

# 江苏省不同尺度降水量插值方法 适应性分析与评估

袁金龙<sup>1</sup>, 胡晓东<sup>2</sup>, 张 凯<sup>3</sup>, 林诚杰<sup>1</sup>, 王 洁<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学 水文与水资源工程学院, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;  
3. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

**摘要:**基于江苏省23个气象站点近年的气象资料,对数据进行处理,划分为多年、四季及丰枯水年3种时间尺度的降水资料,将站点分为插值站和验证站,再使用反距离加权法、趋势面法及克里金法对降水数据进行插值。综合平均绝对误差、平均相对误差、均方根误差、相关系数4个评估指标以及构建的综合指标,对插值方法的精度进行综合评估。从年均降水量来看,泛克里金法的插值精度最高;从四季降水来看,趋势面法对春季降水的插值效果最好,简单克里金法对夏季降水的插值效果最好,反距离加权法对秋季降水的插值效果最好,泛克里金法对冬季降水的插值效果最好;从丰枯水年的角度来看,对枯水年的插值推荐使用趋势面法,对丰水年的插值推荐使用简单克里金法。

**关键词:**降水量; 空间插值; 数据对比

中图分类号: TV125

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2022)11-0054-0003

## Adaptability analysis and evaluation of interpolation methods of precipitation at different scales in Jiangsu Province

YUAN JinLong<sup>1</sup>, HU Xiaodong<sup>2</sup>, ZHANG Kai<sup>3</sup>, LIN Chengjie<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>1</sup>

(1. School of Hydrology and Water Resources, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China;  
3. General Irrigation Canal Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223200, China)

**Abstract:** The recent years' time series meteorological data of 23 meteorological stations in Jiangsu Province were used in this study. First, the data was processed and divided into three temporal scales: annual average, seasonal average, typical wet and dry year. Then, the precipitation data were interpolated using the inverse distance weighting method, the trend surface method, and the kriging method, respectively. And the mean absolute error, mean relative error, root mean square error, correlation coefficient and comprehensive indicators were used for comparative analysis. From the perspective of annual average precipitation, the interpolation accuracy of the universal kriging method was the highest; From the perspective of precipitation in different seasons, the trend surface method had the best interpolation effect on spring precipitation, and the simple kriging method showed the best interpolation result for summer precipitation. The inverse distance weighting method had the best interpolation effect on autumn precipitation, and the universal kriging method had the best interpolation effect on winter precipitation; From the perspective of wet and dry years, the trend surface method and the simple kriging method

收稿日期: 2022-07-06

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020040); 河北省省级科技计划资助项目(19275408D); 国家自然科学基金面上项目(41671022; 41877158)

作者简介: 袁金龙(2000—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水文气象。E-mail: 970800339@qq.com

通信作者: 王洁(1984—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为水利工程。E-mail: wangjie0775@163.com

was recommended for dry and wet years respectively in Jiangsu Province.

**Key words:** precipitation; spatial interpolation; data comparison

## 1 概述

降水是蒸发-水汽输送-降水-径流构成的水文循环中重要的一部分,是水文学重要的研究对象,也是驱动水文、水动力模型最重要的输入要素之一。然而,降水量的测量存在很大的时空差异,目前分散的降水站点无法满足高精度的分布式水文模拟的要求,而空间插值是获得更加细致降水数据的重要手段。合适的插值方法可以用于缺资料或精度不够地区降水量的插值,但不同的空间插值方法参差多样,在不同地区的适用性也不尽相同<sup>[1]</sup>。

