

# 不同插值方法模拟四川省逐月降水量的对比分析

李艳<sup>1</sup>, 朱军<sup>1,2</sup>, 胡亚<sup>1,2</sup>, 张恒<sup>1,2</sup>

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 成都 611756;

2. 西南交通大学 高速铁路运营安全空间信息技术国家地方联合工程实验室, 成都 611756)

**摘要:**我国西部地区气象观测点较少,致使一些地区的降水信息无法直接获取,采用空间插值方法来推测相邻地区的降水量是重要手段之一。针对四川地区观测点少的现状,结合空间分辨率为 90 m×90 m 的数字高程数据(DEM),分别采用常规反距离加权插值(IDW)、考虑各点高程的反距离加权插值(IDW)、局部多项式(LPI)、普通克里金(OK)、协同克里金(CK)对每个月降水量和 1 年平均每月降水量进行插值,并采用交叉检验法来验证插值结果,将平均误差(MAE)和均方根误差(RMS)作为评估插值效果的标准。结果表明:考虑高程的 IDW 插值误差小于常规 IDW,可明显提高插值精度,克里金方法平均误差和均方根误差较小,优于反距离加权和局部多项式插值,在两种克里金方法中,与数字高程模型结合的 CK 方法的插值效果更好,更加适合四川省山区地形降水量数据的插值。

**关键词:**空间插值; 降水量模拟; 交叉验证; 误差分析

中图分类号:P208; P332

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0151-04

## Comparison Analysis on Different Spatial Interpolation Methods to Simulate Monthly Precipitation in Sichuan Province

LI Yan<sup>1</sup>, ZHU Jun<sup>1,2</sup>, HU Ya<sup>1,2</sup>, ZHANG Heng<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong

University, Chengdu 611756, China; 2. State-Province Joint Engineering Laboratory of

Spatial Information Technology for High-Speed Railway Safety, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** The precipitation information can't be obtained directly in some areas because the meteorological observation points are few in the western region of China. Using the spatial data interpolation methods to estimate the precipitation in the adjacent areas is one of the important means. For the less observation points in Sichuan Province, we combine with the digital elevation model (DEM) of the spatial resolution of 90 m×90 m, and use the ordinary of inverse distance weighted interpolation (IDW), the inverse distance weighted interpolation of considering each point elevation (IDW), local polynomial interpolation (LPI), the ordinary Kriging interpolation method (OK) and the collaborative Kriging interpolation method (CK) to interpolate the every monthly and annual average precipitation in Sichuan Province. The cross checking method was used to verify the results of interpolation, and the average error (MAE) and the root mean square error (RMS) were used as the criteria for evaluating the five interpolation methods. The results show that the IDW interpolation of considering the points elevation is more precise than the ordinary IDW, can significantly improve the accuracy of interpolation, Kriging average error and root mean square error is smaller than IDW and local polynomial interpolation, the collaborative Kriging has better interpolation results because of considering the influence of digital elevation model on rainfall. Therefore, collaborative Kriging is more suitable for spatial interpolation of rainfall data in mountain area.

**Keywords:** spatial interpolation; precipitation simulation; cross validation; error analysis

水资源是人类赖以生存和生产的最基本物质基础,降水则是主要的来源,由于人力、物力和财力有限,气象站点布设不可能覆盖全区域,导致大部分区

域空间的降水数据无法直接获取<sup>[1]</sup>。四川地势西高东低,地形复杂多变,不便于气象观测点的布设,并且降雨季节分布极不均匀,因此采用空间数据的插值方

法来推测相邻地区降水量显得尤为重要。对降水量进行空间插值研究时,应充分考虑插值过程中对降雨有重要影响的地形等因子。地形因子不仅是重要的降雨下垫面因子,也是局部气候形成的主要因子,对区域降雨有较大影响<sup>[2]</sup>。

