

采样数量与空间插值方法对华北平原典型区 土壤质量评价空间预测精度的影响^①

张贝尔^{1,2,3}, 黄 标^{1*}, 赵永存¹, 张晓光^{1,2}, 孙维侠¹, 胡文友¹, 杨劲松¹

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 安徽省经济研究院, 合肥 230001)

摘 要: 空间插值方法的差异以及采样数量不同对土壤质量评价空间分布的预测精度会产生影响。本文通过随机抽样的方法, 以山东省禹城市的土壤质量指数为例, 从 359 个土壤采样点中抽取了 340, 170, 90, 50, 30 五个样本子集, 通过普通克里格、简单克里格、反距离加权法和样条函数法 4 种插值方法, 分别对其空间变异和布局进行了解析和预测。结果表明: 不同插值方法对预测精度影响不显著, 而采样点数量则显著影响了土壤质量指数空间分布预测的精度。本文提出在华北平原县域尺度上, 以土壤质量评价作为调查目的的土壤采样中, 90 个样点是比较适宜的采样数量。同时, 将我们的结果与 Cochran 最佳采样数量计算公式获取的最佳采样量比较后发现, Cochran 方法获取的最佳采样数量明显偏低, 若不考虑实际的空间变异情况, 仅仅使用 Cochran 公式可能会导致土壤质量空间预测不准确。

关键词: 土壤质量评价; 采样数量; 空间插值方法; 空间变异; 华北平原

中图分类号: S159-3

土壤是不均匀变化的连续体, 土壤各种特性值在不同的空间位置上具有明显差异, 这种属性称为土壤特性的空间变异性。为了了解土壤质量的空间分布状况, 需要开展土壤调查采样工作, 但是任何的土壤质量调查采样都只能是一个有限的采样过程, 因此在土壤质量调查中确定合理的采样数量是至关重要的^[1-3]。目前, 区域土壤质量评价通常都是, 首先从有限的采样点获取与土壤质量相关的指标实测值, 然后计算采样点的土壤质量指数, 最后通过各种空间内插或者外延技术进行区域内整个面上土壤质量指数的空间预测^[4-8]。在这个空间点面拓展的过程中, 插值方法的差异以及采样数量的不同对最终预测结果的精度都可能产生影响。

为了分析上述问题, 国内外开展了一系列相关的研究。Webster 和 Oliver^[9]对一个模拟出的、自相关域的合理采样密度进行了研究, 得到 400 个样点可以稳健地估计半方差函数, 225 个样点可以较可靠地估计半方差函数, 150 个样点可以基本满足要求, 100 个样点是最低的要求, 而 50 个样点则不能满足要求的结论; Gascuel-Oudou 和 Boivin^[10]通过从分布在

Senegal 河流谷地 288 hm² 上的 561 个栅格样点中抽取不同样点数量下的各 20 次重复, 探讨了不同样点数量下半方差函数估计的统计学特征, 认为 200 个样点是比较合适的。王志刚等^[3]通过对江苏省如皋市 888 个采样点的不重复随机抽样, 探讨了采样点数量对土壤肥力指标空间变异解析的影响, 认为长江冲积物形成的土壤上, 针对我国县级农业管理和生态环境规划的土壤调查, 采集 250 个样点较为合适。Marcos 等^[4]利用间距的规则网格布点, 对巴西 Rafard 地区土壤最佳样点数量进行研究, 认为对土壤全磷, 全钾含量和盐基饱和度进行调查时, 每公顷至少需要 1 个样点, 而对土壤黏粒含量和有机质含量进行调查时, 每 2 ~ 3 hm² 需要一个样点。Yu 等^[5]利用网格法, 抽取了 6 种采样密度, 考察了余江县不同土地利用类型、不同土壤类型上土壤有机碳含量调查所需的最佳采样密度, 结果证明采样密度对土壤有机碳调查十分关键, 在县域尺度上, 设置相同间距的网格间距并不能有效地反映实际变异, 设置采样密度时候, 土地利用类型和土壤类型的差异需要被充分考虑。上述研究是利用模拟数据或实地调查数据研究采样密度对空间

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)和公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001-1)资助。

* 通讯作者(bhuang@issas.ac.cn)

作者简介: 张贝尔(1983—), 男, 安徽舒城人, 博士研究生, 主要从事土壤质量评价、土壤空间预测和不确定性分析以及遥感与地理信息系统应用等方面研究。E-mail: bellzhang@yahoo.com