目前,围绕不同地区、流域对降水量空间插值方法开展了一定的研究。李金洁等<sup>[2]</sup>使用西南地区1996—2000年气象观测的月平均降水量作为基础,使用反距离加权插值法和不同模型的普通克里金法进行降水量的空间插值,在指数模型、球面模型、高斯模型的普通克里金法中得出变异函数选用指数模型对西南地区更加吻合,球面模型效果紧随其后,高斯模型的普通克里金法插值模拟效果最差。张孟丹等<sup>[3]</sup>对黄土高原区的半干旱的无定河流域地区进行了多种空间插值方法的对比研究,使用了无定河流域内1980—2000年81个雨量站点逐日降雨量数据,得出结论多年平均降水量克里金插值准确度更高,泰森多边形插值的误差很大,线性样条法插值受降雨插值数据的空间变异性的影响较大,反距离加权空间插值法精度适中。石朋等<sup>[4]</sup>使用了长江流域三峡区间沿渡河流域内7个雨量站的1987年各月降水量和1980—1987年的年降水量做了插值计算的工作,得出结论考虑了高程影响的克里金方法不仅适用于不同的雨次大小、时间尺度,而且往往精度更高、误差更小。现有文献表明,对江苏省降雨量而言,在不同季节及丰枯年的角度上,空间插值方法的适用性研究较少。

本文针对江苏省降水量的不同空间插值方法进行适应性分析与评估,选取了江苏省23个典型雨量站,其中20个气象站点作为插值站,其余3个站点(沭阳、阜宁和常州)作为验证站,统计分析30年的逐日降水量资料。同时,使用趋势面法、反距离加权法、克里金方法等对站点的降水量序列进行插值,对验证站的插值数据与实测数据进行对比分析。综合相关性系数、平均绝对误差、均方根误差、

平均相对误差等统计参数,计算综合验证指标,判断插值精度,最终综合分析得到不同的时间尺度江苏省地区最优的空间插值方法。

## 2 研究区概况与数据

### 2.1 研究区概况

江苏地处长江下游的长江三角洲,境内河湖众多,水域面积约占全省总面积的17%,合适的降水插值方法对提高雨洪预报模型的精确度至关重要。江苏地处南北气候过渡带,具有明显的季风特征。省内雨量地区分布差异较大,苏南地区年降雨量约为1 200 mm,苏北地区仅有700 mm左右。6—8月汛期占全年60%~70%的降水量,流域上中游来水也主要集中在汛期。江苏地形西高东低,降水量的时空差异性较大,针对不同时间尺度降水量的插值方法进行对比分析,评估出适合不同时间尺度的插值方法。

### 2.2 基础数据

本文使用江苏省23个气象站的逐日降水量数据,站点分布均匀,可以较好地反映降雨的时空分布规律。四季划分中,3月至5月为春季,6月至8月为夏季,9月至11月为秋季,12月至次年2月为冬季。为了区分枯水年与丰水年,分析平均降水量及典型站点常州、沭阳、阜宁降水量的年际分布,发现2013年降水量最低,2016年降水量最高,确定2013年为典型的枯水年,而2016年为典型的丰水年。

## 3 研究方法

### 3.1 插值方法

反距离加权法根据接近相似的基本原理,用模拟点和实际样本点之间距离的幂次方的倒数为权重来作为加权平均,也就是说距离模拟站点越近的实际样本站点会有更高的降雨分配权重。

克里金方法为统计方法中重要的一种,根据协方差函数对随机过程进行空间模拟,以求得到最佳的线性无偏估计,如今常见的改进模型包括泛克里金法和普通克里金法,克里金方法适合于空间自相关性很好的数据。

### 3.2 验证指标

相关性系数表示实测值与模拟值之间的相关程度,平均绝对误差反映模拟值的误差范围,均方

根误差反映模拟值的灵敏度和极值情况,平均相对误差反映模拟值对于观测值的准确度。

由于平均绝对误差、平均相对误差、均方根误差和相关性系数的单位与范围均不一致,为方便对比分析,引入标准化公式对所有指标进行归一化处理。标准化处理之后的指标范围为0~1之间,并用上述4个指标之和 $Z$ 值来表征所有指标的综合评价情况,其值越小代表模拟值越接近实测值, $Z$ 值越小代表其插值精度越好。

