

# 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

张路伟<sup>1</sup>, 赵彦锋<sup>1\*</sup>, 程道全<sup>2</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. 中牟县黄河河务局, 河南 中牟 451450)

**摘要:** 利用从 2008 年河南省新乡县测土配方施肥项目 2 694 个农化样中随机抽取的 1 347 个样点数据, 选取有效磷和缓效钾为研究对象, 通过 Kriging、IDW、PRP 3 种插值方法对其进行制图, 以空间差异度为评价标准, 比较不同插值方法的制图效果及影响因素, 以期为土壤属性空间预测提供理论依据。结果表明: 从制图结果空间差异度统计特征值及其各等级面积百分比来看, 制图效果优劣程度为 Kriging 法>IDW 法>PRP 法; 从空间差异度各等级所包含的样点数来看, 不同插值方法制图结果受样点分布影响, 空间差异度小的区域内包含样点数较多, 而空间差异度大的区域内包含样点数较少; 另外, 制图结果还受土壤属性自身空间变异性的影响, 因此, 对于空间随机性变异的土壤属性应在变异较大的区域内增大采样密度, 确保制图结果空间表达的准确性。

**关键词:** 空间差异度; 插值方法; 土壤属性制图; 影响因素

**中图分类号:** S519.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2013)11-0076-05

## Influence Factors and Effects of Different Interpolation Methods for Soil Properties Mapping Based on Spatial Difference Degree—A Case Study of Xinxiang County

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

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

**Abstract:** Kriging, inverse distance weight method(IDW) and polygon value represented by point value method(PRP) were used for mapping of available phosphorus and slow-release potassium, and the influence factors and effects of these interpolation methods for soil properties mapping based on spatial difference degree were analyzed with 1 347 sample data from 2 694 soil samples collected from Xinxiang county of Henan province in 2008. The results showed that the effect of mapping was the best using Kriging method, IDW method was worse, and PRP method was the worst; the effects of mapping with these interpolation methods were influenced by the space distribution of samples, more samples were included in the region with lower spatial difference degree, and the other region included fewer samples; due to the impact of soil properties themselves spatial variability on mapping, for the soil properties with spatially random variation sampling density should be increased in severe variation region to ensure the mapping results accuracy.

**Key words:** spatial difference degree; interpolation methods; soil properties mapping; influence factors

收稿日期: 2013-03-18

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(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, 主要从事土壤资源与环境地理学方面的研究。E-mail: yfzhao@zzu.edu.cn

科学的土壤资源利用和管理是建立在对区域土壤属性空间变异性正确理解基础上的,土壤属性的空间分布图是其空间变异性最直观的表达形式<sup>[1]</sup>。土壤属性制图是建立在土壤属性插值技术之上的,在土壤属性空间插值过程中,土壤属性的空间插值方法、插值精度及制图效果验证是必须考虑的因素<sup>[2]</sup>。随着 GIS 等计算机技术的发展,土壤养分的空间插值方法日趋成熟,其中应用较多的是克里格(Kriging)法和反距离加权插值(IDW)法<sup>[3-5]</sup>,以点代面(PRP)法在土壤养分的空间插值研究中的应用较少,但在农业部测土配方施肥项目中被用来进行土壤养分的制图。目前,对于不同插值方法之间的比较研究较多<sup>[6-7]</sup>,在方法比较中采用交叉验证或独立数据集验证制图效果,并以平均误差、均方根误差、平均绝对误差、离散方差等统计参数作为不同方法制图效果的评价指标<sup>[8-9]</sup>。此类评价指标是对离散的点与点之间统计差异的反映,不带有制图结果的空间特征信息。目前,关于制图结果评价的研究中,对其空间格局表达效果的研究较少,往往忽略了制图本身是“空间格局表达”,土壤属性空间变异与实际情况的符合程度或相似程度才是判断制图结果准确与否的充分依据。基于此,本研究选取空间差异度为评价指标,利用从 2008 年河南省新乡县测土配方施肥项目 2 694 个农化样中随机抽取的 1 347 个样点数据,以有效磷和缓效钾为研究