预测精度的影响,并推荐合适的采样量。土壤也有部分研究是从不同空间插值方法对预测精度影响的角度着手展开讨论,如陈光等^[11]对湖北鄂州市进行土壤养分有效氮,有效磷,有效钾和 pH 采样调查,研究了空间插值方法以及采样密度对土壤属性空间预测精度的影响,研究表明大部分插值结果的误差随着采样点数量的增加而降低,而不同采样密度下,克里格插值法和反距离加权法的预测精度均高于样条函数法。此外,还有大量研究直接利用 Cochran 最佳采样数量计算公式,依靠数据的统计特征进行最佳采样数量的推荐,如姚荣江等^[12]、樊燕等^[13]用此方法分别对黄河三角洲盐分空间变异、重庆市吴滩镇土壤重金属空间变异的最佳采样数量进行了研究。

目前关于插值方法以及采样数量对土壤属性空间预测精度的影响的研究多是对一个或者几个土壤属性展开的^[14-17]。而在区域土壤质量评价方面,以土壤质量指数这个反映土壤质量的综合指标作为研究对象,分析采样数量以及插值方法对其空间预测的精度影响,更有助于在土壤质量评价前建立合理的土壤采样布点方案,有效地提高空间预测精度,在目前开展的土壤质量以及地力评价中具有重要的理论和现实意义。本文拟以华北平原典型地区禹城市为例,从以下几方面展开研究:探讨不同的插值方法在不同的采样密度下对土壤质量空间分布的预测精度的影响。确定适合华北平原区土壤质量评价的合理采样数量。

1 研究区概况及数据采集

1.1 研究区概况

本文研究区山东省禹城市(36°40' ~ 37°12'N, 116°22' ~ 116°45'E)位于华北平原中部,属于暖温带季风气候,年平均气温 13.1℃,年平均降雨量 593 mm,降雨多集中在 6—8 月。该市属于黄河冲积平原,地势平缓,全市总面积 990 km²,其中耕地面积 53 000 hm²^[18]。根据中国土壤系统分类检索^[19],禹城市土壤以雏形土(97.8%)为主,盐成土(2.2%)分布面积较小。该区域是中国传统的农业区,是我国重要的商品粮基地。目前以玉米-小麦轮作为主要种植方式,年产粮食约 67 万 t。禹城市的气候、地形条件、土壤类型、耕作方式和农业发展水平等方面在华北平原地区均具有较好的典型性和代表性,其研究结果可以为华北平原其他类似区域的土壤质量调查工作提供一定借鉴。

火焰光度法测定;pH 利用电位法测定(pHs-3C 型 pH

1.2 样品采集和分析

本研究利用 2 km × 2 km 的网格布点作为基准,再考虑土地利用和土壤类型进行了一定的调整,以确保采样点位于农业用地上,且每个土种上都采集到一定数量的样点。共采集了研究区 395 个表层土壤(0 ~ 20 cm)的样品(图 1)。采样时,在每个采样点位置 10 m 半径内,采集 5 ~ 8 处耕层土壤,均匀混合后缩分至 1 kg 装袋。为了避免作物生长期间施肥的影响,样品采集在 2008 年 6 月当季作物(小麦)收获后、下季作物(玉米)播种前进行,采样时采用 GPS 记录每个采样点的经纬度,并详细记载采样点的地理位置、土地利用类型、植被覆盖、土壤类型等基础信息。