空间插值方法作为从已知地理空间向未知地理空间探索的主要方法,在地理信息科学的研究与应用中具有重要意义<sup>[3]</sup>。其基本原理就是利用已知部分空间样本信息,对未知地理空间的特征进行估计。很多学者对不同区域的降水量空间插值方法进行了比较分析,例如:刘刚等<sup>[4]</sup>对澜沧江流域使用克里金插值方法,以获取流域内及周边地区的降水量空间分布特征;王智等<sup>[5]</sup>通过对比新疆地区年降水量的插值得出,在反距离加权插值(IDW)、复二次径向基函数法(MRBF)和普通克里金(OK)3种空间插值方法中,MRBF的插值效果最好;姜晓剑等<sup>[6]</sup>采用IDW、协同克里金(CK)和薄盘样条(TPS)3种不同的空间插值方法,对我国的气象要素进行插值,得出TPS法可作为我国大量逐日基本气象要素的最优空间插值方法;房林东等<sup>[7]</sup>在普通反距离权重插值法的基础上,采用考虑高程的反距离权重插值法,表明可以提高插值精度。

以上研究表明同一种插值方法,应用于不同的研究区域,所得的结果不同。四川省面积大,地形复杂多样,气象观测点偏少且主要集中在中东部,因此采用空间插值方法来模拟四川省内各点的降水信息量具有重要意义。本文拟通过对四川省空间降水量数据进行插值,将已知降雨量的点定位到四川省域内21个地市州所在城市,完成点数据转换成面数据的空间分析和建模,对比分析常规IDW、考虑各点高程的IDW、LPI和OK、CK插值方法的适应性,寻找适合四川山区地形降水量数据的最佳插值方法。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区域及数据

四川省位于东经 $92^{\circ}21' - 108^{\circ}21'$ ,北纬 $26^{\circ}03' - 34^{\circ}19'$ ,西部为高原地形,东部为四川盆地,地形条件复杂多样,其中四川盆地年降水量为 $1\ 000 \sim 1\ 300$  mm,川西高原地区的可降水量低于四川盆地,盆地边缘山地降水十分充沛,如西昌市和雅安间的西缘山地降水量为 $1\ 500 \sim 1\ 800$  mm。

试验数据来源于四川省21个地市州2007年份的降水量,根据各个地方的经度、纬度坐标将降水数据导入ArcGIS,建立点图层。地形数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)的空间分辨率为 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ 的DEM数据。并对其进行准确性

验证后对每个月及其平均降水量变化的空间插值分析。图1显示了四川省的总体地形情况及21个地市州的地区降水点的分布情况。

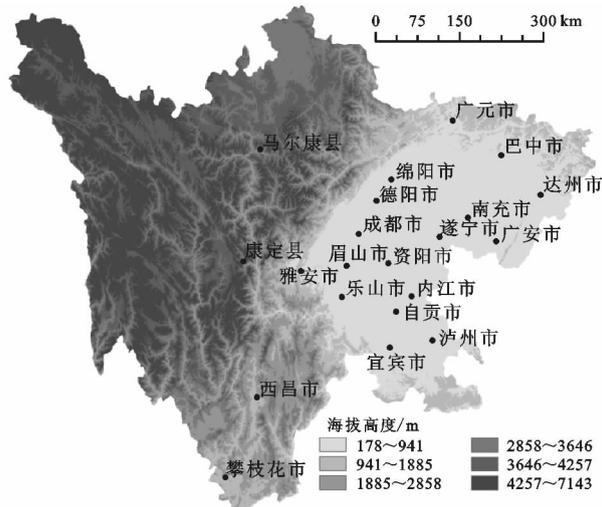


图1 四川地形及21个参与插值降水点分布

### 1.2 插值方法优缺点分析

现阶段用于研究降水资料空间插值的方法有多种,主要有IDW、径向基函数、多项式插值、克里金法、趋势面法和样条函数法等一系列方法<sup>[8-10]</sup>。依据本文的数据特点和研究目的采用常规IDW、考虑各点高程的IDW、LPI和OK、CK这5种插值方法,5种插值方法的优缺点见表1。

(1) 常规反距离权重插值。IDW是基于相近相似的原理,即两个物体离得越近,它们的性质就越相似,反之,离得越远相似性越小。它以插值点和样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大<sup>[11]</sup>。

(2) 考虑各点高程的反距离权重插值。在常规反距离插值的基础上,再考虑各点高程对插值距离的影响,通过各点的高程值对插值结果进行修正,即增加一个权重,其权重建立在两点间高程差与距离比值的基础上。