对象,对 Kriging、IDW、PRP 法制图的效果进行比较,以期土壤属性空间预测提供理论依据。

## 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

本研究利用 2008 年新乡县测土配方施肥项目 2 694 个农化样点数据,利用 ArcGIS 9.3 对 2 694 个农化样点进行随机抽样,从中抽取 1/2(1 347 个)作为样本数据。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,缓效钾为正态分布。从变异系数(CV)来看,通常认为  $CV \leq 10\%$  时为弱变异性,  $10\% < CV \leq 100\%$  时为中等变异性,  $CV > 100\%$  时为强变异性<sup>[10]</sup>,根据这一划分标准,表 1 中各数据均为中等变异性。从土壤属性样本数据与总数据的统计特征看,两者非常相近。

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
	1 347	16.3	3.6	76.5	10.6	对数正态	65.0
缓效钾	2 694	609.2	101.0	1 187.0	169.5	正态分布	27.8
	1 347	607.5	101.0	1 173.0	174.0	正态分布	28.6

### 1.3 研究方法

采用 GS+5.0 对有效磷、缓效钾进行半方差函数计算,由样本数据与总数据的半方差函数图可知,有效磷为空间随机性变异;缓效钾具有较好的空间

结构性(图 1)。根据最佳模型判断原则,获得缓效钾的最佳变异函数理论模型及参数,缓效钾总数据与样本数据的块金系数分别为 68.2%、68.5%,最佳拟合模型均为球状模型(表 2)。

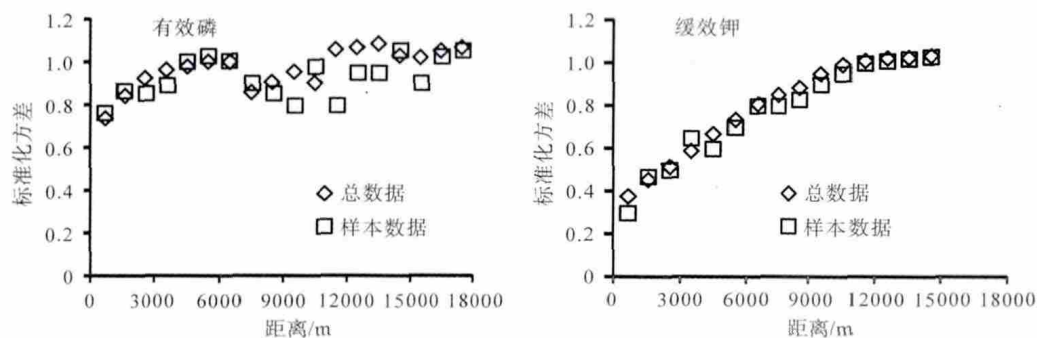


图 1 样本数据和总数据有效磷和缓效钾的半方差函数图

表 2 缓效钾变异函数理论模型参数

数据集	模型	变程/m	块金方差	结构方差	块金系数/%	决定系数	残差
总数据	球状	13 490	0.328	1.032	68.2	0.990	0.000 8
样本数据	球状	14 320	0.325	1.034	68.5	0.980	0.000 7

由于 Kriging 法插值的土壤属性需具有空间结构性,而有效磷为空间随机性变异,不满足此插值方法要求,故只采用 IDW 和 PRP 法进行制图。其中 PRP 法以新乡县 1:50 000 土壤图为基础进行制图,计算单元为每个土壤图斑。