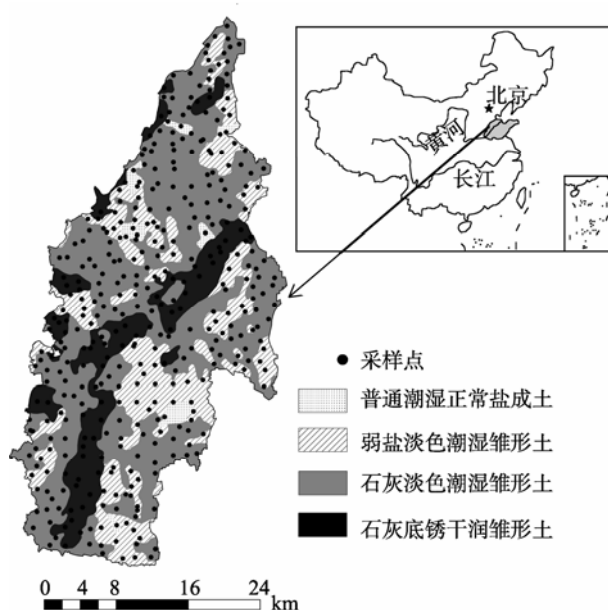


图 1 研究区土壤类型分布及样点图

Fig. 1 Study area, soil map and soil sampling sites in Yucheng County, China

土壤样品采集后在室温下风干,去除草根石块,然后过 2 mm 尼龙筛,装袋备用。为了全面地了解禹城市土壤肥力质量状况,本研究选取了土壤黏粒含量、土壤电导率(EC)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、速效磷(AP)、速效钾(AK)、土壤 pH、土壤有机质(SOM)和阳离子交换量(CEC)等 10 个土壤物理和化学性质指标作为土壤质量评价指标。其中土壤黏粒含量利用吸管法测定^[20];EC 用电导仪 DDS-317 测定^[21];TN 利用凯氏法测定^[22];TP 和 TK 经 HF-HClO₄-HNO₃ 消化,分别利用比色法和火焰光度法测定;AP、AK 分别用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法和乙酸铵浸提-计^[21];SOM 用“Walkley-Black”法测定^[23];CEC

用乙酸铵法测定^[21]。

2 研究方法

2.1 土壤肥力质量评价方法

本研究采用土壤肥力综合质量指数法。该方法通过 4 个步骤实现获取禹城市土壤肥力综合指数：利用主成分分析法选择合适的最小数据集以减少肥力指标间的相关性和信息冗余；对土壤指标进行归一化处理以消除数据量纲；获取各土壤肥力指标权重；利用综合质量指数模型计算土壤肥力质量指数。具体的土壤肥力质量评价方法可见相关文献[6-7]。

2.2 子样本的抽取

为了研究不同采样数量对揭示土壤质量评价空间变异的影响,本文利用随机抽样的方法从 395 个样点中抽取了 340, 170, 90, 50, 30 个样点(图 2), 建立不同采样数量的子样本。将抽取 340 个子样本时剩下的 55 个样点作为独立验证集(图 2)。同时, 为

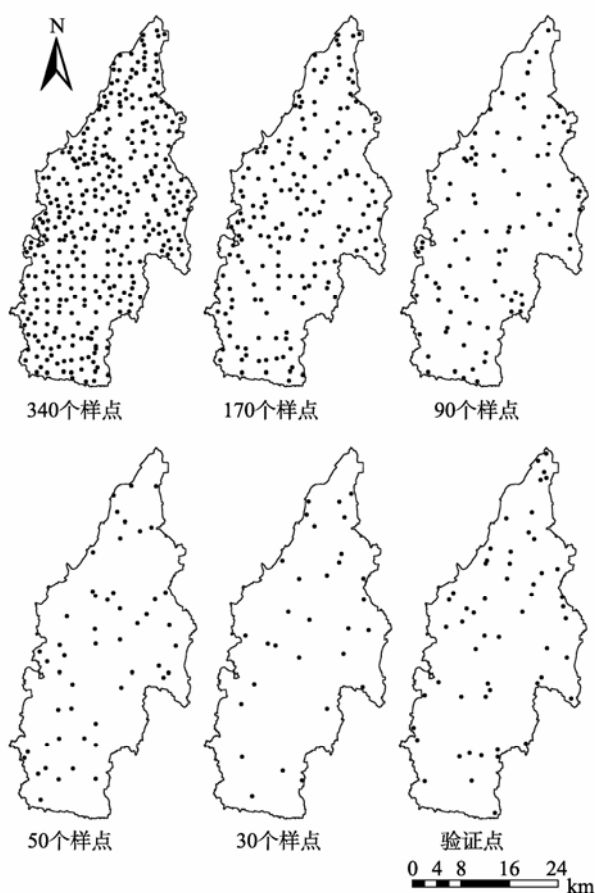


图 2 随机抽取的样本子集及其验证点分布图

Fig. 2 Soil sampling schemes under different sampling densities 了尽可能保证结论的可靠性,减少因重复采样带来的结论的不可靠,除了 340 样点的子样本外,其余 4

