315 0	1.239	1.335 5	1.287	1.241 5	1.164	0.312 2	0.463 8
7	1.267 2	1.329	1.356 6	1.318	1.391 2	1.382	1.371 0	1.386	0.257 1	0.367 0
8	1.208 7	1.337	1.324 2	1.304	1.363 0	1.370	1.322 1	1.375	0.235 0	0.326 9
9	1.024 6	1.386	1.167 9	1.404	1.004 4	1.460	1.152 9	1.428	0.271 1	0.411 7
10	0.911 0	1.349	1.123 0	1.471	1.156 8	1.528	1.066 4	1.420	0.297 9	0.425 9
11	0.890 0	1.356	1.086 3	1.518	1.182 7	1.660	1.090 3	1.526	0.315 0	0.435 0
12	0.980 0	1.323	1.178 3	2.231	1.197 2	2.324	1.078 9	1.473	0.335 4	0.482 5
平均	0.948	1.226	1.010 5	1.317	1.044 4	1.046	1.061 8	1.268	0.250 0	0.361 3

3.2.3 5种插值方法结果比较

分别利用5种插值方法对江苏省1957—2001年的年均气温进行栅格化,结果如图2所示.从图2中可以看出,江苏省的年均气温在13~16℃左右,5种年平均气温插值结果在空间上均呈现出明显的梯度变化.其中IDW插值法受气象台站空间分布的影响,极容易出现极值区域和极值中心偏差的现象,其生成的年均气温分布存在明显的较多小的“牛眼”,而样条函数插值法也会受到气象台站空间分布的影响,仅在江苏省东南地区的很小范围内出现极值区域,其余大体上与IDW、CK、OK、MLR插值结果趋于一致;CK与OK插值结果均可以较好反映江苏省年均气温的分布,但MLR插值结果在空间分辨精度与细节上体现的优势更明显;MLR插值法可以更精确地表现出温度因坡度、坡向、经度、纬度、海拔高度等的变化所体现出来的变化,而其他4种插值方法没有考虑到地形因子,因此插值结果不如MLR插值方法准确.就插值效果而言,应该为MLR>CK>OK>IDW>SPLINE,该结论与前人研究结论基本一致^[4-5,13],可以认为是合理的.因此基于DEM的多元线性回归空间插值方法MLR得到的江苏省年均气温的空间分布更接近于实际,比其他4种插值方法更适合该区域.

4 讨论与结论

由于气温与海拔高度、经度、纬度、坡度、坡向等地形要素的相关性显著,因此本文对比了基于DEM

的多元线性回归空间插值方法MLR与反距离权重法(IDW)、协同克里格法(CK)、普通克里格插值方法(OK)、样条函数法(SPLINE)的误差比较与插值效果比较,得到的结论如下:

1) 因为缺乏对地形因子的考虑,所以任何单一的一种确定性函数或地统计方法都不能对江苏地区的气温进行较准确的插值.如果要用单一的一种确定性函数或地统计方法对其插值,则其插值结果将与实际情况相差较远.江苏省各月和年平均气温与海拔高度、经纬度、坡度、坡向之间呈现显著的相关关系,各月的平均气温均随着海拔的升高而降低,但每月的递减率不同,夏季月平均气温的递减率一般大于冬季月平均气温的递减率.气温与纬度呈负相关,与坡向的相关性较小.气温主要受海拔高度、经纬度、坡度的影响.当综合考虑了地形因子后,气温与多因子的相关系数明显高于只考虑一种影响因子的相关系数.

2) 通过对比基于DEM的多元线性回归空间插值方法MLR与IDW、CK、OK、SPLINE的误差与插值精度,结果显示5种插值方法的精度顺序为MLR>IDW>CK>OK>SPLINE.因此考虑地形因子如经度、纬度、坡度、坡向、海拔高度的MLR插值方法具有较高的估算精度,其插值效果与江苏省各月和年的气温实际分布更为接近,优于其他4种插值方法.