(3) 局部多项式插值。LPI采用多个多项式,每个多项式都处在特定重叠的邻近区域内。实质上是一种局部加权最小二乘法。多项式的阶数不同,插值精度也有所区别。本文采用1阶局部多项式插值。

(4) 普通克里金插值。OK也称空间局部估计或空间局部插值。它是建立在变异函数理论及结构分析基础上,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏最优估计的一种方法<sup>[12]</sup>。按照空间场是否存在漂移可将克里金法分为普通克里金法和泛克里金法,其中以普通克里金法最为常用<sup>[13]</sup>。

(5) 协同克里金插值。CK把区域化变量的最佳估值方法从单一属性发展到两个以上的协同区域化属性,它在计算中要用到两属性各自的半方差函数和

交叉半方差函数,相对普通克里金而言显得相对复杂<sup>[14]</sup>。本文中主要考虑 DEM 作为协同克里金插值

的主要属性,揭示在 DEM 影响下的山区降水量插值的适应性。

表 1 5 种插值方法优缺点对比

方法	优点	缺点
常规 IDW	计算开销少,具有普遍性	插值结果受半径 $r$ 值的影响大
考虑高程的 IDW	将高程数据考虑到插值过程中,建立了高程与距离的关系	与常规 IDW 相比计算量增大,计算过程较为复杂
LPI	方法易于理解,多项式平面能够更加准确地体现平滑表面	数值位于领域中心,很少过原观测点,容易出现条带现象
OK	适用性较大,普遍用于局部的、区域较小的范围	程序复杂,计算量大,运算速度慢
CK	利用了空间相关性,考虑区划化的多种属性值	考虑多种属性因素,计算过程复杂

## 2 结果与分析

### 2.1 插值结果

利用 5 种方法对月平均降水量及每个月降水量进行空间插值,比较它们在降水量空间插值中的不同效果。其中月降水量的插值效果见图 2。插值结果的参数均为系统默认参数。

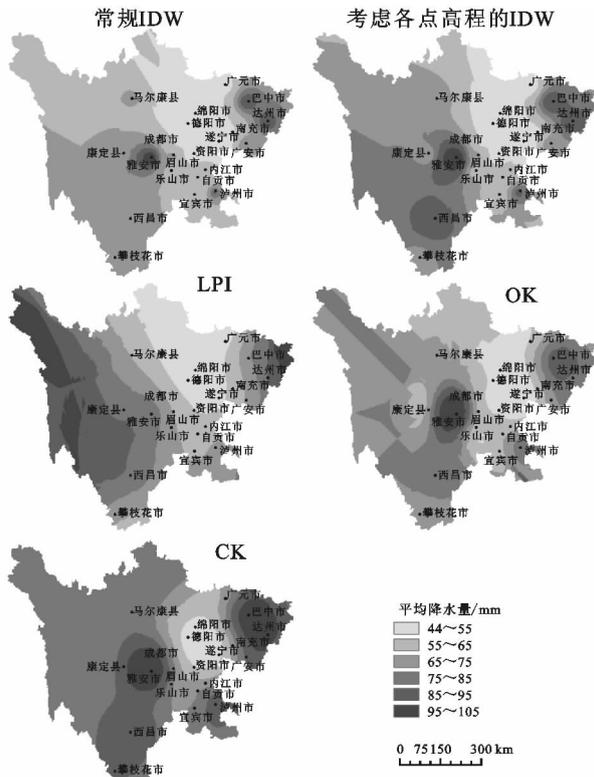


图 2 5 种插值方法对四川地区降水量的空间插值效果

由图 2 可以看出,5 种插值方法整体上都反映了四川省降水量由东向西先减少后增加的特点,其中在遂宁到成都一带的降水量最少,空间分布规律为:东部盆地大部分平均每月降水量为 60~75 mm;但在地域上,盆周多于盆底,盆西缘山地是全省降雨最多之地,为 75~90 mm;次为盆东北和东南缘山地,为 70~85 mm;盆中丘陵区及成都平原地区降雨最少,为 45~60 mm。采用 CK 和考虑各点高程的 IDW 得