个样本子集采用不重复采样的方法进行抽取。根据 Blöschl 的公式^[24]：

$$\text{样点间距} = \sqrt{\text{区域面积}/\text{样本量}} \quad (1)$$

计算可知,4 个子样本对应的样点间距分别为 1.7, 2.4, 3.3, 4.5 和 5.7 km。

2.3 土壤质量空间插值及其精度评价

分别对不同采样数量下的土壤质量指数的空间变异进行分析,使用 GS+ 7.0 软件,采用 Matheron 的矩估计试验半方差函数,以权重最小二次方法拟合理论半方差函数模型^[25]。同时利用普通克里格(OK)、简单克里格(SK)、反距离加权(IDW)和样条函数法(Spline)等 4 种不同的插值方法对 5 个级别采样数量下的禹城市土壤质量指数进行空间插值。这 4 种方法均是应用较广的空间插值方法,其中普通克里格方法是使用最多的克里格插值方法,是区域化变量的线性估计,它假设数据变化呈正态分布,认为区域化变量的期望值是未知的;简单克里格则是认为区域化变量的期望值为已知的某一常数^[25];反距离加权插值法是一种常用而简单的空间插值方法,它以插值点与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赋予的权重越大,此种方法简单易行,但缺点是易受极值的影响,出现“牛眼”现象^[26];样条函数法是径向基函数插值法的一种,是在空间插值时准确地通过实测样点拟合出连续光滑的表面^[27-28],本文中应用的是规则样条函数进行插值。为了比较不同采样数量和不同插值方法对土壤质量指数空间预测精度的影响,采用目前较常用独立验证的方法,该方法被认为比交互验证更适宜进行空间预测精度评价^[3, 29]。验证指标为目前常用的均方根误差(RMSE),均方根误差越小则空间预测结果越精确。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\hat{Z}_i - Z_i)^2 \right]} \quad (2)$$

式中, $\hat{Z}_i$ 和 Z_i 分别为独立验证集样点实测值和预测值, n 为独立验证集的样本量。

3 结果与讨论

3.1 不同采样数量下土壤质量指数描述性统计

统计可知(表 1),禹城市 395 个样点土壤质量指数平均值为 0.59,变异系数为 18.23%,为中等变异。而 5 个子样本的平均值均在全集的平均值上下波动,变异系数也相差很小,说明虽然样本包含的采样点数量减少,但是仍然保证了与全集基本一致的统计学特

表 1 不同抽样量样本土壤质量指数的描述统计结果
Table 1 Descriptive statistics of soil quality index in Yucheng County under different sampling sizes

样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	偏度	峰度	变异系数(%)
395	0.28	1.00	0.59	0.11	-0.01	-0.11	18.23
340	0.28	1.00	0.59	0.11	0.04	0.00	18.09
170	0.28	1.00	0.58	0.11	0.20	0.68	18.66
90	0.30	0.79	0.59	0.10	-0.18	-0.29	17.68
50	0.40	0.82	0.60	0.11	-0.13	-0.90	17.59
30	0.41	0.79	0.60	0.11	-0.02	-1.30	17.65

征,具有较好的代表性。从 5 个等级采样数量随着样本量的减少,最大值有减小的趋势,而最小值有增大的趋势,变幅由 340 个样点的 0.72 减小到 30 个样点的 0.38。同时从偏度系数以及峰度系数来看,样本全集以及所有子样本的土壤质量指数均符合正态分布。

3.2 不同采样数量、插值方法对土壤质量指数空间分布预测精度的影响

3.2.1 不同采样数量下土壤质量指数半方差函数

对 395 个样点全集以及 5 个样本子集的理论半方差函数图(图 3)来看,随着样点数量的减少,反映拟合精度的 R^2 逐渐降低,这说明随着样本数量的减少,这些样本反映当地土壤质量指数的空间变异的表达能力逐渐减弱,若要了解更符合当地实际的土壤质量空间变异状况,就需要采集更多的样点。因此这里我们以 395 个样本的全集作为基准,将 5 个样本子集与全集获取的半方差函数进行对比发现,340、170、90 个样本子集与全集的半方差函数差异并不大,这 3 个样本子集变程(Range)的变化范围为 12 700 ~ 20 350 m,全集变程为 16 650 m;全集半方差函数的块金基台比($C_0/Sill$)为 0.496,3 个样本子集的块金基台比分别为 0.574,0.484 和 0.415,均具有中等的空间自相关性。而 50 个样点和 30 个样点的半方差函数则与全集有明显差异,块金值(C_0)仅为 0.000 1,块金基台比为 0.009,块金值以及块金基台比明显偏小,且变程也被显著低估,仅为 4 490 m,30 个样点则表现为纯块金效应(图 3)。

3.2.2 不同插值方法和采样数量下土壤质量空间预测精度比较

不同采样数量下,利用不同插值方法进行空间预测的独立验证结果如图 4 所示。可见利用不同插值方法进行空间预测的精度差异不大,其中利用普通克里格(OK)方法进行空间预测的结果在 5 个不同采样数量下略好于简单克里格(SK)方法预测的结果,而反距离加权法(IDW)和样条函数法(Spline)与两种克里格方法进行预测的精度差异不大,在 90 和 50 个样点的时候,其精度甚至优于利用两种克里格方法。因此,在类似地区土壤质量评价的空间制图