3) 在进行气温空间插值时,需要根据研究区的地理特征,充分分析数据,最终选取最优的气温插值方法进行插值.除此之外,如若在插值模型中考虑到

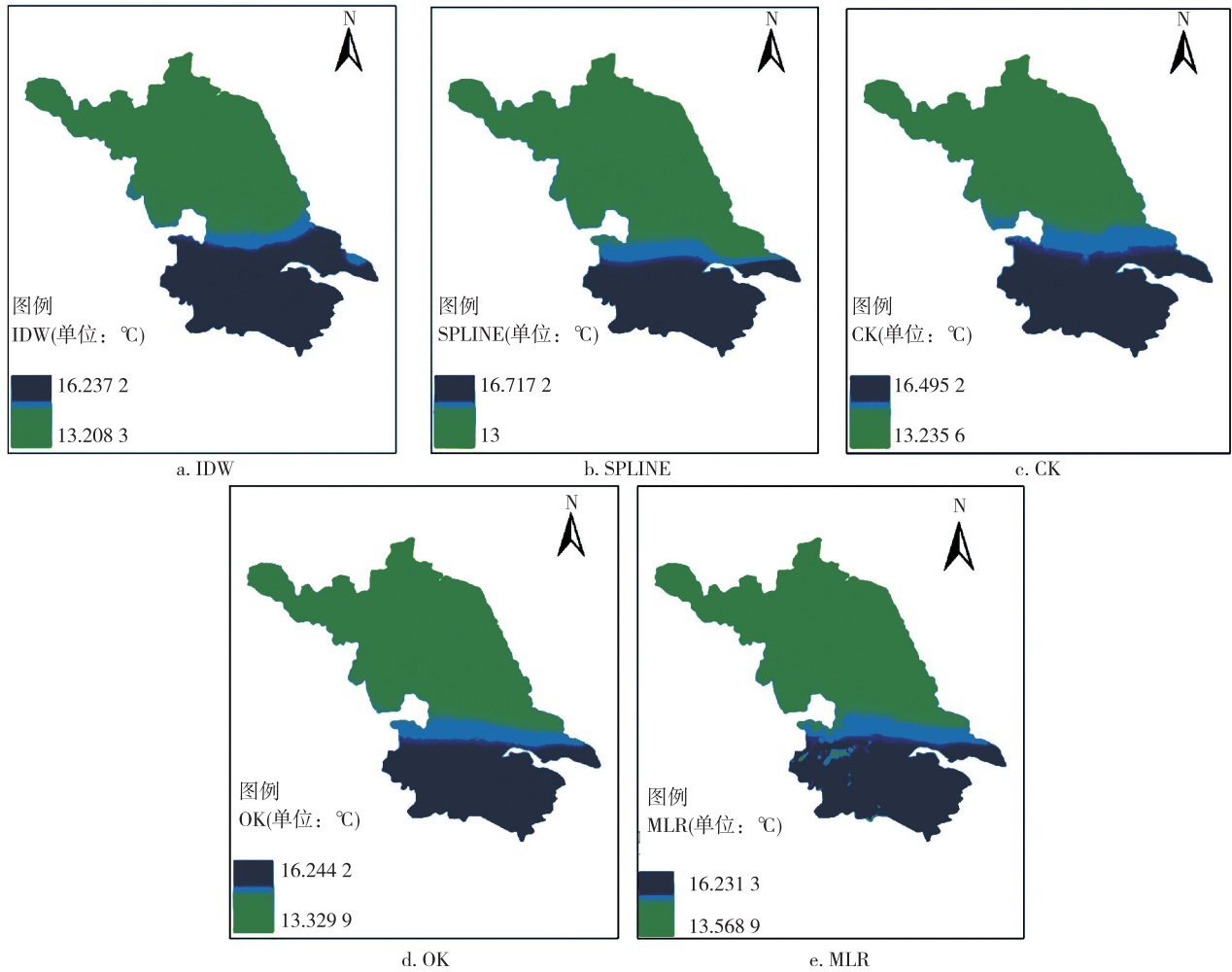


图 2 基于 5 种不同插值方法的江苏省年均气温分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual mean temperature based on five different interpolation methods

下垫面的类型、含水量、离海岸线的距离等影响因素,应该会得到更好的插值效果.

