

基于 DEM 的伊犁河谷气温空间插值研究

陈冬花^{1,2}, 邹 陈³, 王苏颖¹, 李 虎^{1*}, 张新时^{4,5}

1. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007
2. 新疆卫星应用工程中心, 新疆 乌鲁木齐 830000
3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002
4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875
5. 中国科学院植物研究所, 北京 100093

摘 要 为了研究伊犁河谷地区气温空间变异性, 提出基于 DEM 修正的空间插值方法, 以 1961—2008 年伊犁河谷地区及周边 19 个气象站点月平均气温数据为基础, 分析多年平均气温与海拔的相关关系, 并与反距离权重法(IDW)、克里格插值法(Kriging)等传统方法计算结果进行对比。结果表明: 该研究区的气温直减率为 $0.564\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{ m}^{-1}$; 根据交叉验证比较结果发现, 基于 DEM 修正模型的精度明显优于其他两种方法, IDW 模型在对年均最低温度的模拟效果比 Kriging 模型略好。结合 DEM 数据, 该研究成了伊犁河谷地区 90m 空间分辨率的格网温度场, 其插值结果客观地表达了气温随地形变化的趋势, 反映了气温的空间变异性。

关键词 气温; 空间插值; Kriging; DEM; 伊犁河谷

中图分类号: O433.5 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)07-1925-05

引 言

气温是重要的气候资源, 它能反映气候条件的综合影响, 在一定条件下也能反映热量状况, 是生态、农业、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^[1,2]。气温数据的获取主要是通过分布在研究区范围内的气象观测站的长期连续观测所得。然而, 由于气象站点获取的数据只是有限、局部、离散的空间点数据, 要想得到区域尺度的参数, 只能利用空间内插和外推的方法进行气象要素的空间展布^[3,5]。但各站点纬度、海陆分布以及地势地貌与下垫面性质也不同, 造成测得气温在空间分布上具有明显差异, 并且气象站的观测气温值只能代表气象站所在地区的气温状况, 数量有限且空间分布不均, 在地形复杂的山区, 如何利用有限的气候资源, 并根据其空间分异规律, 推演无气象站点或少观测点区域的气候要素值, 是本文研究的重点。

空间插值是利用已知值求取未知值的一种方法^[6], 目前, 不少学者就空间插值的问题进行研究, 并应用于不同研究区^[1-9]。插值算法样条插值法、普通克立格法和逆距离权重法。大多数研究认为, 对山地气温分布而言, 海拔高度的影响是重要的, 考虑海拔高度的影响可以明显改善气温的模拟效果^[10]; 李军等^[11]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、普通克立格法和逆距离权重法对中国 623 个气象站 1961—2000 年 40 年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普通克立格法是最优空间插值方法; 赵登忠等^[12]利用 PRISM 模型基于 DEM、站点数据和其它空间数据图层内插了气象要素, 为比较其内插结果采用 Kriging 插值、Spline 插值等方法分别对降水和气温站点数据进行了空间插补, 并对插值结果进行了精度分析等。由于气象要素空间分布的复杂性, PRISM 插值法不能完全表达地表参数的空间异质性。

收稿日期: 2010-03-19, 修订日期: 2010-06-15

基金项目: 湿润亚热带山地生态地理过程教育部创新团队和国防科技工业民用专项科研技术研究项目(2006A01A0200), “资源与环境信息系统国家重点实验室”开放基金项目(2010KF004SA); 自治区科技攻关和重点科技项目(200733115); 公益性科研院所基本科研业务费(ZDM201005); 国家自然科学基金项目(41005059)资助

作者简介: 陈冬花, 女, 1981 年生, 新疆卫星应用工程中心工程师 e-mail: chendonghua1981@sina.com

* 通讯联系人

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

伊犁河谷位于欧亚大陆桥经济带的西端, 天山山脉西部, 北、东、南三面环山, 北纬 $42^{\circ}10'19'' \sim 44^{\circ}50'8.33''$, 东经 $80^{\circ}9'30'' \sim 84^{\circ}56'17.78''$, 是我国西部地区重要的中亚交通和古丝绸之路的北道要冲, 是新疆和全国向西开放的重要商埠和国际大通道。伊犁谷地地形、地势、地貌均较复杂, 由于地形海拔的差异, 水热分布不均, 区内可分为雪线以上及雪线以下的山地地带、低山丘陵及高台地的低山地带、山前洪积冲积平原及河谷平原的平原地带三大类。根据 DEM 数据分析可得, 山地地带面积占 65.97%, 低山地带面积占 15.52%, 平原地带面积占 18.49%, 在气候、植被、土壤和生物资源等的分布充分显示了垂直地带性的特点。