到的降水量插值结果大于常规 IDW, LPI 和 OK 插值结果。常规 IDW、考虑各点高程的 IDW, OK, CK 插值结果的降水量最大值都出现在雅安市、西昌市、达州市、巴中市周围,降水量最小值在德阳市、绵阳市、遂宁市周围的中部地区,与徐天献等<sup>[15]</sup>得出的四川省降水空间变异性结果相似。采用 LPI 时降水量的最大值出现在西部高原的边缘地区和盆地东部达州地区,最小值仍出现在盆地的中部地区。实际上川西北地区属于高山高原气候区,年降水较少,但在 LPI 的插值过程中该区域的降水量值较大,其插值结果的降水量分布出现条带现象,这是由于本试验中西部降水点数量少且 LPI 建立的是平滑表面,使得插值结果出现平滑变化的趋势。

### 2.2 验证分析

采用交叉检验法来验证插值的效果,即首先假定每一地区的降水量值未知,都采用其周围的值来估计,然后观察每一地区的实际降水量值与预测值的误差,以此来评估插值方法的优劣,采用平均误差 (Mean Absolute Error, MAE) 和均方根误差 (Root-Mean-Square, RMS) 来进行插值方法效果的评估。总的来说,各种插值方法的 MAE 和 RMS 总体最小者,具有较好的插值效果,MAE 相等时,则 RMS 越小越好<sup>[16]</sup>。表 2 列出了 5 种插值情况下 12 个月及其月平均降水量插值结果的平均误差和均方根误差值。

从表 2 所示的结果可以看出,两种克里金插值方法的结果误差整体上小于 IDW 和 LPI 两种方法,因为克里金方法是建立在空间半变异函数基础上的,而空间半变异函数由现有的降水量确定,充分利用了数据点的空间相关性,插值精度较高些。LPI 的插值误差起伏度大,不利于降水量插值模型的拟合,特别是在 10 月,当其他 4 种方法误差值都较小时, LPI 的误差值达到最大。从两种 IDW 方法的 MAE 和 RMS 来看,考虑各点高程的 IDW 插值误差小于常规 IDW,可明显提高插值精度。从两种克里金方法来

看,引入数字高程的 CK 要优于 OK,CK 的 MAE 和 RMS 值小于其他 4 种插值方法,误差起伏度较小,插值效果更好。四川省春冬两季降水量少,使得 5 种方

法在春冬两季的 MAE 和 RMS 值均较小,而在夏季降水起伏度较大,使得 MAE 和 RMS 值较大,采用空间插值方法不能有效地模拟降水情况。

表 2 2007 年 5 种插值方法月平均降水量插值误差对比

时间	常规 IDW		考虑高程 IDW		局部多项式插值		普通克里金插值		协同克里金插值	
	MAE	RMS	MAE	RMS	MAE	RMS	MAE	RMS	MAE	RMS
1 月	0.431	7.973	0.326	6.22	0.067	7.549	0.4115	7.748	0.382	5.042
2 月	1.964	14.88	1.563	15.79	0.969	9.837	1.474	12.61	0.7352	10.61
3 月	1.151	19.52	1.032	14.63	0.238	14.07	0.955	14.08	0.482	12.319
4 月	1.561	22.13	3.452	16.78	4.298	17.73	0.342	19.45	0.2529	14.84
5 月	3.589	33.56	1.02	32.13	1.132	29.71	0.7332	29.66	0.872	23.18
6 月	10.121	47.26	6.53	42.15	10.72	47.47	1.924	44.61	1.568	38.13
7 月	9.337	91.97	3.75	92.36	8.865	106.4	5.46	98.32	3.871	63.75
8 月	1.829	51.84	2.424	49.67	2.443	60.36	1.242	55.47	1.143	41.56
9 月	1.053	55.15	1.625	53.56	0.167	69.83	1.088	57.48	1.031	42.16
10 月	4.835	43.39	0.973	39.73	11.37	55.34	1.132	45.18	1.85	35.64
11 月	0.751	16.67	0.76	14.53	0.608	12.55	0.869	13.72	0.414	11.76
12 月	0.171	7.026	0.254	6.73	1.405	6.633	0.455	6.783	0.053	3.455
平均	2.146	13.46	0.87	11.53	3.268	15.05	0.408	12.84	0.174	8.056

