

# 山地丘陵耕地土壤养分最优插值方法研究 ——以江西省渝水区水北镇为例

郭 熙<sup>1</sup>, 黄 俊<sup>1</sup>, 谢 文<sup>1</sup>, 陶丹丹<sup>1</sup>, 鲁 敏<sup>3</sup>, 赵小敏<sup>2\*</sup>

(1. 江西农业大学 土地科学研究所, 江西 南昌 330045; 2. 南昌师范高等专科学校, 江西 南昌 330029;  
3. 江西省土地开发整理中心, 江西 南昌 330002)

**摘要:** 以江西省渝水区水北镇为研究区, 利用 823 个采样点的耕地土壤养分数据, 分析区内耕地土壤养分含量与海拔、坡度的相关性, 采用协同克里格插值方法, 结合海拔、坡度进行插值, 并把经交叉检验后的结果与逆距离权重法、普通克里格法的结果进行比较。结果表明, 结合海拔、坡度进行插值后, 精度有明显提高。插值精度排序为协同克里格法> 普通克里格法> 逆距离权重法, 在 3 种插值方法中, 协同克里格法为最优插值法。

**关键词:** 土壤养分; 空间插值; 逆距离权重法; 普通克里格法; 协同克里格法

**中图分类号:** S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)02-0076-05

## The Best Interpolation to Evaluate Soil Nutrient in the Mountainous Farmland

——A Case Study of Shuibe Town, Yushui Country, Jiangxi Province

GUO Xi<sup>1</sup>, HUANG Jun<sup>1</sup>, XIE Wen<sup>1</sup>, TAO Dan-dan<sup>1</sup>, LU Min<sup>3</sup>, ZHAO Xiao-min<sup>2\*</sup>

(1. Research Institute of Land Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;  
2. Nanchang Teachers College, Nanchang 330029, China; 3. Jiangxi Land Development Reorganization  
Center, Nanchang 330002, China)

**Abstract:** The relationship between soil nutrient content and elevation and slope was evaluated based on the farmland soil nutrient data of 823 sampling sites in Shuibe town, Yushui country, Jiangxi province. The method of co-Kriging was used with elevation and slope considered, and the result of cross-examination were compared with that by inverse distance weight (IDW) and ordinary Kriging. Results revealed that the accuracy of interpolation was obviously improved when elevation and slope were combined. Among the three interpolation methods, co-Kriging was the best one and followed by ordinary Kriging.

**Key words:** Soil nutrient; Interpolation method; Inverse distance weight; Ordinary kriging; Co-kriging

对土壤养分空间分布的准确了解是精准农业精确施肥的基础, 是衡量作物产量和质量的重要指标。由于土壤养分分布的复杂性, 以及经济和人的原因, 就必须使用有限的采样点数据, 利用插值技术得到整个区域的土壤养分分布情况<sup>[1]</sup>。采用地统计插

值方法制作土壤养分分布图, 为精确施肥提供参考依据。

土壤养分的空间变异主要源于系统变异(如由母质、气候、水文、地形、生物、时间、人类活动等引起的)和随机变异(如由取样、分析等的误差引起

收稿日期: 2010-07-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09)

作者简介: 郭 熙(1974-), 男, 江西吉安人, 副教授, 主要从事土壤遥感与信息技术研究。E-mail: xig435@163.com

\*通讯作者: 赵小敏(1962-), 男, 江西上高人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤学、土地利用与规划、资源环境、遥感与地理信息系统等研究。E-mail: zhxm889@yahoo.com.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的)<sup>[2]</sup>。目前,我国对土壤养分的研究主要为北方农田,在进行插值时主要考虑采样方法<sup>[3]</sup>,而我国南方丘陵地区对养分影响最大的为地形因素,因此要得到较准确的插值结果必须结合地形因素进行插值。本研究以渝水区水北镇为例,结合地形因子,利用协同克里格法得到整个区域的养分分布图,并把插值结果与逆距离权重法、普通克里格法的插值结果进行比较<sup>[4]</sup>。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

水北镇东临江西省樟树市义城乡与中洲乡,西连渝水区下村镇、人和乡、鹄山乡,南接渝水区北岗乡,北邻上高县蒙山乡、高安市的田南乡和建山镇,是四县(市)十乡(镇)的结合部,总面积 131.23km<sup>2</sup>。