1.2 气象数据的获取与整理

本文收集了伊犁河谷地区及其周边范围内共计 19 个气象观测站点从 1961—2008 年近 50 年的月平均气象数据, 包括月平均气温、月最高气温、月最低气温等。由于伊犁河谷地区地形复杂, 气象站点数量有限, 但站点空间分布相对均匀(图 1)。

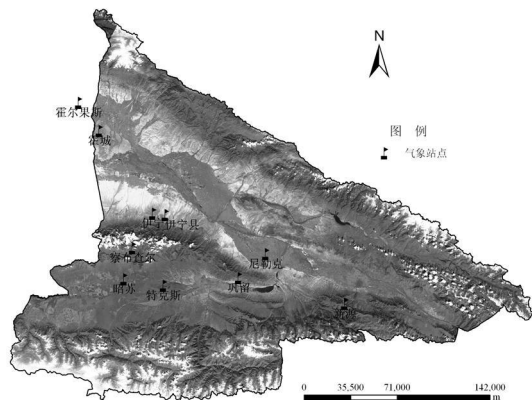


Fig 1 Distribution map of the main meteorological stations in Yili River valley

1.3 数字高程模型(DEM) 的建立

DEM 数据来源于美国地球资源观测系统数据中心的共享数据, 空间分辨率为 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$, 通过配准、裁切后, 投影为 Albers 投影, 基准面为 WGS-84, 两条标准纬线分别为 25°N 和 47°N , 中央经线为 105°E , 椭球体为克拉索夫斯基(Krasovsky)。

2 研究方法

2.1 经典的空间插值模型

2.1.1 反距离加权法(inverse distance weight, IDW)

根据地理学的第一定律, 即距离越近的两个事物, 它们的属性就越相似, 反之这种相似性随着距离的增大而减小。在 IDW 的插值计算中, 是以插值点与样本点的距离为权重,

插值距离越靠近样本点所赋予的权重就越大, 其贡献与距离成反比^[13]。

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p} \bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}$$

式中, Z 为估计值, n 为用于插值的气象站点的数量, Z_i 为样本点 i 的实测值, d_i 为插值点与第 i 个样本点之间的欧式距离, p 为距离的幂, 它的选择标准是平均绝对误差最小。

2.1.2 Kriging 插值法

普通克立格法(ordinary Kriging, 简称 OK), 来源于地统计学, 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^[14]。

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

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。

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

选取 λ_i , 使 Z 的估计无偏, 并且使方差 σ_e^2 小于任意观测值线性组合的方差。

根据无偏和最优的条件, λ 和 σ_e^2 的解为

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i, x_j) + \phi = Y(x_j, x_0) \quad \forall j$$

$$\sigma_e^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i, x_0) + \phi$$

式中, ϕ 是极小化处理时的拉格朗日乘数; $Y(x_i, x_j)$ 是随机变量 Z 在采样点 x_i 和 x_j 之间的半方差(semi-variance); $Y(x_i, x_0)$ 是 Z 在采样点 x_i 和未知点 x_0 之间的半方差。这些量都从变异函数(variogram) 得到, 它是对实验变异函数的最优拟合^[15, 16]。在 OK 插值法中, 采用球状模型(马特隆模型), 其半变异模型表达式为

$$Y(r) = \begin{cases} 0 & r = 0 \\ C_0 + C \left[\frac{3}{2} \frac{r}{a} - \frac{1}{2} \frac{r^3}{a^3} \right] & 0 < r \leq a \\ C_0 + C & r > a \end{cases}$$

其中, C_0 为块金常数, $(C_0 + C)$ 为基台值, C 为拱高, a 为变程。

2.2 基于 DEM 修正的插值方法

根据气象站点提供的实测数据估算未知点的温度数据, 在地形复杂的山区仅仅利用上述的空间插值方法结果是不可靠的^[13, 17, 18]。基于 DEM 修正插值方法, 充分考虑温度数据水平和垂直地带性空间分布的特征, 对温度插值结果会产生很大的影响^[19]。