### 3 结论

(1) 5 种插值方法整体上都反映了四川省降水量由东向西先减少后增加的特点,采用 IDW,OK,CK 插值方法的最大值和最小值的情况一致。而采用 LPI 时插值结果的降水量分布出现条带现象。这是由于本研究中西部降水点数量少且 LPI 建立的是平滑表面,使得插值结果出现平滑变化的趋势。

(2) 在春冬两季,降水量较少且降水量分布较均匀,使得 5 种插值情况下的 MAE,RMS 值较小,可以较好地模拟降水情况,在夏季(6 月、7 月)四川省降水差异较大,使得 MAE,RMS 值较大,模拟的降水量插值情况较差。

(3) 通过交叉验证法来验证插值结果,从一年的整体情况来看,LPI 的插值误差起伏度大,不利于降水量的模拟。从两种 IDW 插值法的 MAE 和 RMS 来看,考虑各点高程 IDW 优于常规 IDW,可明显提高插值精度。克里金方法平均误差和均方根误差较小,优于两种空间确定性插值,可以更好地得到降水预测值,从两种克里金方法来看,引入高程的协同克里金方法考虑了数字高程对降水量的影响,插值效果更好,更加适合四川省山区地形降水量数据的插值。

空间插值方法的种类繁多,同一种插值方法,应用于不同的研究区域,所得的结果不同,同地区采用不同的插值方法其结果也不一致。面向地形复杂多变、气象观测点稀疏的四川区域,采用交叉检验法来验证插值结果,把 MAE 和 RMS 作为评估 5 种插值效果的标准,对比分析了常规 IDW、考虑各点高程的 IDW,LPI,

OK 及 CK 插值方法的适应性。验证分析结果表明,充分利用了数据点空间相关性的克里金插值方法优于 IDW 和 LPI,考虑各点高程的 IDW 插值结果优于常规 IDW,可提高插值精度。考虑了数字高程的协同克里金方法插值效果最好,其精度最为准确,更加适合四川省山区地形降水量数据的插值。在未来的研究中,拟将对四川省降水量空间插值进行微观尺度分析的同时综合考虑四川省的地形气候条件,比如顾及坡度、坡向等微地形因子并结合 OK 方法进行残差分析的插值方法,以此来进一步提高降水量的模拟精度。

#### 参考文献:

- [1] 王常森,陶月赞,方必和. 淮北平原年降水量空间插值模型的比选[J]. 水文,2012,32(2):49-53.
- [2] 虎雄岗,谈树成,金艳珠,等. 基于地形高程的云南省降雨量空间插值方法研究[J]. 热带地理,2012,32(4):370-377.
- [3] 刘光孟,汪云甲,王允. 反距离权重插值因子对插值误差影响分析[J]. 中国科技论文在线,2010,5(11):879-884.
- [4] 刘刚,赵荣,刘纪平,等. 澜沧江流域降水量空间分布的克里格插值分析[J]. 测绘科学,2007,32(3):104-105.
- [5] 王智,吴友均,梁凤超,等. 新疆地区年降水量的空间插值方法研究[J]. 中国农业气象,2011,32(3):331-337.
- [6] 姜晓剑,刘小军,黄芬,等. 逐日气象要素空间插值方法的比较[J]. 应用生态学报,2010,21(3):624-630.
- [7] 房林东,廖卫红,王明元,等. 考虑高程的雨量反距离权重插值法研究[J]. 人民黄河,2015,37(9):38-41.
- [8] 庄立伟,王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J]. 应用气象学报,2003,14(5):605-615.
- [9] 孔令娜,向南平. 基于 ArcGIS 的降水量空间插值方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2012,35(3):123-126.