### 1.2 数据采集

1.2.1 资料来源 ①渝水区水北镇耕地土壤采样点养分数据;②渝水区水北镇地形图(1:1万);③渝水区水北镇土地利用现状图(1:1万);④渝水区土壤图(1:5万)

1.2.2 采样方法与养分检测方法 土样采集于秋收后秋冬播作物播种或移栽前进行。大田样采集 0~20cm 耕层土样,在所确定的田块采用“S”法均匀随机采取 15~20 个土壤样品,充分混合后,四分法留取 1kg,最后共得到 823 个采样点。耕地土壤养分主要采用电位法(pH)、重铬酸钾法(有机质)、碱解扩散法(碱解氮)、双酸提取—钼锑抗比色法(有效磷)、乙酸铵提取—火焰光度法(速效钾)5 种方法进行样点检测。

### 1.3 研究方法

1.3.1 空间插值方法 ①逆距离权重法(Inverse distance weighting,简称 IDW)。在计算插值时,实测点离预测点越近,则对插值的结果影响越大。用 IDW 法生成的插值面依赖于冥参数 P 选择和研究样区的确定。②普通克里格法(ordinary kriging,简称 OK)。Kriging 插值是利用已知点的数据去估计未知点(X<sub>0</sub>)的数值,其实质与逆距离加权法一样<sup>[5]</sup>,也是一种局部估计的加权平均方法,但它对各

观察点权重的确定是通过半方差图分析而获取的<sup>[6]</sup>。③协同克里格法(ordinary cokriging,简称 CK)。协同克里格法是普通克里格的单个区域化变量向多个区域化变量的一种拓展,理论上无本质区别,但它综合考虑了影响某一空间信息的多因子共同作用,在实际应用上意义更大。在本次研究中,为了提高插值精度,综合考虑了南方丘陵区地形因子对土壤养分的影响。

1.3.2 插值结果检验方法 在生成克里格插值图后,通过交互式检验方法,得到一些参数来评价插值结果的预测精度<sup>[7]</sup>。主要检验指标有:

设 Z(x<sub>i</sub>)和 Z<sup>\*</sup>(x<sub>i</sub>)分别为实测值和预测值。

(1) 平均预测误差(ME)

$$ME=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n[Z(X_i)-Z^*(X_i)]$$

当 ME 为零时,表明预测是无偏的,因此,ME 越趋近于零,则预测精度越高。

(2) 均方根误差(RMSE)

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n[Z(X_i)-Z^*(X_i)]^2}$$

RMSE 越小,表明预测值越接近实测值,预测精度越高。

(3) 最大相对误差绝对值

$$\text{最大相对误差绝对值}=\frac{ABS([Z(X_i)-Z^*(X_i)]}{Z(X_i)}$$

## 2 实例分析

### 2.1 样本数据统计分析结果

2.1.1 土壤养分统计特征 为避免特异值对连续表面造成的中断,使变异函数失去结构性,因此,采用 3 倍方差法来检查特异值,然后用正常值最大值替代特异值。处理特异值之后,其养分数据的统计分析见表 1。从表 1 可以看出,水北镇内的土壤养分空间异质性明显。有效磷含量从最低的 0.100mg/kg 到最高的 53.900mg/kg, pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾最高值分别是最低值的 1.73、4.99、5.91、539、9.5 倍。

图 1 为渝水区水北镇 823 个采样点位分布图。

表 1 渝水区水北镇土壤养分元素统计特征

项目	最小值	最大值	平均数	中位数	总体方差	总体标准差	偏度系数	峰度系数	变异系数/%
pH	3.710	6.440	4.899	4.980	0.329	0.574	0.080	-0.684	11.711
有机质/(g/kg)	12.900	64.400	37.933	38.300	63.791	7.987	-0.049	0.151	21.056
碱解氮/(mg/kg)	0.058	0.344	0.175	0.173	0.001	0.038	0.248	0.715	21.804
有效磷/(mg/kg)	0.100	53.900	17.177	15.200	95.828	9.789	0.986	1.107	56.990
速效钾/(mg/kg)	30.000	285.000	106.057	95.000	2010.241	44.836	1.234	2.002	42.275

