

# 基于地图直接比较的不同插值方法制图效果及影响因素分析——以新乡县为例

张路伟<sup>1</sup>, 赵彦锋<sup>1\*</sup>, 程道全<sup>2</sup>, 张化楠<sup>1</sup>, 徐 嘉<sup>3</sup>

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省土壤肥料站, 河南 郑州 450002;  
3. 中牟黄河河务局, 河南 中牟 451450)

**摘要:** 利用新乡县 2008 年测土配方施肥项目 2 694 个土壤农化样点数据, 选取有效磷和缓效钾为研究对象, 基于地图直接比较, 对比研究了常见插值方法 (IDW、Kriging、PRP) 的土壤养分制图效果及影响因素, 以期对土壤调查和制图实践提供参考。结果表明: 不同插值方法制图效果受土壤养分属性空间变异性及样点个数影响。对于土壤空间变异结构性较强的缓效钾, 当样点数为 300 个时, IDW、Kriging 法制图结果均已达到较高可信度。对于空间变异随机性较强的有效磷, 当样点数介于 700~900 个时, IDW 法制图结果比较可信; 当样点数为 1 100 个时, 制图结果达到较高可信度。3 种方法中, PRP 法制图效果均不理想, 且尤其不适用于空间随机性变异的土壤养分。总之, 3 种插值方法的制图优劣为 Kriging>IDW>PRP。

**关键词:** 土壤制图; 地图直接比较; 插值方法; 影响因素

**中图分类号:** S159.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2014)04-0156-05

## Influence Factors and Effects of Different Interpolation Methods for Cartography Based on Map Direct Comparison——A Case Study of Xinxiang County

ZHANG Lu-wei<sup>1</sup>, ZHAO Yan-feng<sup>1\*</sup>, CHENG Dao-quan<sup>2</sup>,  
ZHANG Hua-nan<sup>1</sup>, XU Jia<sup>3</sup>

(1. School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;  
2. Soil and Fertilizer Station of Henan Province, Zhengzhou 450002, China;  
3. Zhongmu Yellow River Engineering Bureau, Zhongmu 451450, China)

**Abstract:** Kriging method, inverse distance weight (IDW) method and polygon value represented by point value (PRP) method were used to map for available phosphorus and slow-release potassium based on map direct comparison with sample data from 2 694 soil samples collected from Xinxiang county of Henan province in 2008, and the influence factors and spatial prediction accuracy of interpolation methods were analyzed. The results showed that the spatial prediction accuracy was influenced by spatial variability of soil properties and the number of samples. For slow-release potassium which spatial variability was caused by structural factors, Kriging and IDW methods had high spatial prediction accuracy when the sample number was 300 or higher. For available phosphorus which spatial variability was caused by random factors, the mapping interpolated by IDW method was relatively reliable when the sample number was 700—900, and

收稿日期: 2013-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40801080)

作者简介: 张路伟 (1986-), 男, 河南漯河人, 在读硕士研究生, 研究方向: 土地资源管理与 GIS 应用。

E-mail: zhangluwei1986@163.com

\* 通讯作者: 赵彦锋 (1977-), 男, 河南洛阳人, 副教授, 博士, 主要从事土地资源与环境地理学方面的研究。

E-mail: yfzhao@zzu.edu.cn

more reliable when the sample number was 1 100 or higher. Compared to IDW and Kriging methods,PRP method was not satisfied for the available phosphorus and slow-release potassium, especially for available phosphorus which spatial variability was caused by random factors. In a word,the spatial prediction accuracy order was Kriging>IDW>PRP.

**Key words:** soil cartography; map direct comparison; interpolation methods; influence factors

在 3S(GIS、GPS、RS)技术和各种空间插值方法支持下,土壤数字制图技术迅速发展,随之相关的数字土壤图的质量评价受到关注。自 20 世纪 80 年代以来,不断有关于克里格(Kriging)、普通克里格(OK)、泛克里格(UK)、反距离权重(IDW)、径向基函数(RBF)等方法制图效果的比较研究<sup>[1-7]</sup>。随着新方法的涌现,在农业部测土配方施肥项目中开始利用以点代面(PRP)法对土壤养分进行制图<sup>[8]</sup>。不同插值方法的制图效果一般用验证样点实测值和制图结果的均方根误差等来判断,但该方法判断结果必然受到样点分布的均衡性、代表性的制约,如精度高的区域分布的样点多、密度大,则可能高估制图精度,反之则可能低估制图精度。

