

黄土高原中游降雨量的空间插值方法研究

曹晓敏¹, 刘志红², 张晓萍³

(1. 青海省气象局, 西宁 810001; 2. 成都信息工程学院 资源环境学院, 成都 610225;
3. 中国科学院 水利部 保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:在地统计学和地理信息系统支持下, 采用多种插值方法对黄土高原中游降水量进行了空间插值研究。结果表明: 地统计学方法优于传统的反距离加权插值法、径向基函数插值法, 对不同数目气象站点的插值相对误差较稳定。通过空间插值得到了黄土高原中游降雨量分布图, 由该降水量分布图可知, 黄土高原中游降雨量总体呈现西北低、东南高的态势, 界限很明显。

关键词:黄土高原中游; 降雨量; 空间插值

中图分类号: P426.613

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0217-05

Study on Spatial Interpolation Method for Precipitation in the Middle of the Loess Plateau

CAO Xiao-min¹, LIU Zhi-hong², ZHANG xiao-ping³

(1. Meteorological Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 7121001, China)

Abstract: With the support of geo-statistics and geographic information systems, the spatial interpolation research on precipitation in the middle part of the Loess Plateau was carried out through using a variety of interpolation methods. The following preliminary conclusions can be gained. The geo-statistical method is better than the traditional inverse distance weighted interpolation and radial basis function interpolation method, and interpolation was implemented with a compared stable relative error in the meteorological stations of different numbers. Through spatial interpolation in the Loess Plateau, a rainfall distribution map can be made, depicting that the overall rainfall in the middle of the Loess Plateau turns on the trend of low in northwest and high in southeast, and the boundaries are obvious.

Key words: the middle of the Loess Plateau; rainfall; spatial interpolation

黄土高原位于中国中部偏北, 黄河中游地区。总面积 40 万 km²。这一地区自然资源尤其是煤炭和天然气资源丰富。在气候变化和人类活动的共同作用下, 该区已成为世界上水土流失较严重的地区之一。降水量作为干旱半干旱地区植被生长的主要限制性因子, 直接决定着多沙粗沙区植被恢复重建成果, 进而影响到对水土流失的防治作用。获取精确的降雨量空间分布特征的方法之一是建立高密度的气象站点。然而, 由于经济、技术等原因, 气象站点的数量是有限的, 而定点观测到的数据大多不能直接用于其他地点, 更不能代替某一较大面积上的平均值。在实际工作中, 研究人员将地统计学方法与地理信息系统相

结合, 通过对已知站点气象数据进行空间插值, 实现由点数据到面数据的转化, 生成研究区气象要素的空间分布图, 则是一种有效的解决方法。因此, 本研究利用黄土高原中游已知的气站站点的降水资料进行区域降水量的空间插值, 探讨气象站点密度与布局对插值结果的影响, 为黄土高原环境变化研究及区域环境治理提供参考和指导。

1 资料来源与研究方法

数据来自黄土高原中游地区 58 个气象台(站), 数据年限为 28 a(部分观测站数据为 20 a), 1981—2008 年各气象台(站) 28 a 的月降雨量值。用 Arc-

函数和交叉变异函数存在,并定义如式(4)。

$$\begin{cases} E[Z_K(x)] = m_K \\ C_{KK}(h) = E[Z_K'(x)Z_K(x)] - m_K m_K \\ \gamma_{KK'}(h) = \frac{1}{2} E\{[Z_{K'}(x)] - [Z_{K'}(x+h)] \cdot [Z_K(x)] - [Z_K(x+h)]\} \end{cases} \quad (4)$$

假设空间估计值 Z_x^* 由两个区域化变量 $Z(x_i)$ 和 $Y(x_j)$ 共同决定,下面给出两个变量的协同克里格空间插值计算公式如式(5)。

$$Z_x^* = \sum_{i=1}^n a_i Z(x_i) + \sum_{j=1}^m b_j Y(x_j) \quad (5)$$

式中: a_j 和 b_j 分别是两个区域化变量的权重值。则整理后的协同克里格线性方程组表达式如式(6)。

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_i C(Z_i, Z_j) + \sum_{i=1}^m b_i C(Y_i, Z_j) + \mu_1 = C(Z^*, Z_j) \\ \sum_{i=1}^n a_i C(Z_i, Z_j) + \sum_{i=1}^m b_i C(Y_i, Z_j) + \mu_2 = C(Z^*, Z_j) \\ \sum_{i=1}^n a_i = 1 \\ \sum_{j=1}^m b_j = 0 \end{cases} \quad (6)$$