2.2.1 气温直减率

气温随海拔上升, 一般呈递减趋势, 但这样的趋势随不同区域或不同季节而有所不同。本文利用 SPSS 软件, 在综合分析伊犁河谷全部气象站点温度数据的基础上, 对 19 个气象站点月平均气温与海拔高度的关系进行了一元线性回归分析(表 1), 结果表明利用海拔高度修正能够很好的拟合研究区内的平均气温, 复相关系数都高于 0.5; 进而计算 Pear-

son 相关系数, 从而获得研究区内平均气温随海拔高度变化的直减率(表 2)。由此可以得出, 年平均气温随海拔高度变化的气温直减率为 0.564/100 m, 与全国或其他区域气温直减率并不相同, 从而进一步得出不同区域海拔与气温的变化趋势不尽相同。伊犁河谷地区各气象站点的海拔均在 850 m 以上, 因此若不进行相应的地形修正, 可能会出现 2~5℃ 的误差。

	回归系数		复相关系数 (<i>R</i> 值)	F 检验	显著水平 (Sig)
	常数	海拔			
年均温	1 570.635	-78.954	0.564	7.945	0.012
年均最高气温	1 790.139	-57.633	0.618	4.935	0.021
年均最低气温	1 142.068	-98.21	0.654	3.739	0.035

2.2.2 基于 DEM 的平均气温修正

当考虑海拔高度对平均气温的影响时, 任意一点的平均温度可以表示为

$$T = T_0 - A \times H$$

式中, T_0 为订正到海平面后的温度, H 为海拔, A 为平均环境的气温直减率, 见表 2。

Table 2 Correlation coefficient of elevation and average temperature (°C)	
平均气温	海拔
年均温	-0.564
年均最高气温	-0.466
年均最低气温	-0.636

根据伊犁河谷地区的气温直减率, 将平均气温数据修正到海平面的高度。具体地, 先根据各气象站点的高程资料将实测气温订正到海平面高度, 再利用 OK 法对平均气温的点状修正数据进行插值, 将生成的温度场栅格数据再结合 DEM 进行地形修正, 并最终生成具有地形特征的伊犁河谷温度场模拟数据(栅格分辨率统一为 90 m)。基于 DEM 的修正公式为

$$T_{dem} = T_{ok} - A \times H_{dem}$$

式中, T_{dem} 为经过 DEM 修正后的温度场模拟结果, T_{ok} 为利用 OK 法生成的插值结果, H_{dem} 为 DEM 栅格数据^[20]。

2.3 模型验证

在对气象数据进行空间插值时, 交叉验证(cross validation)是目前应用最为广泛的精度评价方法, 它可以准确的验证不同插值方法之间的相对精确度。假设每一个气象站点的实测值未知, 利用周围若干已知站点插值算法进行模拟, 通过计算所有站点模拟值与实测值之间的差值的平均值作为交叉验证的结果。一般地在比较不同插值方法的模拟精度时, 通常采用平均绝对误差(mean absolute error, MAE)、平均相对误差(mean relative error, MRE)和平方根误差(root mean squared error, RMSE)作为评价插值效果的标准。

利用反距离权重法(IDW)、普通克里格法(OK)和在 OK 法基础上基于 DEM 修正的插值法对伊犁河谷 1961-2008 年的年均温、年均最高温度、年均最低温度进行空间插值。交叉验证的结果表明(表 3), 对伊犁河谷年均温的模拟结果, Kriging 模型的 MAE 和 RMSE 的值都小于 IDW 模型, 而对年均最高温度的插值精度, IDW 模型的 MAE、MRE 值都小于 Kriging 模型, IDW 模型对年均最低温度的模拟相比 Kriging 模型有较高的模拟精度; 但总体上基于 DEM 修正模型在针对平均气温的空间插值精度都优于其他两种模型。基于 DEM 修正模型充分考虑了气温的空间分布规律, 较好的反映了伊犁河谷地区受地形因素影响的温度场分布特征。

Table 3 Cross-validation results of different interpolation methods (°C)				
	模型	年均温	年均最高温度	年均最低温度
MAE	IDW 模型	2.205	2.132	2.368
	Kriging 模型	2.162	2.192	2.454
	基于 DEM 修正模型	1.243	1.286	1.481
MRE	IDW 模型	0.317	0.147	1.276
	Kriging 模型	0.324	0.152	1.600
	基于 DEM 修正模型	0.092	0.065	0.193
RMSE	IDW 模型	2.830	3.049	2.828
	Kriging 模型	2.723	3.048	2.937
	基于 DEM 修正模型	1.523	1.792	1.896