考虑到制图本身是“空间格局表达”,采用地图直接比较的方式判断制图所反映的土壤属性空间格局差异比仅利用有限验证样点更能直接说明图形本身的问题,在逻辑上比抽样验证更严密。基于此,本研究立足制图结果,以新乡县为例,以地图相似性变化为制图质量评价标准,对比不同插值方法(Kriging、IDW 和 PRP)的制图效果及其影响因素,以期为土壤调查和制图实践提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

新乡县位于太行山南麓,豫北平原中部(113°42′~

114°04′E、34°53′~35°14′N),海拔 70~80 m。全县国土总面积为 364.6 km<sup>2</sup>,其中耕地面积为 2.3 万 hm<sup>2</sup>,是全国著名粮棉高产县之一。境内地势大致平坦,北为太行山前冲积平原,中为黄河冲积平原,南为黄河故道砂壤高地。成土母质为洪冲积物,土壤类型为潮土和风沙土。

1.2 数据来源及研究对象

采用新乡县 2008 年测土配方施肥项目 2 694 个农化样点数据,所用矢量图件为新乡县 1:50 000 土壤图、行政区划图、土地利用现状图及耕地资源管理单元图,其中耕地资源管理单元图是把土壤图、行政区划图、土地利用现状图三者叠加将耕地提取所得。

利用 SPSS 15.0、GS+5.0 对农化样点土壤属性进行统计分析和半方差函数计算,最终选取有效磷、缓效钾为研究对象,二者描述性统计特征如表 1 所示,有效磷为对数正态分布,CV 为 64.7%;缓效钾为正态分布,CV 为 27.8%。经标准化转换,从二者半方差函数图(图 1)可知,有效磷为空间随机性变异;缓效钾具有空间结构性,其变异函数理论模型参数如表 2 所示,块金系数为 31.9%,最佳拟合模型为球状模型。

1.3 研究方法

按照空间变异性以及制图方法对土壤属性数据

表 1 新乡县土壤属性的统计特征值

属性	样点数/个	均值/(mg/kg)	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	标准差	分布类型	CV/%
有效磷	2 694	16.3	1.0	87.0	10.6	对数正态	64.7
缓效钾	2 964	609.2	101.0	1 187.0	169.5	正态分布	27.8

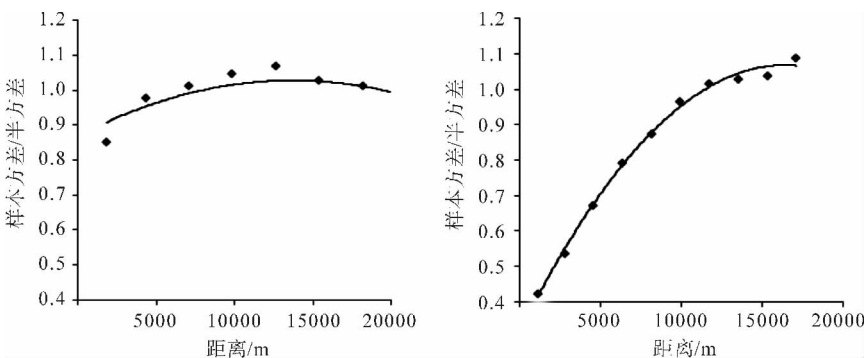


图 1 有效磷(左)和缓效钾(右)的半方差函数图

表 2 缓效钾变异函数理论模型参数

属性	模型	变程/m	块金方差	结构方差	块金系数/%	决定系数	残差
缓效钾	球状	14 280	0.337	0.717	31.9	0.995	0.002 247

特征的要求<sup>[9-10]</sup>,Kriging 方法要求数据具有空间结构性,而有效磷为空间随机性变异,所以对其采用 IDW、PRP 法进行插值;对缓效钾则采用 Kriging、IDW、PRP 法进行插值。图形相似性计算利用 ArcGIS 9.3 工具箱中 Spatial Analyst Tools 模块的 Band Collection Statistics 命令。具体研究方法如下。