3 黄土高原中游多年平均降雨量的空间插值

3.1 站点数量与插值方法的插值精度比较

为了检验插值精度以及比较各种方法的优劣,选取相邻的不同气象站点数目进行反距离加权插值法、径向基函数插值法和普通克里格插值法,选用 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 个站点数据,分别对年降雨量进行空间插值比较分析。从中选取基于降雨量的各种空间插值最合适的站点数目。

采用交叉验证法(cross-validation)来选择气象因子的最优插值方法。用相对平均误差(RME)作为验证几种空间插值方法的标准。相对平均误差是绝对平均误差(RME)与站点实测值的平均值的百分比,见表 1。

表 1 不同站点数的相对平均误差 %

N	IDW	RBF	OK
3	12.58	12.41	11.23
5	12.35	11.77	11.21
10	12.32	11.40	11.20
15	12.58	11.32	11.22
20	12.76	11.40	11.22
25	12.90	11.40	11.22
30	13.03	11.40	11.23

注:N 表示参与该点空间差值的气象站点数。

由表 1 看出:反距离加权插值法、径向基函数插值法和普通克里格插值法对年降雨量适宜空间插值的气象站点数分别为 10 个、15 个和 10 个,其相对平均误差分别为 12.32%、11.32%和 11.2%,对年降雨

量插值的较优程度是 $OK > RBF > IDW$ 。而普通克里格法对不同数目气象站点的插值相对误差较稳定。

从以上还可以得到:1)不同的插值方法对同一气象要素适合空间插值的站点数目不一定相同;2)插值的站点数目不同,其插值结果的精度不同;该结论与朱会义等^[1]的研究相一致。3)空间插值时,选择合适的相邻站点数目,插值结果的精度最高,而不是站点越多,插值精度越高^[2]。该结论与朱会义等^[1]的结论不同。

3.2 反距离加权插值、径向基函数插值、普通克里格插值比较

根据半变异函数理论模型,利用 ArcMap 9.2 中的地统计学模块对黄土高原中游 1981—2000 年 20 a 年平均降雨量进行插值,得到的插值结果如图 2、图 3、图 4 所示。

1 km × 1 km 的年降雨量的栅格空间数据库图 2—4 分别给出了不同方法插值出的年平均降雨量。从 3 幅图中可看出,降雨量受地形的影响较大。特别是对位于长城西北侧和东南侧边坡地区的陕西省的影响尤为明显。而我们的样本点,即各个气象站点的海拔高度差异显著。3 种插值均能反映出我国黄土高原中游年降雨量的空间分布特征是从东南沿海到西北地区年降雨量逐渐减少,呈东高西低的梯度变化。

3.3 普通克里格插值、协同克里格插值比较

为了检验插值精度以及比较两种方法的优劣,从 58 个样本点中随机抽取 5 个观测站作为检验点,进行交叉验证,其中对多年平均降雨量的验证结果如表 2 所示,结果显示插值精度较好。从总体上比较,普通克里格插值结果要好于协同克里格插值^[3]。