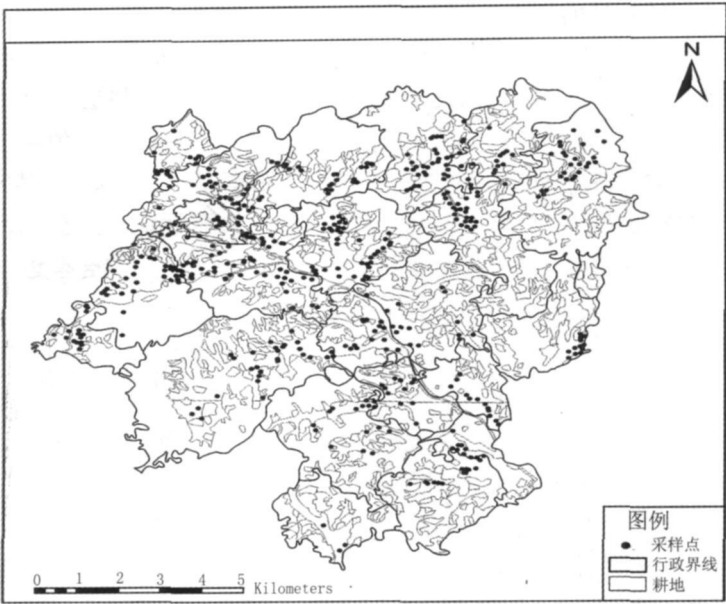
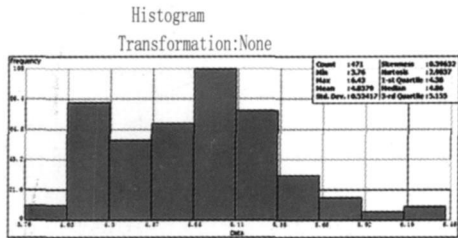


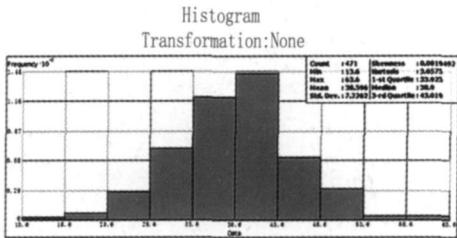
图 1 渝水区水北镇 823 个采样点位分布情况

2.1.1.2 数据分布分析 在插值中, 如果空间数据不是正态分布, 那么变异函数就会发生畸变, 因此在进行插值处理前应当将数据转换为正态分布或近似正态分布。根据 823 个采样点的直方图分析 (图 2), pH、

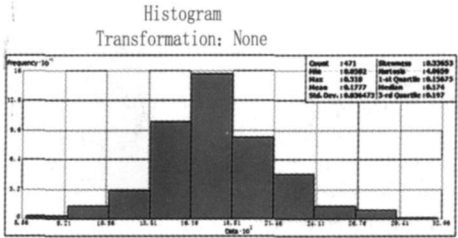
有机质、碱解氮呈现正态分布, 有效磷、速效钾经 BOX-COX 变换后呈现近似正态分布。因此, 在后面的插值过程中, 能够在一定程度上避免变异函数畸变。



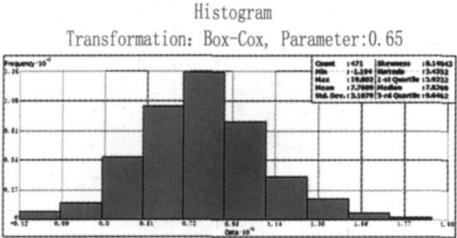
Data Source:  
Layer: 水北镇采样点投影后  
Attribute: pH



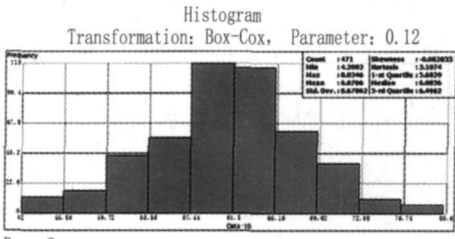
Data Source:  
Layer: 水北镇采样点投影后  
Attribute: 有机质



Date Source:  
Layer: 水北镇采样点投影后  
Attribute: 水解性氮



Date Source:  
Layer: 水北镇采样点投影后  
Attribute: 有效磷



Data Source:  
Layer: 水北镇采样点投影后  
Attribute: 速效钾

图 2 渝水区水北镇土壤养分分布状态

2.1.3 土壤养分与地形因子相关性分析 土壤养分受多种因素的影响,其中,坡度和海拔是最重要的影响因子,其含量与坡度、海拔之间存在一定的依赖关系。

由表 2 可以看出,土壤养分大体上随着坡度的增加而下降。有机质变化最为明显,速效钾次之。

表 2 不同坡度下耕地土壤养分平均值					
坡度/度	pH	有机质/ (g/kg)	碱解氮/ (mg/kg)	有效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
0~12	4.918	38.212	0.174	18.192	105.386
13~20	4.854	37.783	0.174	15.169	105.142
21~30	4.858	36.040	0.180	15.120	87.400
31~50	4.893	34.920	0.176	15.360	100.500