## 4 结果与分析

### 4.1 不同时间尺度平均降水量插值结果

从综合验证指标 $Z$ 值来看(表1),对于年均降雨量而言,泛克里金法 $Z$ 值最小,精度是最好的,趋势面法紧随其后,反距离加权插值法精度适中,简单克里金法误差最大,精度不理想。基于最佳空间插值方法——泛克里金法的空间插值结果表明,江苏省年平均降水量呈现东南高,逐渐向西北递减的趋势,苏南地区年平均降水量在1 000 mm之上,800 mm年平均降水量在苏北地区,符合800 mm年平均降水量在秦岭-淮河一线的认识。得益于太平洋丰沛的水汽,江苏省最低年平均降水量也在700 mm之上,泛克里金插值法空间插值效果较好。

### 4.2 丰枯水年降水量插值方法对比

对典型的枯水年(2013年)降水量进行插值对比分析,枯水年的平均绝对误差、均方根误差、平均相对误差等指标均是趋势面法较优,因此趋势面法的 $Z$ 值最小,精度最高,故对江苏省枯水年的插值推荐使用趋势面法。4种空间插值方法得出的降雨空间分布类似,可以发现大片低值区,800 mm年降水量等值线南移,苏南地区也已达不到1 000 mm的年降水量。

对典型的丰水年(2016年)降水量进行插值对比分析,其平均绝对误差、均方根误差、平均相对误差等指标均是简单克里金法较优,简单克里金法的 $Z$ 值最小,精度最高,故对江苏省丰水年的插值推荐使用简单克里金法。从4种空间插值方法得出的降雨空间分布来看,可以看出大片高值区,1 000 mm年降水量等值线南移,秦岭淮河一线的苏北地区也已达到1 000 mm的年降水量。

## 5 结 语

本文基于江苏省内典型雨量站点的逐日降水量数据,分为插值站和验证站,使用反距离加权法、趋势面法、简单克里金法和泛克里金法进行空间插值。

表1 综合验证指标 $Z$ 值

插值方法	平均	春季	夏季	秋季	冬季	丰水年	枯水年
简单克里金法	3.00	1.45	0.13	0.95	3.02	0.14	2.13
泛克里金法	0.00	1.41	3.01	0.23	0.00	0.27	0.50
反距离加权插值法	1.12	3.00	0.24	0.00	0.17	0.38	3.00
趋势面法	0.01	0.00	2.30	3.01	0.52	3.00	0.01

(1)泛克里金法对江苏省多年平均降水量的插值效果最好,并以此得出江苏省年平均降水量呈现东南高、逐渐向西北递减的趋势。

(2)趋势面法对江苏省多年平均春季降水量插值效果最好,简单克里金法对江苏省多年夏季平均降水量插值效果最好,反距离加权插值法对江苏省多年秋季平均降水量插值效果最好,泛克里金法对江苏省多年冬季平均降水量插值效果最好。

(3)综合指标表明对江苏省枯水年的插值推荐使用趋势面法,对江苏省丰水年的插值推荐使用简单克里金法。

(4)对应于不同的时间尺度,不同的测站数量、

位置,可能会有其对应的最佳空间插值方法,降水量大的时间尺度推荐使用简单克里金法,降水量小的时间尺度推荐使用趋势面法。

### 参考文献:

- [1] 陈华,盛晟,夏润亮,等. 基于矩阵分解的降水时空插值方法[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(1):35-41.
- [2] 李金洁,王爱慧. 基于西南地区台站降雨资料空间插值方法的比较[J]. 气候与环境研究,2019,24(1):50-60.
- [3] 张孟丹,余钟波,谷黄河,等. 无定河流域降水量空间插值方法比较研究[J]. 人民黄河,2021,43(4):30-37.
- [4] 石朋,芮孝芳. 降雨空间插值方法的比较与改进[J]. 河海大学学报(自然科学版),2005,33(4):361-365.