1.3.1 相同采样尺度内多次不重复抽样结果相似性研究 按照样点数从小到大,分成多个尺度样点集。以 100 个样点为例:首先从总样点中随机抽取 100 个样点,为避免重复样点对制图结果间相似性的影响,然后在剩余的样点中随机抽取 100 个样点,依此类推。由于按照 100 个样点数不重复抽取样点最多可以从总数据集中得到 26 个子集,鉴于数据量较大,从中选取 15 个子集进行研究。依上述方法,分别按 100、300、500、700、900、1 100、1 300 个样点尺度从总样点中不重复抽样,得到相应 15、8、5、3、2、2、2 个子集。对上述同一数量尺度内不同子集的有效磷、缓效钾利用各自对应插值方法进行制图,基于制图结果图形相似性,比较不同插值方法优劣。

1.3.2 不同采样尺度与总数据集制图结果相似性研究 从总样点中分别进行随机抽样,构成样点数分别为 100、300、500、700、900、1 100、1 300、1 500、

1 700、1 900、2 100、2 300、2 500 的子集,每次抽样为等概率抽取。基于样点数越多,制图结果越精确这一观点,以总数据集制图结果为基准,与上述各子集中有效磷、缓效钾利用各自对应插值方法的制图结果进行相似性比较。上述研究过程重复 3 次,以保证结果的可靠性。

## 2 结果与分析

### 2.1 相同采样尺度内不同子集间制图结果的相似性

2.1.1 IDW 与 Kriging 当样点数为 100、300、500 个时,相应尺度内各子集有效磷 IDW 法制图结果相关系数最大、最小值分别为 0.657、-0.130、0.710、0.461、0.720、0.462,结果较不稳定,制图结果间差异较大;当样点数为 700 个时,有效磷 IDW 法制图结果相关系数最小为 0.609、最大为 0.734,制图结果间相似程度提高;当样点数为 900、1 100、1 300 个时,制图结果相关系数分别为 0.656、0.666、0.732(表 3)。该结果表明,随着样点数增多,子集间制图结果相关系数波动具有减缓趋势,单次抽样制图结果的可信度也在逐渐增强,这是因为各子集具有相同的数量尺度,造成制图结果间差异的原因是样点分布的不同,样点数越多,样点分布差异的影响逐步缩小。

表 3 相同尺度不同子集 IDW、Kriging、PRP 法制图结果相关系数矩阵

制图方法	属性	子集编号	700 个			900 个		1 100 个		1 300 个	
			1	2	3	1	2	1	2	1	2
IDW	有效磷	1	1			1		1		1	
		2	0.609	1		0.656	1	0.666	1	0.732	1
		3	0.675	0.734	1						
	缓效钾	1	1			1		1		1	
		2	0.921	1		0.946	1	0.936	1	0.937	1
		3	0.938	0.909	1						
Kriging	缓效钾	1	1			1		1		1	
		2	0.965	1		0.971	1	0.960	1	0.965	1
		3	0.963	0.948	1						
PRP	有效磷	1	1			1		1		1	
		2	0.112	1		0.113	1	0.153	1	0.192	1
		3	0.117	0.151	1						
	缓效钾	1	1			1		1		1	
		2	0.484	1		0.512	1	0.523	1	0.521	1
		3	0.495	0.383	1						

当样点数为 100、300、500 个时,相应尺度内各子集缓效钾 IDW 法制图结果相关系数最大、最小值分别为 0.931、0.810,0.933、0.866,0.942、0.904;Kriging 法制图结果相关系数最大、最小值分别为 0.963、0.824,0.958、0.892,0.965、0.929。结合表 3,从相关系数来看,相同样点数下各子集缓效钾 IDW、Kriging 法制图结果间相关系数波动明显弱于有效磷,而当样点数为 500、700、900、1 100、1 300 个时,不同采样尺度各子集制图结果相关系数均在 0.90 以上。综上所述,在样点数为 300 个时,缓效钾 IDW、Kriging 法制图结果已经达到较高的可信度。