参考文献

References

- [1] 李莎,舒红,徐正全.利用时空 Kriging 进行气温插值研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(2):237-241
LI Sha, SHU Hong, XU Zhengquan. Interpolation of temperature based on spatial-temporal Kriging[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(2):237-241
- [2] 朱求安,张万昌,赵登忠.基于 PRISM 和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J].地理科学,2005,25(2):234-238
ZHU Qiu'an, ZHANG Wan'chang, ZHAO Dengzhong. Topography-based spatial daily precipitation interpolation by means of PRISM and Thiessen polygon analysis[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(2):234-238
- [3] 岳文泽,徐建华,徐丽华.基于地统计方法的气候要素空间插值研究[J].高原气象,2005,24(6):974-980
YUE Wenzhe, XU Jianhua, XU Lihua. A study on spatial interpolation methods for climate variables based on geostatistics [J]. Plateau Meteorology, 2005, 24(6):974-980
- [4] 蔡迪花,郭锐,李崇伟.基于 DEM 的气温插值方法研究[J].干旱气象,2009,27(1):10-17
CAI Dihua, GUO Ni, LI Chongwei. Interpolation of air temperature based on DEM over eastern region of Gansu [J]. Journal of Arid Meteorology, 2009, 27(1):10-17
- [5] 彭彬,周艳莲,高苹,等.气温插值中不同空间插值方法的适用性分析:以江苏省为例[J].地球信息科学学报,2011,13(4):539-548
PENG Bin, ZHOU Yanlian, GAO Ping, et al. Suitability assessment of different interpolation methods in the gridding process of station collected air temperature: A case study in Jiangsu province [J]. Journal of Geo-Information Science, 2011, 13(4):539-548
- [6] 王思维,刘勇,朱超洪,等.青海省逐日地面气温数据不同插值方法的对比[J].高原气象,2011,30(6):1640-1646

- WANG Siwei, LIU Yong, ZHU Chaohong, et al. Contrast on different spatial interpolation methods of daily surface temperature data in terrain complex area, Qinghai Province [J]. Plateau Meteorology, 2011, 30 (6): 1640-1646
- [7] 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):140-145
YOU Songcai, LI Jun. Study on error and its pervasion of temperature estimation [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(1): 140-145
- [8] 于贵瑞,何洪林,刘新安,等.中国陆地生态信息空间化技术研究(I):气象/气候信息空间化技术途径[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
- [9] 许民,王雁,周兆叶,等.长江流域逐月气温空间插值方法的探讨[J].长江流域资源与环境,2012,21(3):327-333
XU Min, WANG Yan, ZHOU Zhaoye, et al. Discussion of methods of spatial interpolation for monthly temperature data in the Yangtze River basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(3): 327-333
- [10] 周婷婷,陈文慧.基于 MODIS 数据和气象观测数据的气温空间插值方法比较[J].地理科学进展,2011,30(9):1143-1151
ZHOU Tingting, CHEN Wenhui. Comparison of the temperature spatial interpolation methods based on MODIS data and meteorological observation data [J]. Progress in Geography, 2011, 30(9): 1143-1151
- [11] 张莉莉,陶忠良,张京红.基于 GIS 海南岛气象要素空间插值法比较分析[J].热带农业科学,2012,32(4):57-61
ZHANG Lili, TAO Zhongliang, ZHANG Jinghong. Analysis and comparison of the spatial interpolation methods for climate factors in Hainan island [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2012, 32(4): 57-61
- [12] 刘宇,陈泮勤,张稳,等.一种地面气温的空间插值方法及其误差分析[J].大气科学,2006,30(1):146-152
LIU Yu, CHEN Panqin, ZHANG Wen, et al. A spatial interpolation method for surface air temperature and its error analysis [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 30(1): 146-152
- [13] 陈冬花,邹陈,王苏颖,等.基于 DEM 的伊犁河谷气温空间插值研究[J].光谱学与光谱分析,2011,31(7):1925-1929
CHEN Donghua, ZOU Chen, WANG Suying, et al. Study on spatial interpolation of the average temperature in the Yili river valley based on DEM [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(7): 1925-1929

Spatial interpolation of mean temperature of Jiangsu province based on DEM

WANG Li¹ WANG Peifa¹ LIU Aili¹ LI Ying² WU Hao¹ LUO Yanghuan¹

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Urban and Environmental Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387

Abstract Based on the monthly mean temperature data of 39 meteorological stations in Jiangsu Province from 1957 to 2001 and Digital Elevation Model (DEM) data with resolution of 90 m, a geographical knowledge aided spatial interpolation model was introduced to improve the spatial interpolation result. Comparative analysis was conducted between the knowledge based spatial interpolation and traditional methods of Inverse Distance Weighting (IDW), CoKriging (CK), Ordinary Kriging (OK), Spline function (SPLINE) using the cross validation results, it was concluded that the range of the monthly temperature lapse rate was about 0.5-0.9 °C/(100 m) in the research area, and the proposed interpolation method based on DEM was superior to other methods in both interpolation effect and accuracy. The monthly mean temperature distribution map with resolution of 90 m was established, which expressed the main trend of temperature changing with terrain and reflected the spatial variability of temperature.

Key words spatial interpolation; temperature; digital elevation model (DEM); Jiangsu