3 结果与分析

从基于 DEM 修正插值方法的伊犁河谷平均气温的空间分布结果来看(图 1—图 3), 年均温范围为 -15.189~10.610℃, 年均最高温度范围为 -4.961~17.493℃, 年均最低温度范围为 -24.205~4.881℃。伊犁河、特克斯河等河流两岸的平均气温都高于其他地区, 说明地形因素对平均气温的影响比较大, 更充分地体现了气温分布的空间差异性。

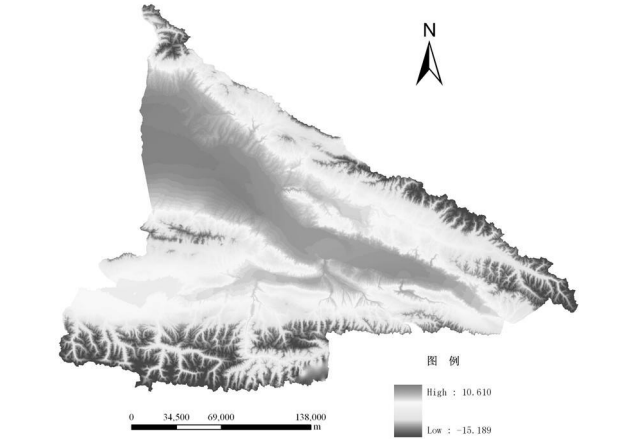


Fig 2 Map of mean annual temperature with DEM revised interpolation method in Yili River valley

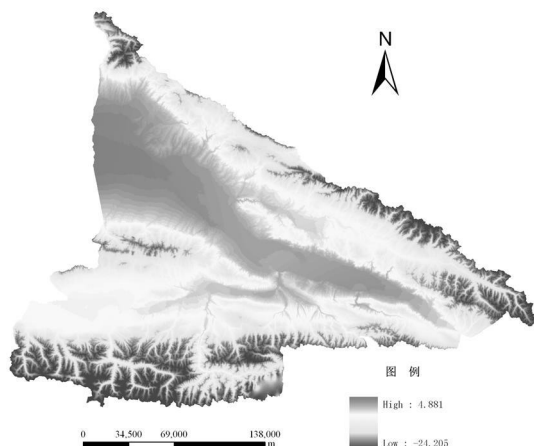


Fig 3 Map of mean annual maximum temperature with DEM revised interpolation method in Yili River valley

根据伊犁河谷地区平均气温与海拔的相关性分析,表明二者之间具有明显的相关性,但由于气温随海拔高度的递减趋势存在差异,介于 $0.466 \sim 0.636 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ m}^{-1}$ 之间,因此在利用 DEM 对平均气温进行修正前,气温直减率应根据实测值与海拔之间的相关分析的系数来确定。针对年均温、年均最高温度和年均最低温度,经典插值模型模拟得出的结果误差相对较大,IDW 模型、Kriging 模型对年均最高温度和年均最低温度的模拟精度各有优势;与 IDW 模型、Kriging

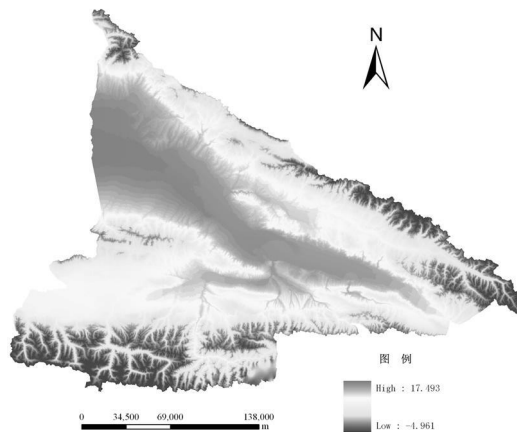


Fig 4 Map of mean annual minimum temperature with DEM revised interpolation method in Yili River valley

模型的插值效果相比,基于 DEM 修正的插值方法充分考虑了地形对气温空间分布的影响,插值精度有了明显的提高。

总体来说,山地地形的气温空间分布非常复杂,基于 DEM 修正的插值模型并不能完全表达地形对气温空间分布的影响特征,但从一定程度上反映了气温随海拔垂直高度变化的趋势。根据交叉验证的结果,表明基于 DEM 修正的插值模型精度较高,但仍需增加站点数来提高模型模拟效果,同时,在模型中引入其他地形因素如坡度、坡向等,将能更加精确地表达地形因素对气温空间变异性的影响。