2.1.2 PRP 当样点数为 100、300、500 个时,相应尺度内各子集有效磷 PRP 法制图结果相关系数最大值分别为 0.144、0.165、0.160;当样点数更多时,相关系数均在 0.2 以下,制图结果差异较大,且没有表现出随着样点数的增多,制图结果相关程度提高、制图差异缩小的趋势。当样点数为 100、300、500 个时,相应尺度内各子集缓效钾 PRP 法制图结果相关系数最大、最小值分别为 0.381、0.066,0.433、0.258,0.440、0.355,结合表 3 可知,随着样点数增多,缓效钾相同尺度内各子集间相关系数波动趋缓,但整体相关系数均不高;当样点数为 1 300 个时,其制图结果相关系数也仅 0.521。

综上所述,PRP 法制图不仅不适用于以空间随机

性变异为主的有效磷,且对于具有空间结构性的缓效钾效果亦不理想,原因为 PRP 法是将面状多边形内所有样点属性平均值作为图斑最终值,若不同子集在面状多边形内的样点属性平均值差距较大则会导致制图结果间差异较大,相关系数较低,对于空间变异为随机性变异为主的土壤属性来说,影响尤甚。

## 2.2 不同采样尺度与总数据集制图结果的相似性

2.2.1 IDW 与 Kriging 图 2 表明,随着样点数增多,有效磷不同尺度子集与试验总集 IDW 法制图结果相关系数明显增大,当样点数为 700 个时,与试验总集制图结果相关系数为 0.82;当样点数为 900 个时,相关系数为 0.85;当样点数为 1 100 个时,相关系数达到 0.90。而缓效钾在样点数为 100 个时,与试验总集制图结果相关系数已经达到 0.80 以上,在 300 个时已达 0.90 以上;随着样点数增多,相关系数虽继续增加,但变化幅度较缓。图 2 所示,缓效钾 Kriging 法制图结果表现的规律与 IDW 法大致相同。结合 2.1 部分研究结果,有效磷在样点数为 700~900 个时,制图结果比较可信,在样点数为 1 100 个时,制图结果达到较高可信度;而缓效钾在样点数为 300 个时,制图结果达到较高可信度。由于制图使用的是统一的数据,缓效钾和有效磷制图结果达到较高可信度所需最少样点数的差异与二者的空间变异性不同有关。

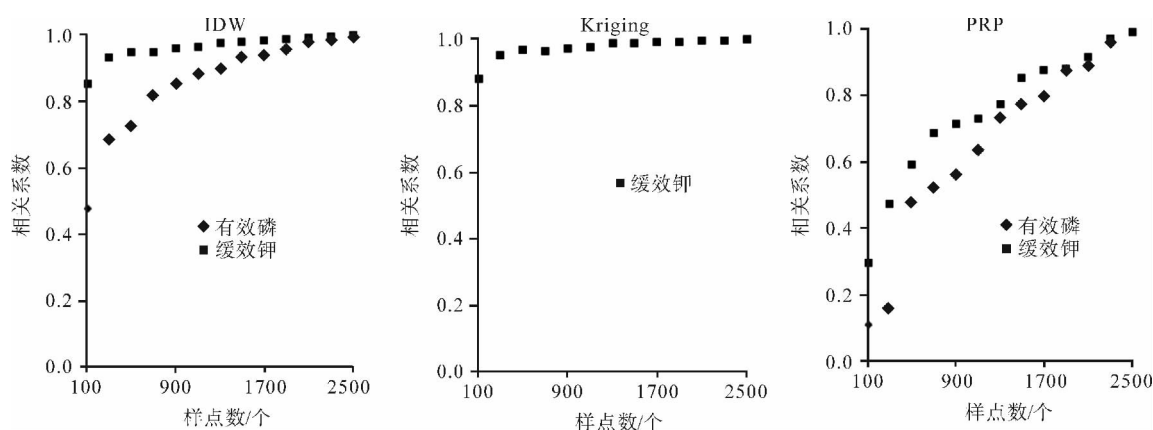


图2 不同尺度子集与试验总集不同插值方法制图结果的相关系数

2.2.2 PRP 图 2 表明,随着样点数增多,有效磷和缓效钾不同尺度各子集与试验总集 PRP 法制图结果相关系数逐渐增大;但在样点数较少的情况下,有效磷、缓效钾不同尺度各子集与试验总集相关系数均较小,制图结果与试验总集差异较大。随着样点数增多,有效磷在样点数为 1 900 个、缓效钾在