对于缓效钾,将随机抽取的样点与总数据分别利用 Kriging、IDW、PRP 法进行制图。一般认为制图所采用的样点数越多,制图结果越精确,故以总数据的插值结果为基准,采用栅格相减法,将随机样点集的插值结果与总数据集相减取绝对值,并除以总数据集的插值结果,得到数据集间插值结果的空间差异度,按照 $\leq 0.1$ 、 $0.1\sim 0.2$ 、 $0.2\sim 0.3$ 、 $>0.3$  的标准将空间差异度分为 4 个等级。通过各插值方法制图结果空间差异度的统计特征值以及各等级面积百分比来比较制图效果优劣。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同插值方法土壤属性制图结果的空间差异度分析

2.1.1 空间差异度统计特征 由表 3 可知,有效磷 IDW、PRP 法制图结果空间差异度的 CV 分别为 108.9%、144.2%,说明 IDW 法制图结果空间整体变异较小,而 PRP 法较大。缓效钾不同插值方法制图结果空间差异度 CV 中 Kriging 法最小,为 72.2%;IDW 法次之,为 92.5%;PRP 法最大,为 112.8%。以上表明,Kriging 法制图结果空间差异度变异系数最小,制图效果最好,IDW 法次之,PRP 法最差。

表 3 不同插值方法制图结果的空间差异度统计特征值

属性	方法	最小值/ (mg/kg)	最大值/ (mg/kg)	平均值/ (mg/kg)	标准差	CV/ %
有效磷	IDW	0	9.041	0.423	0.428	108.9
	PRP	0	5.325	0.935	1.348	144.2
缓效钾	IDW	0	3.232	0.124	0.135	92.5
	Kriging	0	0.276	0.097	0.070	72.2
	PRP	0	1.284	0.250	0.337	112.8

2.1.2 空间差异度各等级面积百分比 由表 4 可知,有效磷 IDW 法制图结果空间差异度 $\leq 0.1$  等级区域面积占总面积的 37.3%,PRP 法为 35.2%,二者较接近;PRP 法制图结果空间差异度 $>0.3$  等级区域面积占总面积的 37.6%,IDW 法为 5.4%,说

明有效磷 PRP 法制图结果空间差异度高等级面积较大,制图效果较差。从缓效钾不同插值方法制图结果空间差异度各等级面积百分比的大小可以明显看出,Kriging、IDW、PRP 法都以 $\leq 0.1$  等级为主,但 $\leq 0.1$  等级面积以 Kriging 法最大,PRP 法最小,所以,缓效钾不同插值方法制图效果优劣顺序为:Kriging 法 $>$ IDW 法 $>$ PRP 法。对于有效磷与缓效钾,由于二者制图所用样点数与分布一致,所以两者制图结果空间差异度等级面积百分比的差异是由于其自身空间变异特征造成的,这说明有效磷制图结果受样点空间变异随机性影响较大。

表 4 空间差异度各等级的面积百分比及样点数分布

属性	方法	等级	面积/%	样点数/个
有效磷	IDW	$\leq 0.1$	37.3	560
		$0.1\sim 0.2$	34.5	440
		$0.2\sim 0.3$	22.8	260
		$>0.3$	5.4	87
	Kriging	$\leq 0.1$	—	—
		$0.1\sim 0.2$	—	—
		$0.2\sim 0.3$	—	—
		$>0.3$	—	—
	PRP	$\leq 0.1$	35.2	830
		$0.1\sim 0.2$	26.9	209
		$0.2\sim 0.3$	0.3	170
		$>0.3$	37.6	128
缓效钾	IDW	$\leq 0.1$	80.3	745
		$0.1\sim 0.2$	8.9	290
		$0.2\sim 0.3$	4.5	175
		$>0.3$	6.3	137
	Kriging	$\leq 0.1$	85.2	779
		$0.1\sim 0.2$	9.6	292
		$0.2\sim 0.3$	2.4	180
		$>0.3$	2.8	96
	PRP	$\leq 0.1$	71.3	876
		$0.1\sim 0.2$	14.9	280
		$0.2\sim 0.3$	6.9	114
		$>0.3$	6.9	104