由表 3 可以看出,土壤养分总体上随着海拔的升高而下降。pH 和有机质尤为明显,有效磷和速效钾由于最大值与最小值之间的插值过大,这种趋势不太明显,但总体上符合这一变化趋势。

表 3 不同海拔下耕地土壤养分平均值					
海拔/m	pH	有机质/ (g/kg)	碱解氮/ (mg/kg)	有效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
36~42	5.349	39.820	0.183	23.510	98.638
43~49	4.951	38.658	0.173	17.932	107.948
50~56	4.903	37.802	0.172	16.928	104.344
57~64	4.836	37.381	0.176	17.341	104.511

2.2 空间插值结果分析

在 ArcGIS 9.2 软件中,利用地统计模块中的 IDW、OK、CK 3 种插值方法进行插值,在 CK 插值时,加载坡度和海拔 2 个地形因子来提高插值精度,3 种插值法结果如图 3。

从图 3 可以看出,OK 内插的图像边界复杂,说明在插值过程中的平滑成分比较少,值的变化比较小,比 IDW 更接近于真实值。CK 由于加载了坡度和海拔 2 个因子的插值图像边界比 OK 更复杂,说明 CK 的插值精度高于 OK。

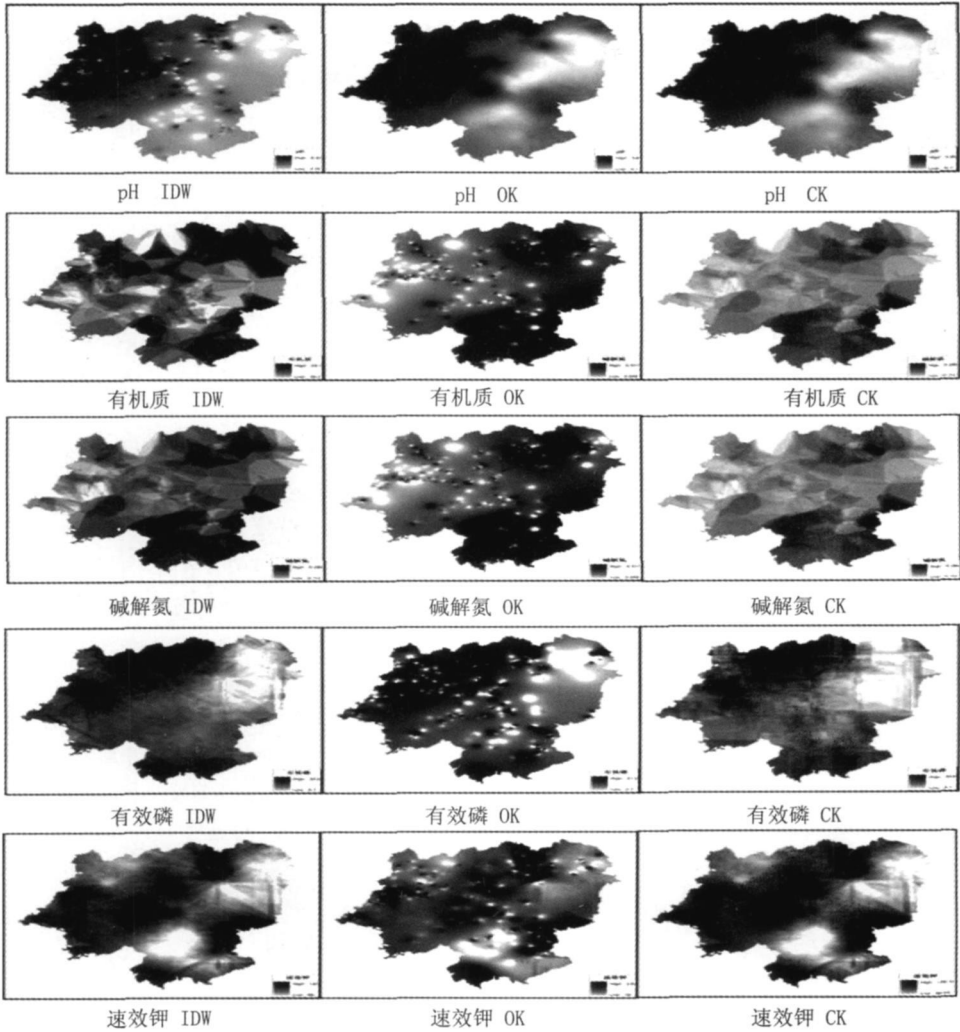


图 3 渝水区水北镇土壤养分插值结果

2.3 插值结果精度比较

利用已知的原始数据, 分别对渝水区水北镇土壤养分的 3 种插值方法进行交叉检验, 比较各插值误差的大小(表 4)。从表 4 可以看出, 各插值法的

ME 绝对值大小排序为: IDW<CK<OK, 均方根误差排序为: CK<OK<IDW(速效钾除外), 最大相对误差绝对值排序为: CK<OK<IDW(速效钾除外)。因此, 可以看出, CK 插值法为最优的插值方法。

表 4 交叉检验误差比较

检验指标	插值方法	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
平均预测误差(ME)	IDW	− 0.001 1	0.017 8	0.000 1	− 0.008 3	0.633 6
	OK	− 0.005 3	− 0.107 4	0.000 4	0.089 2	2.327 0
	CK	− 0.004 8	− 0.109 6	0.000 4	− 0.055 4	2.322 2
均方根误差(RMSE)	IDW	0.696 2	10.130 4	0.045 6	11.768 1	29.816 4
	OK	0.654 9	8.979 5	0.044 1	10.192 8	47.540 1
	CK	0.469 6	6.877 6	0.031 7	9.482 8	41.292 3
最大相对误差绝对值	IDW	65.632 8	251.183 4	158.460 8	23 650.000 0	167.273 0
	OK	34.776 2	203.970 6	223.410 0	18 580.000 0	275.666 7
	CK	31.514 5	171.085 3	202.486 5	17 870.000 0	213.513 5

注: IDW 为倒距离加权平均, OK 为普通克里格, CK 为协同克里格

