

关中平原区土壤 5 种微量元素的空间 变异及分布评价

高义民,同延安

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

[摘要] 为了揭示黄土高原地区农田土壤微量元素空间变异规律及分布特征,选择陕西省扶风县揉谷乡新集村为试验区,在 219 hm² 耕地上用网格法采集 364 个耕层(0~20 cm)土壤样品,对其 5 种微量元素 B、Fe、Mn、Zn 和 Cu 有效含量的空间变异进行地统计学分析,并结合 Kriging 插值结果对其不同级别含量的分布状况进行评价。结果表明,土壤有效 B、Fe、Mn、Zn 和 Cu 的理论半方差模型分别符合线性、指数、球状、指数和线性模型,有效 B 和 Mn 具有中等的空间相关性,有效 Cu、Fe 和 Zn 具有强烈的空间相关性;5 种微量元素最大相关距离依次为:B、Cu > Zn > Mn > Fe,最大相关距离为 648~1 855.1 m;5 种微量元素表现出条带状和斑块状空间分布;有效 Fe、Mn、Zn 和 Cu 的含量分布与土壤水分有关,有效 B 的分布与土壤酸碱度有关。

[关键词] 关中平原区;农田土壤;微量元素;空间变异;分布评价

[中图分类号] S143.7⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)10-0093-05

Spatial variability and distribution of five soil micro-elements content in farmland of Guanzhong Plain

GAO Yi-min, TONG Yan-an

(College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper is presented on spatial variability and distribution of 5 soil micro-element contents (available B, Fe, Mn, Zn, and Cu) in farmland of Guanzhong Plain. Total 364 top-layer (0 - 20 cm) soil samples were taken by grid from 219 hm² farmland in Xinji village of Shaanxi Province and analyzed by Geostatistics method. Results indicated that the variogram of 5 micro-element nutrients showed a linear model (B), exponential model (Fe), spherical model (Mn), exponential model (Zn) and linear model (Cu). B and Mn had intermediate spatial correlation ranges, while Cu, Fe and Zn had sharp spatial correlation ranges. The order of longest correlation range in 5 micro-elements was B, Cu > Zn > Mn > Fe (from 648m to 1855.1 m). By using kriging method, the spatial distributions of 5 soil micro-element took on piece and speckle shape in study area, the spatial distributions of Fe, Mn, Zn, and Cu were connected with the moisture level, while available B was connected with the soil pH.

Key words: Guanzhong Plain; farmland soil; micro-element; spatial variability; distribution character

土壤中微量元素的供给水平直接关系到农作物的生长发育^[1]。随着复种指数的增加和作物产量的

提高,农田土壤中微量元素的消耗也随之增加。土壤微量元素的空间分布特征是土壤母质成分和外源

[收稿日期] 2006-09-18

[基金项目] 国际植物营养研究所(IPNI)中国项目部资助项目;西北农林科技大学青年专项基金(08080253)

[作者简介] 高义民(1969-),男,甘肃泾川人,讲师,在读博士,主要从事土壤及GIS技术研究。E-mail:ymgao@ppi.caas.ac.cn

[通讯作者] 同延安(1956-),男,陕西华县人,教授,博士生导师,主要从事植物营养与土壤学研究。

E-mail:tongyanan@nwsuaf.edu.cn

输入长期作用的结果^[2],了解其分布特征是进行养分平衡管理和土壤环境评价的重要前提。目前,基于地统计技术的农田土壤 N、P、K 等大量和中量元素养分的空间变异研究,已有很多报道^[3-14],但对土壤中微量元素空间变异进行系统研究的资料很少^[15-18]。为此,本研究在网格法取样的基础上,应用地统计学方法,对陕西省关中平原地区的扶风县新集村农田土壤微量元素 B、Fe、Mn、Zn 和 Cu 的空间变异特征进行了分析,并应用 Kriging 插值法绘制了其含量分级分布图,以为农田采样和养分管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于陕西关中平原西部的扶风县揉谷乡新集村,该村耕地总面积 219 hm²,主要种植小麦、玉米等粮食作物,种植面积约占总耕地面积的 85%,全村果园面积 30 hm²,包括葡萄园、苹果园、梨园等,另有大棚蔬菜 2.5 hm²。试验区土壤类型均为±壤土,质地中壤,年平均降水量 550~600 mm。

1.2 土样采集

依据该村 1:5 000 比例尺地形图,在村中心及四周共选择 5 个基准点,分别用手持式全球定位仪(GPS)测 10 次经纬度,取其平均值作为该基准点的经纬度值。于 2000-06 小麦收割后,用不锈钢土钻按网格法采集全村各地块耕层(0~20cm)土壤样品 364 个,网格边距农田 70 m,果园 50 m,蔬菜地 30 m(图 1)。每个样品由半径 5 m 内 10 个点耕层土壤混合而成。