### 2.2 不同插值方法土壤属性制图结果的影响因素

从表 4 可知,对于 Kriging、IDW、PRP 法,大部

分样点被包含在制图结果空间差异度较小的区域,差异度较大区域分布样点较少;对于 PRP 法来说,差异度小的区域较 Kriging 和 IDW 法所包含的样点多,且差异度小的区域和差异度大的区域所包含样点数相差很大。由此说明,Kriging、IDW、PRP 法制图结果受样点分布影响,尤其是 PRP 法。

如图 2 和图 3 所示,样本数据的 Kriging 法和 IDW 法制图结果空间差异度分布格局较类似,均以空间差异度 $\leq 0.1$ 等级的图斑为主,但 IDW 法图斑比 Kriging 法零散;PRP 法空间差异度 $> 0.2$ 的图斑在空间分布上表现突出,且集中呈大片状分布。从制图结果差异度空间分布格局来看,3 种制图方

法优劣顺序为 Kriging 法 $>$ IDW 法 $>$ PRP 法。同一种方法,有效磷和缓效钾制图结果在空间同一位置的差异度大小有明显差异,由于两者制图利用的是同一样本,只是属性项空间变异特征不同,所以这种差异应该是土壤属性空间变异特征引起的,与样点分布无关。

不同土壤属性在相同样本数据条件下,利用相同的插值方法获得的制图结果在同一空间区域差异明显。如图 2B 和图 3C 所示,在新乡县中部区域,图 2B 里空间差异度最小的区域在图 3C 中有一部分变为空间差异度最大的区域,由于样本数据相同,所以发生这种突变的原因与土壤属性的空间变异性有关。