References

- [1] YU Gui-rui, HE Hong-lin, LIU Xin-an, et al(于贵瑞, 何洪林, 刘新安, 等). Journal of Natural Resources(自然资源学报). 2004, 19(4): 537.
- [2] Zhao C Y, Nan Z G, Cheng G D. Ecological Modeling, 2005, 189: 209.
- [3] LIAO Shun-bao, LI Ze-hui(廖顺宝, 李泽辉). Meteorological Science and technology(气象科技), 2004, 32(5): 352.
- [4] ZHANG Hong-liang, NI Shao-xiang, DENG Zi-wang, et al(张洪亮, 倪绍祥, 邓自旺, 等). Journal of Mountain Research(山地学报), 2002, 20(3): 360.
- [5] CHEN Jia-bing, LI Hu+guo, ZHENG Da-xian, et al(陈加兵, 励惠国, 郑达贤, 等). Journal of Subtropical Resources and Environment(亚热带资源与环境学报), 2007, 2(1): 1.
- [6] Lam N S. International Encyclopedia of Human Geography, 2009, 369.
- [7] Krajewski W, Viaro U. Control and Cybernetics, 2009, 38(2): 543.
- [8] Daly C, Gibson W P, Taylor G H, et al. Climate Research, 2002, 22: 99.
- [9] Zhou S Q, Xue G Y, Gong P. Journal of Geographical Sciences, 2005, 15(2): 223.
- [10] YOU Song-cai, LI Jun(游松财, 李军). Journal of Natural Resources(自然资源学报), 2005, 20(1): 140.
- [11] LI Jun, YOU Song-cai, HUANG Jing-feng(李军, 游松财, 黄敬峰). Ecology and Environment(生态环境), 2006, 15(1): 109.
- [12] ZHAO Deng-zhong, ZHANG Wan-chang, LIU San-chao(赵登忠, 张万昌, 刘三超). Scientia Geographica Sinica(地理科学), 2004, 24(2): 205.
- [13] LIN Zhong-hui, MO Xing-guo, LI Hong-xuan, et al(林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等). Acta Geographica Sinica(地理学报). 2002, 57(1): 47.
- [14] Kevin J, Jay M H, Konstantin K, et al. Using ArcGIS Geo-Statistical Analyst. CA USA, Redlands, 2001. 116.
- [15] Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resource Evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 483.
- [16] LI Xin, CHENG Guo-dong, LU Ling(李新, 程国栋, 卢玲). Plateau Meteorology(高原气象), 2003, 22(6): 565.
- [17] Bennett R J. Ann. Assoc. Am. Geogr. Ocean, 1984, 27(3): 521.
- [18] Willmott C J, Kellji M. Application. Meteorology., 1999, 34: 2557.
- [19] PAN Yao-zhong, GONG Dao-yi, DENG Lei, et al(潘耀忠, 龚道溢, 邓磊, 等). Acta Geographica Sinica(地理学报), 2004, 59(3):

366.

[20] MO Sheng-guo, ZHANG Bai-ping(莫申国, 张百平). Journal of Mountain Science(山地学报). 2007, 25(4): 406.

Study on Spatial Interpolation of the Average Temperature in the Yili River Valley Based on DEM

CHEN Dong-hua^{1,2}, ZOU Chen³, WANG Si-ying¹, LI Hu^{1*}, ZHANG Xin-shi^{4,5}

1. Department of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2. Xinjiang Engineering Center of Satellite Applications, Urumqi 830000, China

3. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China

4. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

5. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract On the basis of the monthly mean temperature data of 19 meteorological stations from 1961 to 2008 in the Yili River Valley, the correlation between mean annual temperature and elevation was analyzed to get access to the temperature lapse rate of 0.564 °C/100 m. The main purpose of this study was to apply a spatial interpolation method based on DEM and compare with the traditional ones of inverse distance weight (IDW) and Kriging methods. According to the cross-validation results, it was concluded that the accuracy of interpolation method based on DEM was superior to the other two methods. Combined with DEM data, the mean annual temperature distribution map with 90 m resolution was established and it expressed the main trend of temperature changing with terrain and reflected the spatial variability of temperature.

Keywords Temperature; Spatial interpolation; Kriging; DEM; Yili River Valley

(Received Mar. 19, 2010; accepted Jun. 15, 2010)

* Corresponding author