1.3 测定指标与方法

供试土壤样品经风干、木棒碾磨、过尼龙筛后,用土壤养分系统研究法(ASI)^[19]分析。速效铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)和锌(Zn)采用 ASI 联合浸提剂(0.25 mol/L NaHCO₃ + 0.01 mol/L EDTA +

0.01 mol/L NH₄F)浸提;速效硼(B)用 0.08 mol/L 的过磷酸钙溶液浸提,浸提液用原子吸收分光光度计测定。

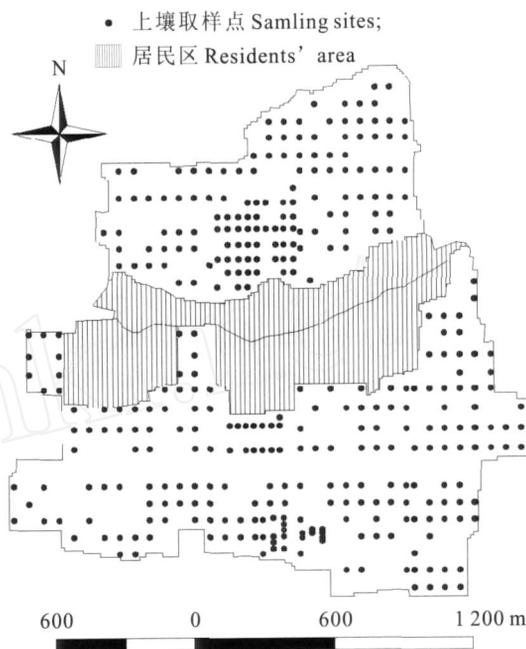


图 1 试验区农田土壤采样点分布图

Fig. 1 Diagram of sampling sites in study area

1.4 数据处理与分析

土壤微量元素含量空间变异性采用地统计学方法^[20]分析;图件使用 ESRI 公司的 Arc GIS 8.2 进行矢量化;半方差函数的拟合采用地统计学软件 GS+ for Windows 3.1 进行,普通 Kriging 法插值。

2 结果与分析

2.1 土壤微量元素含量的特征值

依照土壤养分综合系统评价法所设定的土壤养分含量临界值指标^[21],对试验区农田土壤微量元素状况进行初步评价,结果见表 1。

表 1 关中平原区土壤有效态微量元素含量的特征值

Table 1 Characteristic values of soil pH, organic matter, and available nutrient contents in Guanzhong

微量元素 Microelement	最大值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Maximum	最小值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Minimum	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) Mean	标准差 S. D.	变异系数/ C. V. / %	低于临界值的土样数占 总土样数的百分比 / % Percentage of soil samples below the critical value
B	4.81	0.30	1.64	0.99	60.4	0
Fe	12.10	3.50	6.87	1.51	22.0	95.3
Mn	22.90	5.10	12.93	2.96	22.9	0
Zn	10.20	0.70	2.20	0.97	44.0	55.2
Cu	8.60	0.90	2.52	0.89	35.3	0.3

注:土壤各微量元素的临界值分别为:B 0.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Fe 10.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Mn 5.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Zn 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Cu 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ^[21]。

Note: The critical values of microelement are B 0.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Fe 10.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Mn 5.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Zn 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, and Cu 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ^[21], respectively.

表 1 表明,364 个供试土壤样品有效 Fe 平均含量为 6.87 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 低于临界值;有效 Zn 和有效 Cu 平均含量分别为 2.20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 2.52 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 虽然高于临界值,但其最小值均低于临界值;有效 B 和有效 Mn 的最小值均高于临界值。表明试验区农田土壤有效 Fe、Zn 和 Cu 含量较低,存在亏缺风险,而有效 B、Mn 含量丰富,不存在亏缺风险。有效 Fe、Zn 和 Cu 含量低于临界值的土样数占总土样数的百分数分别为 95.3%、55.2% 和 0.3% (表 1), 表明试验区土壤必须增施铁肥和锌肥,才能保持养分平衡。

5 种微量元素养分的变异系数为 22.0% ~ 60.4%, 其中有效 B 变异系数最大,为 60.4%,有效 Fe、Mn 变异系数较小,分别为 22.0% 和 22.9% (表 1)。不同元素变异系数不同,这可能与当地土壤水分条件、有机肥的施用、作物吸收和土壤母质有关。