1 500 个时,与试验总集制图结果相关系数均在 0.8 以上,制图结果比较可靠。

有效磷、缓效钾 PRP 法制图效果均不理想。这可能是因为在计算过程中,是将制图单元内所有样点的属性平均值作为单元的最终值,以样点平均值为结果不能反映出单元空间区域差

异,对空间随机性变异较强的土壤属性,该法尤其不适合;制图单元空间位置相对固定,其受样点分布的影响较大,不同批次抽样,虽然样点数相同,但图斑内样点已明显发生变异,其制图结果也可能产生较大差异。

### 3 结论与讨论

由于技术与经济成本所限,土壤养分制图一般是利用有限的采样点结合插值方法来预测养分值,但经过人为耕作,养分空间区域差异较大,所以准确的插值方法是认识与研究土壤空间分布特征的有效工具。目前对插值方法制图效果的评价是以有限个数的验证样点实测值与制图结果间的误差统计特征来判断。但验证样点的空间分布及个数是否对评价结果有所影响值得探讨。为了避免这种影响,采用直接比较制图结果图形相似程度的方法,从空间格局角度来评价制图结果优劣,与一般评价方法相比逻辑更严密,亦更能反映制图结果本身的空间差异,有助于对土壤空间分布特征的研究。

本研究结果表明,对于空间随机性变异的有效磷,利用 IDW 法在制图样点少于 500 个时,多次抽样制图结果相关系数波动明显,且与试验总集制图结果相关性较低,但随着样点数增多,多次抽样制图结果相关系数波动具有减缓趋势,且与试验总集制图结果相关程度提高,在样点数为 700~900 个时,制图结果比较可信,在样点数为 1 100 个时,制图结果达到较高可信度;应用 PRP 法制图,有效磷在同一数据尺度多次抽样制图结果间没有相关性,但随着样点数增多,与试验总集相关系数亦随之增大。对于具有空间结构性的缓效钾,利用 IDW、Kriging 法制图,在样点数为 300 个时,多次抽样制图结果相关系数接近 0.90,与试验总集制图结果相关系数达到 0.90 以上,制图结果达到较高可信度。应用 PRP 法制图,随着样点数增多,各子集间相关系数

波动具有减缓趋势,但在 1 300 个样点数时其制图结果相关系数也仅 0.521。以制图结果间相关系数为评价指标对制图质量进行对比表明,Kriging、IDW 法制图精度差距较小,Kriging 法略优于 IDW 法。PRP 法效果最差,与前 2 种方法制图结果差距较大,此方法尤其不适用于空间随机性变异的土壤属性制图。

#### 参考文献:

- [1] 赵巧丽,郑国清,冯晓,等. 河南省安阳县三种土壤全氮含量空间插值方法的比较分析[J]. 土壤通报,2012,43(5):1163-1166.
- [2] 孙义祥,吴传洲,朱克保,等. 插值方法与样点数对县域土壤有效磷空间变异特征评价的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(3):673-678.
- [3] 栾青,马雅丽,李伟伟,等. GIS 支持下的临汾市冬小麦动态估产模型研究[J]. 山西农业科学,2012,40(5):536-539.
- [4] 段晋芳,王青杵,王改玲,等. 基于 GIS 的山西永定河流域降水空间插值方法分析[J]. 山西农业科学,2010,38(3):44-47.
- [5] 郭熙,谢文,胡国瑞,等. 南方丘陵地区水田土壤养分时空变异研究[J]. 天津农业科学,2010,16(6):85-92,95.
- [6] 张路伟,赵彦锋,程道全,等. 基于空间差异度的不同插值方法土壤属性制图效果及影响因素分析——以新乡县为例[J]. 河南农业科学,2013,42(11):76-80.
- [7] 李颖,张俊东,陈庆涛. GPS 大气可降水量空间插值方法对比研究[J]. 气象与环境科学,2013,36(1):1-6.
- [8] 全国农业技术推广服务中心. 耕地地力评价指南[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006.
- [9] 姜秋香,付强,王子龙. 空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展[J]. 水土保持学报,2008,15(1):251-253.
- [10] 史文娇,岳天祥,石晓丽,等. 土壤连续属性空间插值方法及其精度的研究进展[J]. 自然资源学报,2012,27(1):164-175.