等方面具有显著优势,本研究尝试将粗糙集理论引入到复垦土壤肥力评价指标权重中确定的过程中,使得结果更加精确,能够为土壤肥力改良效果研究及相关领域的评价提供一定的理论参考。

(3) 本研究还存在着一些不足与需要改进的地方。由于受到时间和精力限制,在评价体系的构建方面,一些如土壤中微生物含量、土壤质地等对土壤肥力改良有影响的指标并未纳入评价指标体系<sup>[16-17]</sup>,需要后续研究的进一步优化。此外研究的时空跨度需要进一步加大。复垦措施对土壤肥力的改良是一个长期的过程,土壤肥力各项指标的稳定也需要一定的时间。但是由于时间的限制,本文仅对复垦后 1.5 a 的土壤肥力改良效果进行了研究,研究时间稍短。同时,本文仅对农作物生长影响最显著耕作层(0—30 cm)进行了研究,为了得到更加全面详细的结果,可以在后续研究中对土壤肥力进行分层研究。

#### 参考文献:

- [1] 彭建,蒋一军,吴健生,等.我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J].地理科学进展,2005,4(2):38-48.
- [2] 杨炎生,信有诠.中国红黄壤地区农业综合发展与对策[M].北京:中国农业科技出版社,1995.
- [3] 王梅,王力,易小波,等.水蚀风蚀交错区六道沟流域土壤肥力评价[J].西南大学学报:自然科学版,2012,34(5):68-76.
- [4] Nortcliff S. Standardisation of soil quality attributes[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 88(2):161-168.
- [5] Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002,90(1):25-45.
- [6] 罗忠志,高华端,李圆玥,等.长顺元雷河小流域草地治理模式下土壤肥力评价[J].水土保持研究,2015,22(1):45-50.
- [7] 崔潇潇,高原,吕贻忠.北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J].农业工程学报,2010,26(9):327-333.
- [8] 骆伯胜,钟继洪,陈俊坚.土壤肥力数值化综合评价研究[J].土壤,2004,36(1):104-106.
- [9] 吴玉红,田霄鸿,同延安,等.基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J].生态学杂志,2010,29(1):173-180.
- [10] 叶回春,张世文,黄元仿,等.粗糙集理论在土壤肥力评价指标权重确定中的应用[J].中国农业科学,2014,47(4):701-717.
- [11] 杨奇勇,杨劲松,姚荣江,等.基于GIS和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J].农业工程学报,2010,26(4):100-105.
- [12] 周勇,张海涛,汪善勤,等.江汉平原后湖地区土壤肥力综合评价方法及其应用[J].水土保持学报,2001,15(4):70-74.
- [13] 孟海波,赵立欣,徐义田,等.用粗糙集理论评价生物质固体成型燃料技术的研究[J].农业工程学报,2008,24(3):198-202.
- [14] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Parallel Programming, 1982,11(5):341-356.
- [15] 周献中,黄兵,李华雄,等.不完备信息系统知识获取的粗糙集理论与方法[M].南京:南京大学出版社,2010.
- [16] 张勇,杜华栋,张振国,等.黄土丘陵区自然植被恢复下土壤微生物学质量演变特征[J].水土保持研究,2014,21(1):7-17.
- [17] 冯晓娟,雷国平,张慧,等.基于GIS的前哨农场耕地地力评价[J].水土保持研究,2014,21(1):199-202.
- [10] 宋丽琼,田原,邬伦,等.日降水量的空间插值方法与应用对比分析:以深圳市为例[J].地球信息科学,2008,10(5):566-572.
- [11] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M].北京:科学出版社,2006.
- [12] 邵晓梅,严昌荣,魏红兵.基于 Kriging 插值的黄河流域降水时空分布格局[J].中国农业气象,2006,27(2):65-69.
- [13] 曾怀恩,黄声享.基于 Kriging 方法的空间数据插值研究[J].测绘工程,2007,16(5):5-8.
- [14] 邓羽,刘盛和,姚峰峰,等.基于协同克里格的基准地价评估及空间结构分析[J].地理科学进展,2010,28(3):403-408.
- [15] 徐天献,王玉宽,傅斌.四川省降水空间分布的插值分析[J].人民长江,2010,41(10):9-12.
- [16] 焦永清,李斌,张坤.基于空间可视化的气温插值方法比较[J].测绘工程,2013,22(5):62-64.

(上接第 154 页)