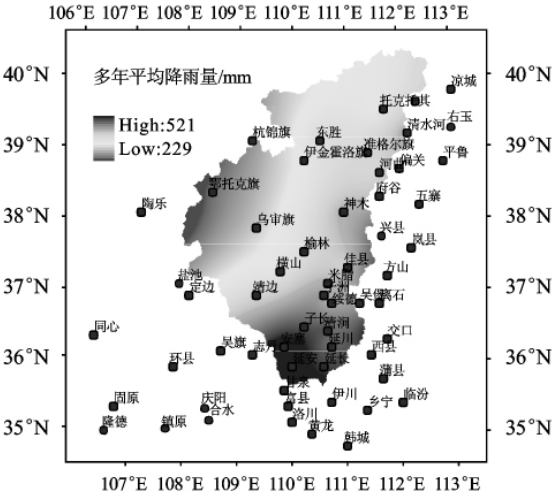


图 2 普通克里格插值栅格图

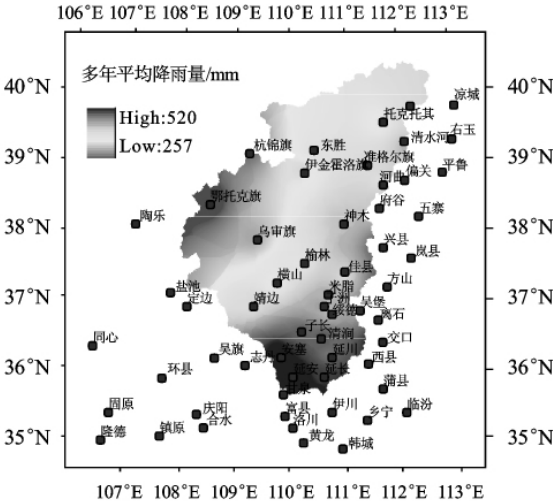


图 3 反距离加权插值栅格图

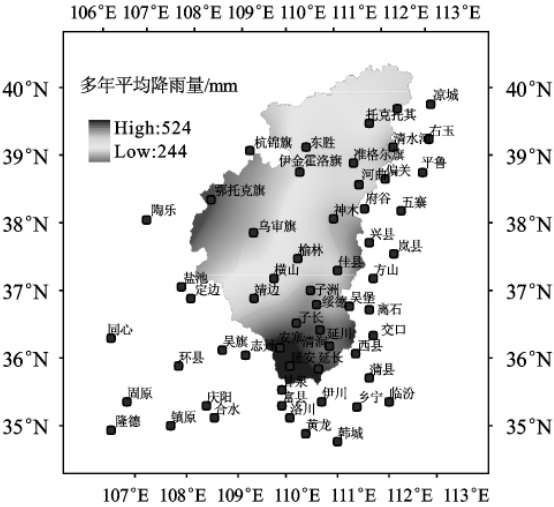


图 4 径向基函数插值栅格图

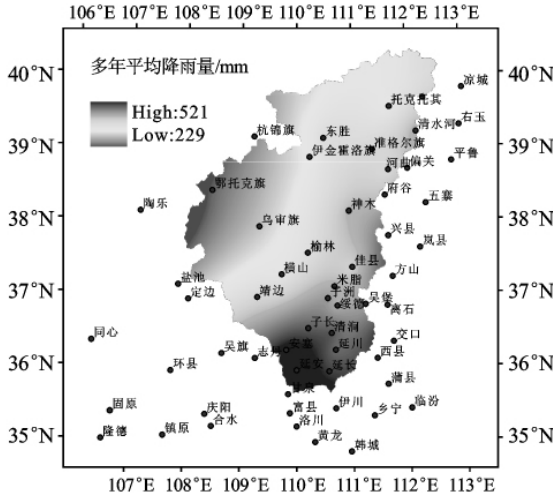


图 5 多年平均降雨量协同克里格栅格图

图 5 为协同克里格插值的结果,在总体空间格局上,图 2 和图 5 是相近的。协同克里格的空间插值中加入了高程因子,表现了因高程的影响而导致的局域变化。但是由于协同克里格考虑了高程的影响,各个气象站点的海拔高度差异导致局域的变化明显,空间变化相对突破单一的带状过渡,局域性、复杂性增强。

表 2 多年平均降雨量两种插值结果的交叉验证

点号	检验点经纬度		观测值	普通克里格插值				协同克里格插值			
	L1	L2		预测值	标准偏差	偏差	标准化误差	预测值	标准偏差	偏差	标准化误差
1	-16343.8	3874890	276	305.17	64.24	29.17	0.45	314.69	64.53	38.69	0.60
2	-169297	3954260	493	443.92	53.30	-49.1	-0.92	409.22	41.94	-83.8	-2.00
3	41432.2	4202290	432	440.07	41.58	8.071	0.19	438.14	39.95	6.145	0.15
4	-131298	4121900	161	259.88	70.31	98.88	1.41	268.47	66.81	1075	1.61
5	149536	3989040	472	505.67	48.31	33.67	0.70	524.19	50.03	52.19	1.04

由表 2 看出:通过克里格空间插值得到了黄土高原中游各个网格的多年平均降雨量数值。结果显示:多年平均降雨量在空间上都呈现明显的梯度变化,且空间变化幅度比较大。降雨量从东南部向西北部逐渐减少,从东南向西北逐渐增加。

上述两种插值方法虽然可以反映气候要素的总体分布格局,但插值精度并不高,因为是在黄土高原

中游范围内,只有 58 个样本点,而且这些样本点在空间分布上也是不均匀的。此外,相邻的两个样本点,海拔相差达上百米。观测设备以及观测人员水平的参差不齐,观测精度也不一致。所以在小范围内的插值精度仍然较差,特别是样本点较少或缺少样本点的地区,例如西北端的地区。所以除了精确的插值方法外,合理的空间抽样和一致的观测精度对精确插值也是必不可少的。

4 结 语

(1)基于地统计的插值方法,根据实验方差最小的原理,选择合适的半变异函数理论模型,进行空间插值,能够很好地模拟区域化变量的空间连续分布格局。克里格插值由于充分考虑了区域化变量的特性,经过检验发现较传统方法,其插值精度大大提高。另外,对比普通克里格法和协同克里格法,后者增加了高程对降水量的影响因素,理论上说在空间上更为合理,但此次插值的精度表现为普通克里格法要略高于协同克里格法。