和预测过程中,反距离加权和样条函数与克里格方法一样,也不失为一种简单、快捷的方法。

对土壤质量指数空间预测的误差除了包括插值方法、预测模型带来的误差外,另外一个重要方面就是样本数量不足而无法准确反映实际的土壤质量状况。通过图 4 我们可以初步判断,由于样点数量不同,预测误差的差异变化较大。若是按照相同采样数量 4 种插值方法的独立验证结果进行分组,通过组间 RMSE 方差分析可知,在 $P < 0.01$ 显著水平下,340、170、90 样本子集空间预测的 RMSE 没有显著性差异,而 50 样点、30 样点的样本子集空间预测的 RMSE 则与上述 3 个样本子集有显著性差异。因此,可以判断,对禹城市土壤质量评价进行空间预测时,使用 90 个样点,即样点间距为 3.3 km 即可基本满足精度的需求,而低于 90 个样点则有可能导致预测的不可靠。

Cochran^[30]针对与区域纯随机采样而构造的最佳采样数量计算公式在目前的很多研究中被用来计算所需的最佳采样数量^[12-13]:

$$n = \frac{(t \times Std)^2}{d^2}$$

(3)

式中, n 是所需要的合理采样数, t 是与显著水平 α 对应的标准正态偏差, Std 是样本的标准差, d 是样本平均值与相对误差(%)的乘积。根据上述公式计算了禹城土壤质量指数在一定置信水平和误差要求下的合理采样数量(表 2)。

如果按照 Cochran 最佳采样数量公式,在 95% 的置信水平下,只需要 53 个样点就可以满足 5% 的误差要求,而在 90% 的置信水平下,甚至只需要 4 个样点就可以满足 15% 误差要求的取样。然而,本研究的结果显示,不同采样数量下,利用普通克里格方法,满足误差要求的样点所占的比例,即使在 90 个采样点的样点数量下,也只有 70.91% 的验证点满足 15% 的误差要求(表 3)。可见,利用 Cochran 最佳采样数量计算公式获取的最佳采样数量明显小于满足

预测精度的实际最小采样数量。如果不考虑当地的土壤质量空间变异情况,盲目使用 Cochran 公式确定给定置信区间和一定误差要求下土壤质量评价最佳采样数量,可能会造成超过预期的预测误差和不确定性。

3.2.3 采样点数量对土壤质量指数空间分布表征的影响 以普通克里格插值方法为例,探讨采样点数量对土壤质量指数空间分布表征的影响(图 5)。总体来说,随着样点数量的减少,土壤质量指数的空间预测结果越来越平滑,对细节的反映能力越来越弱。其中 340 个样点、170 个样点所反映的土壤质量指数的空间分布格局非常类似,土壤质量最高的区域位于禹

城市中部偏东区域以及西南,而禹城市北部和东南土壤质量较低,特别是北部,部分地区土壤质量低于 0.47。90 个样点的土壤质量空间布局虽然有一定的平滑效应,但是整体格局与 340 个样点以及 170 个样点的布局类似,说明利用 90 个样点进行土壤质量指数的空间预测,依然能较好地反映当地的实际土壤质量指数空间分布。但是 50 个样点和 30 个样点下则无法反映上述分布格局,特别是一些细节特征无法被准确表达。因此,从土壤质量指数空间分布表征的角度出发,90 个样点也是当地土壤质量评价空间预测时比较合适的采样点数量。