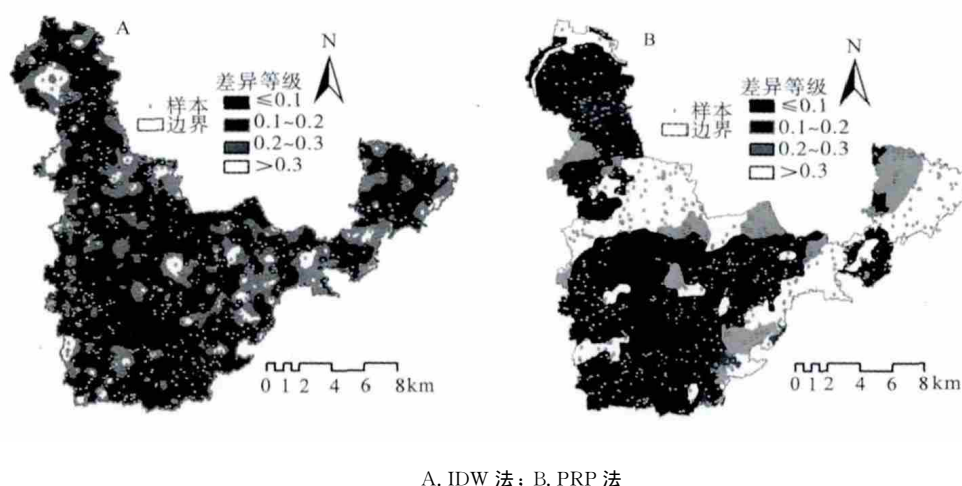


图 2 有效磷样本数据不同插值方法制图结果空间差异度等级分布

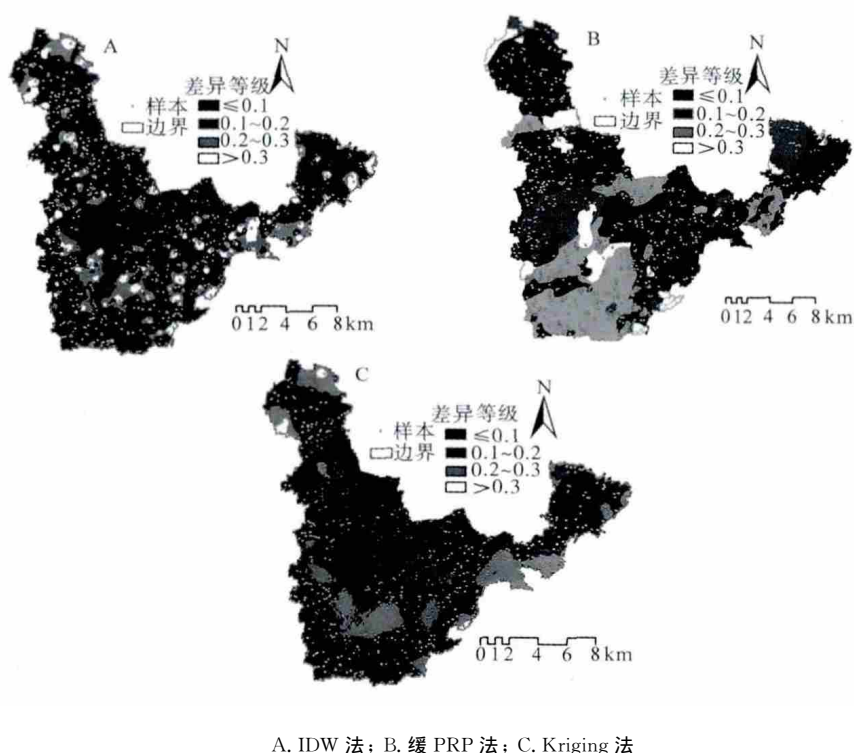


图 3 缓效钾样本数据不同插值方法制图结果空间差异度等级分布

### 3 结论与讨论

土壤具有较强的空间变异性,土壤属性制图的准确与否对我们认识与研究土壤空间分布特征有较大影响。目前一般采用预测值与实测值均方根误差及相关系数为评价指标来判断制图结果的好坏,但土壤属性制图结果是“空间格局的表达”,均方根误差和相关系数只是离散的点与点间的统计特征的描述,能否说明制图结果的空间变化是值得探讨的。基于空间差异度,直接比较制图结果空间差异分布特征,从空间格局角度来评价制图结果的优劣,可以直观地反映土壤属性空间变异特征,有助于对土壤空间分布特征的研究。

本研究以空间差异度为评价指标,对 3 种插值方法制图效果进行比较,结果表明:3 种插值方法制图结果空间差异度变异系数以 PRP 法最大,Kriging 法最小;3 种插值方法制图结果空间差异度各等级面积百分比以 Kriging 法 $\leq 0.1$  等级最大,IDW 次之,PRP 最小,即 3 种插值方法制图效果优劣程度为 Kriging 法>IDW 法>PRP 法;3 种插值方法制图效果受样点布局与土壤属性自身空间变异性影响,且 PRP 法尤其受样点分布影响。土壤调查制图应强调样点布局的空间均衡性,即便对于空间相关性较强的土壤属性制图,样点分布对制图结果也有明显影响。而对于空间变异性较大的土壤属性,更要考虑数据高度随机性的影响,在局部变异较大地区应增加采样密度,以保证制图结果反映地理规律。

#### 参考文献:

- [1] 刘付程,史学正,于东升,等.基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区土壤属性制图研究[J].土壤学报,2004,41(1):21-26.
- [2] Mueller T G, Pierce F J, Schabenberger O, *et al.* Map quality for site-specific fertility management[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(5): 1547-1558.
- [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] 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.
- [7] 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.
- [8] 于婧,聂艳,周勇,等. 江汉平原典型区农田土壤全氮空间变异的多尺度套合[J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 938-944.
- [9] 霍宵妮,李红,张微微,等. 北京耕作土壤重金属多尺度空间结构[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 223-229.
- [10] 朱松雨. 土壤主要理化特性的空间变异性初步研究[D]. 北京:北京师范大学, 1999.