(2)采用地统计方法虽然在总体上能够较好地反映气候要素的空间分布格局,但是由于理论模型的拟合优度、研究区域和数据(研究区域范围过大,地形变化过于复杂、形状不规则、样本数量有限、空间分布不均匀、样本测量精度)等问题,导致上述两种方法空间插值的精度还不高。所以进行地统计插值结果检验时,除了模型本身外,要充分考虑研究区域的特征,还可以通过增加样本数量,提高观测精度以及改进半变异函数理论模型等方式进一步提高插值精度。

参考文献:

[1] 朱会义,贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性[J]. 地

~~~~~

[4] 宝音陶格涛,白永飞. 农牧交错区面临的问题及其解决的途径[J]. 应用生态学报,2004,15(2):245-248.

[5] 李德锋. 内蒙古多伦典型草原物种多样性与生产力关系对降水变化的响应[D]. 兰州:甘肃农业大学,2005.

[6] 杨持,刘颖茹,刘美玲,等. 多伦县沙质草原植被的变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(4):393-697.

[7] 丁勇,牛建明,杨持. 北方草地退化沙化趋势、成因与可持续发展研究[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2006,37(5):580-586.

[8] 阿如早,杨持. 近 50 年内蒙古多伦县气候变化特征分析[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2007,38(4):434-438.

~~~~~

(上接第 216 页)

[4] Nunes C, Auge J I. Land use and land cover change (LUCC): strategy[R]. Stockholm, Sweden and Bonn, Germany;IGBP Report and IHDP Report,1999.

[5] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟:一个农牧过渡地区经济地理调查[J]. 地理学报,1953,19(1):43-60.

[6] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展,2002,17(5):739-747.

球科学进展,2004,23(3):34-21.

[2] Booth T H. Mapping regions climatically suitablefor particular tree species at the global scale [J]. Forest Ecology and Management,1990,36:172601.

[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):974-979.

[4] Lamn. Spatial interpolation methods;a review[J]. The Amercian Cartographer,1983,10(2): 129-149.

[5] Mat heron G. Principles of Geostatistics [J]. Economic Geoogy,1963,58:1246-1266.

[6] Issaks E H R M Srivastava. An introduction to applied geostatistics[M]. New York:Oxford Univ. Press,1989.

[7] 刘志红, Tim R, McVicar, 等. 基于 5 变量薄盘光滑样条函数的区域蒸发量空间插值[J]. 中国水土保持科学, 2006,4(6):23-30.

[8] 刘志红,刘文兆,李锐. 基于 3S 技术的区域蒸散研究进展[J]. 中国水土保持科学,2006,4(3):117-122.

[9] 刘志红,Tim 等. 专用气候数据空间插值软件 ANUSP-LIN 及其应用[J]. 气象,2008,34(2):18-23.

[10] 刘志红,Tim K, Mcvicar, 等. 基于 ANUSPLIN 的时间序列气象要素空间插值[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(6):227-234. .

[11] 汪帮稳,杨勤科,刘志红. 基于 DEM 和 GIS 的修正通用土壤流失方程地形因子值的提取[J]. 中国水土保持科学,2007,5(2):18-23.

~~~~~

[9] 阿如早,杨持. 内蒙古多伦县沙漠化驱动因素影响的累加效应分析[J]. 中国沙漠,2007,27(6):936-941.

[10] 阿如早,杨持. 内蒙古多伦县土地沙漠化景观格局变化特征[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2520-2525.

[11] 尤联元,卢金发,陈浩,等. 以防沙治沙为目标的土地利用方式调整:以内蒙古自治区多伦县为例[J]. 地理研究,2003,22(6):680-686.

[12] 宝音陶格涛,白永飞. 农牧交错区面临的问题及其解决的途径-以内蒙古多伦为例[J]. 应用生态学报,2004,15(2):245-248.

[13] 王涛,吴薇,薛嫒,等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报,2004(2):203-212.

~~~~~

[7] Tumer N B L, Skole D, Saderson S. Land use and land cover change: science/research plan[R]. IGBP Report, HDP Report. Stockholm and Geneva, 1995.

[8] 莫宏伟,任志远,谢红霞. 延安市城郊区土地利用动态与生态效应变化[J]. 水土保持学报,2004,18(4):130-133.

[9] 温仲明,焦峰,张晓萍,等. 黄土丘陵区纸坊沟流域 60 年来土地利用格局变化研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):125-128.