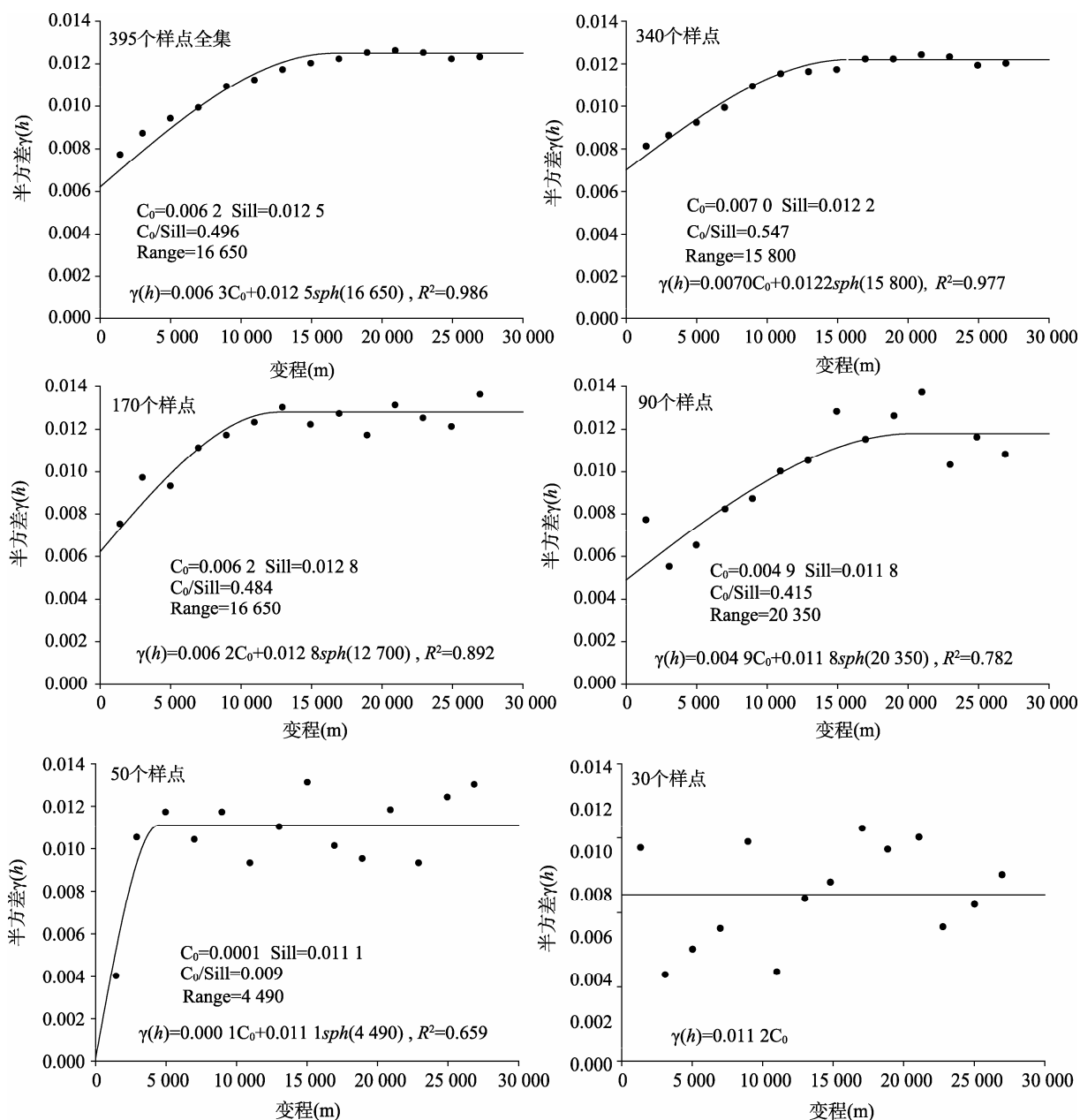


图 3 不同样点数量下土壤质量指数半方差函数

Fig. 3 Semivariograms of soil quality index in Yucheng County under different sampling sizes

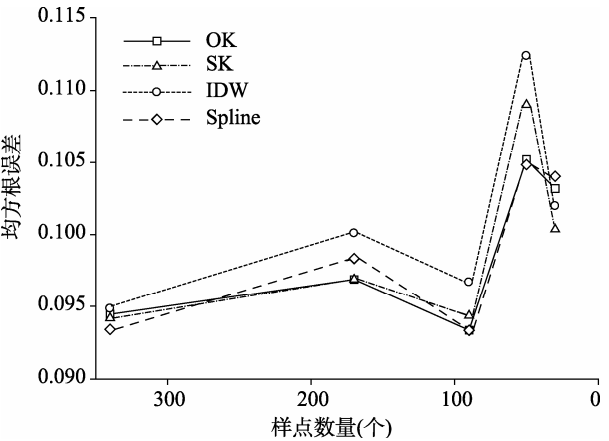


图 4 不同采样点数量、不同空间插值方法下土壤质量指数的独立验证结果

Fig. 4 Prediction accuracy of soil quality index spatial distribution in Yucheng County under different sampling sizes and spatial interpolation technique using validation

表 2 利用 Cochran 最佳采样数量计算公式获取研究区土壤质量指数合理取样数

Table 2 Appropriate sampling number of study area for soil quality index survey using Cochran formula

置信水平	误差要求		
	5%	10%	15%
95%	53	13	6
90%	38	9	4

表 3 不同采样数量下满足预测误差要求的样点比例(%)