3 结论与讨论

1) 采样点的最大值与最小值相差过大将影响插值精度。本研究中, 经剔除异常点后, 有效磷的最大值是最小值的 58 倍, 插值后最大相对误差绝对值过大, 在一定程度上影响了插值精度, 使用协同克里格法能减少这种原因的影响。

2) 一般在进行克里格插值前都需对原始数据进行正态检验, 原始数据是否为正态分布或近似正态分布将影响插值结果。在本研究中, 速效钾的偏度系数为 1.234, 峰度系数为 2.002, 经 BOX-COX 转换后符合正态分布, 其插值结果的均方根误差为 IDW<CK<OK。由此可见, 采样点数据经转换后也会在一定程度上影响插值精度<sup>[8]</sup>。

3) 在山地丘陵区考虑地形因子的影响能有效提高插值精度。本研究表明, 在地形因子对土壤养分空间分布占主导的区域, 利用协同克里格法得到的插值结果精度高于普通克里格法和反距离加权平均法。

4) 采用协同克里格法总体上能反映土壤养分的空间分布, 但由于地形原因、形状原因, 插值精度还不是很, 经过检验, 造成其插值精度不太高的原因不是插值方法<sup>[9]</sup>。因此, 在山地丘陵区进行养分插值研究时, 可以通过考虑区域特征和增加采样点

来提高插值精度。

参考文献:

[1] 刘静, 蔡国学, 刘洪斌. 西南丘陵地区土壤有机质含量的空间插值法研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(03): 107-112.

[2] 石小华, 杨联安, 张蕾. 土壤速效钾养分含量空间插值方法比较研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 68-72.

[3] 霍霄妮, 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.

[4] 王珂, 许红卫, 史舟, 等. 土壤钾素空间变异性和空间插值方法的比较研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 318-322, 344.

[5] 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, 13.

[6] 李笑吟, 毕华兴, 张志, 等. 晋西黄土区土壤水分有效性分析的克立格法[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1004-1010.

[7] 李启权, 王昌全, 岳天祥, 等. 不同输入方式下 RBF 神经网络对土壤性质空间插值的误差分析[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 360-365.

[8] 郭熙, 郭晓敏, 谭雪明, 等. 农田钾素空间变异插值模型研究——以江西省泰和县苏溪养分监测村为例[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2003, 25(4): 528-531.

[9] 郭熙, 郭晓敏, 谭雪明, 等. 农田养分空间变异研究——以江西省泰和县苏溪镇为例[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(1): 73-77.