Table 3 Percentage of validation points which satisfied error request under different sampling sizes

误差要求	样点数量				
	340	170	90	50	30
5%	23.64	14.55	23.64	21.82	25.45
10%	52.73	47.27	45.45	38.18	41.82
15%	72.73	67.27	70.91	54.55	56.36

4 结论

(1) 普通克里格、简单克里格、反距离加权 and 样条函数法 4 种插值方法对华北平原典型区土壤质量评价空间变异预测精度的影响较小。

(2) 不论从半方差函数的可靠性，还是从独立验证结果以及空间分布模式均可发现，340、170 以及 90 个样点子集可以较可靠地反映禹城市土壤质量指数空间变异，而 50 个和 30 个样本子集则无法保证可靠性。可见，在华北平原的县域尺度上，以土壤质量评价作为调查目的的土壤采样中，90 个左右样点是比较适宜的采样数量。

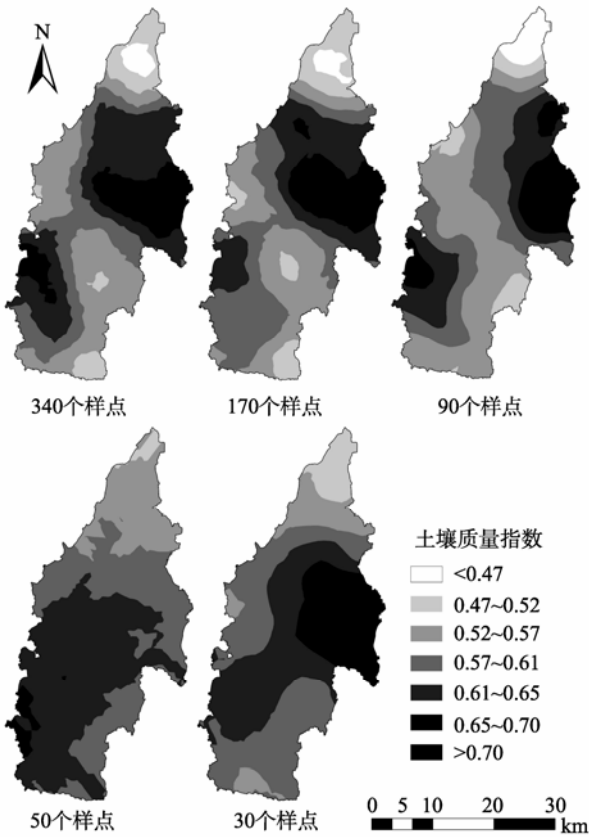


图 5 不同采样点数量下普通克里格预测的禹城市土壤质量指数空间分布图

Fig. 5 Spatial estimation of soil quality index in Yucheng County under different sampling sizes using ordinary kriging method

(3) 在华北平原区进行土壤质量评价时，若盲目使用 Cochran 最佳采样数量计算公式进行采样数量设计，可能会造成采样点不足，进而影响到最终土壤质量评价空间预测的准确性。

参考文献：

[1] Kerry R, Oliver MA. Average variograms to guide soil sampling[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5: 307–325

[2] Kerry R, Oliver MA. Comparing sampling needs for variograms of soil properties computed by the method of moments and residual maximum likelihood[J]. Geoderma, 2007, 140: 383–396

[3] 王志刚, 赵永存, 黄标, Darilek JL, 孙维侠. 采样点数量对长三角典型地区土壤肥力指标空间变异解析的影响[J]. 土壤, 2010, 42(3): 421–428

[4] Marcos RN, Fabrício PP, José AMD, Roney BO, Marcelo LC, Everson C. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management[J]. Scientia Agricola, 2011, 63(3): 386–392

[5] Yu DS, Zhang ZQ, Yang H, Shi XZ, Tan MZ, Sun WX, Wang HJ. Effect of soil sampling density on detected

- spatial variability of soil organic carbon in a red soil region of China[J]. *Pedosphere*, 2011, 21(2): 207–213
- [6] Qi YB, Darilek JL, Huang B, Zhao YC, Sun W, Gu ZQ. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China[J]. *Geoderma*, 2009, 149: 325–334
- [7] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. *土壤学报*, 1995, 32(4): 362–369
- [8] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价和分析[J]. *地理科学*, 1997, 19(2): 141–149
- [9] Webster R, Oliver MA. Sample adequately to estimate variograms of soil properties[J]. *Journal of Soil Science*, 1992, 43: 177–192
- [10] Gascuel-Oudoux C, Boivin P. Variability of variograms and spatial estimates due to soil sampling: A case study[J]. *Geoderma*, 1994, 62: 165–182
- [11] 陈光, 贺立源, 詹向雯. 耕地养分空间插值技术与合理采样密度的比较研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1 007–1 011
- [12] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙. 黄河三角洲土壤盐分空间变异性与合理采样数研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 84–94
- [13] 樊燕, 刘洪斌, 王伟. 土壤重金属污染现状评价及其合理采样数的研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(2): 369–374
- [14] 杨萍, 胡续礼, 姜小三, 何旭东, 潘剑君. 小流域尺度土壤可蚀性(K 值)的变异及不同采样密度对其估值精度的影响[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(6): 35–39
- [15] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 陈婉珍. 不同采样密度下土壤特性的空间变异特征及其推估精度研究[J]. *土壤*, 2004, 36(5): 538–542
- [16] 雷能忠, 王心源, 蒋锦刚, 黄大鹏. 不同地形与取样数的 Kriging 插值精度对比研究——以舒城县土壤全氮空间分异为例[J]. *水文地质工程地质*, 2008(5): 86–91
- [17] 齐文虎, 谢高地, 丁贤忠. 精准农业土壤采样密度研究——以上海精准农业试验示范基地为例[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(1): 48–52
- [18] 国家统计局农村社会调查总队. 中国县(市)社会经济统计年鉴(2004)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005
- [19] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [20] Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis // Klute A, Methods of Soil Analysis. Part 1-Physical and Mineralogical Methods[C]. Madison, WI: ASA and SSSA, 1986: 383–411
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [22] Bremner JM, Mulvaney CS. Nitrogen-total // Page AL, Miller RH, Keeney DR. Methods of Soil Analysis. Part 2-Chemical and Microbiological Properties[C]. Madison, WI: ASA-SSSA, 1982: 595–624
- [23] Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter // Page AL, Miller RH, Keeney DR. Methods of Soil Analysis. Part 2-Chemical and Microbiological Properties[C]. Madison, WI: ASA-SSSA, 1982: 539–594
- [24] Blöschl G. Scaling issues in snow hydrology[J]. *Hydrological Processes*, 1999, 13: 2 149–2 175
- [25] Cressie N. Fitting variogram models by weighted least squares[J]. *Mathematical Geology*, 1985, 17: 563–586
- [26] 蔡福, 于贵瑞, 祝青林, 何洪林, 刘新安, 李正, 郭学兵. 气象要素空间化方法精度的比较研究[J]. *资源科学*, 2005, 27(5): 173–179
- [27] 汤国安, 杨昕编著. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [28] Franke R. Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines[J]. *Computers & Mathematics with Applications*, 1982, 8(4): 273–281
- [29] Davis BM. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics[J]. *Mathematical Geology*, 1987, 19: 241–248
- [30] Cochran WG. Sampling Techniques[M]. 3rd edition. New York: John Wiley, 1977

Effects of Sampling Sizes and Spatial Interpolation Method on Spatial Prediction Accuracy of Soil Fertility Quality Index in the Major Grain-producing Region of the North China Plain

ZHANG Bei-er^{1,2,3}, HUANG Biao^{1*}, ZHAO Yong-cun¹, ZHANG Xiao-guang^{1,2},
SUN Wei-xia¹, HU Wen-you¹, YANG Jin-song¹

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Anhui Institution for Economic Research, Hefei 230001, China)

Abstract: Reasonable sampling sizes or spatial interpolation method is an assurance of the accuracy of soil spatial variability analysis which is important for sustainable use of soil resources. This paper discussed the influence of sampling sizes and spatial interpolation method on spatial prediction accuracy of soil fertility quality using Ordinary Kriging, Simple Kriging, Inverse Distance Weighted and Spline Function method by comparing random samples of 340, 170, 90, 50 and 30 from a total of 359 samples. The results indicated that the differences of prediction accuracy between different interpolation methods were not significant, whereas the differences of prediction accuracy between different sampling sizes were significant. This study suggested that a minimum sampling size of 90 should be used for soil fertility quality evaluate in the North China Plain. Moreover, this study compared this minimum sampling size with the appropriate sampling quantity acquiring by Cochran method, and found that the sampling quantity acquire by Cochran was smaller. So this study suggested using Cochran method without considering the spatial variability would produce inaccurate spatial prediction.

Key words: Soil quality evaluation, Sampling sizes, Spatial interpolation method, Spatial variability, North China Plain