微量元素 B、Fe、Mn、Zn、Cu 含量的样本正态分布检验结果显示,土壤有效 B、Fe、Mn、Zn、Cu 含量均符合正态分布。因此,所有变量均符合地统计学分析的基本条件^[22]。

表 2 关中平原区土壤微量元素有效含量理论半方差模型及其拟合参数

Table 2 Theoretical semivariogram models and corresponding parameters of soil available microelement

微量元素 Microelement	理论模型 Models	块金方差 c_0	基台值 $c_0 + c$	最大相关距离/m a or $3a$	(块金值/基台值)/% $c_0 / (c_0 + c)$	决定系数 R^2	残差 RSS
B	线性模型 Linear	0.720	1.251	1855.1	57.6	0.706 **	0.264
Fe	指数模型 Exponential	0.420	2.263	648.0	18.6	0.263 **	2.130
Mn	球状模型 Spherical	3.710	9.401	840.0	39.5	0.948 **	3.477
Zn	指数模型 Exponential	0.088	0.944	1350.0	9.3	0.379 **	0.748
Cu	线性模型 Linear	0.283	1.269	1855.1	22.3	0.938 **	0.147

注: $n=364, R_{0.01}^2=0.148, R_{0.05}^2=0.113$

Note: $n=364, R_{0.01}^2=0.148, R_{0.05}^2=0.113$

最大相关距离表示变量空间相关范围的大小,当变量测点间距小于最大相关距离时,说明变量具有空间自相关性,反之则没有。线性和球状模型的最大相关距离等于变程(a),而指数模型的最大相关距离一般取 $3a$ ^[20] (本文中有效 Fe、Zn 即为 $3a$)。由表 2 可知,不同微量元素最大相关距离排列顺序为: B、Cu > Zn > Mn > Fe,有效 B、Cu 的最大相关距离最大,达 1855.1 m,表明其在较大范围内存在着空间相关性;有效 Fe 最小,为 648 m。这与高祥照等^[13]的研究结论一致。

2.3 土壤微量元素含量的空间分布格局

图 2 是试验区农田土壤微量元素 B、Fe、Mn、Zn、Cu 含量的空间布局插值图,显示了不同级别微量元素含量的分布状况。由图 2 可知,试验区农田

2.2 土壤微量元素的空间变异性

表 2 是试验区 5 种微量元素有效含量的最优化理论半方差模型及其拟合参数。由表 2 可知,土壤有效 B、Fe、Mn、Zn、Cu 的理论半方差模型分别用线性、指数、球状、指数和线性模型拟合,决定系数为 0.263 ~ 0.948,均达到极显著水平,表明理论模型较好地反应了 5 种微量元素的空间分布特征。块金值与基台值之比 ($c_0 / (c_0 + c)$) 反映了空间变异的程度。从表 2 可看出,不同微量元素的空间变异程度明显不同,有效 B 的块金值/基台值最大(57.6%),有效 Mn 次之(39.5%),按照区域化变量空间相关性的分级标准可知^[20],它们具有中等空间相关性,表明其空间变异受作物、管理措施(如水分、施肥)等随机性因素的影响较大;有效 Cu、Fe 和 Zn 空间变异较小,分别为 22.3%、18.6% 和 9.3%,具有强烈空间相关性,表明其空间变异主要是由土壤母质、地形等非人为因素(空间自相关部分)引起的。试验结果表明,试验区农田不同微量元素的空间变异影响因素不同,在养分管理时应区别对待。

有效 B 含量分布主要在 0.3 ~ 2.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$,有效 Fe 含量集中分布于 5.3 ~ 8.7 $\mu\text{g}/\text{mL}$,有效 Mn 含量主要分布在 8.7 ~ 15.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$,有效 Zn 和有效 Cu 含量则分别集中分布于 0.7 ~ 2.6 和 0.9 ~ 4.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。有效 Fe、Zn 缺乏地块均主要分布于村北旱地和村南离居民区较远的地块。

图 2 还表明,微量元素 Fe、Mn、Zn 和 Cu 的有效含量在试验区的空间分布格局基本一致,均表现为村南水浇地高于村北旱地,而试验区农田土壤母质和类型基本一致,表明 Fe、Mn、Zn、Cu 有效含量可能与当地的土壤水分条件有关。土壤有效 Fe、Mn、Zn、Cu 含量分布格局的一致性是由它们相互之间具有极显著正相关关系的性质决定的^[23]。有效 B 含量空间分布格局不同于其他 4 种微量元素,其

含量较高的田块主要分布在村东北角和西南角,并表现为四周大于中部的格局。研究还发现,有效 B

含量较高的区域,土壤 pH 较低(7.8~7.9),由此可以看出,有效 B 的分布特征与土壤酸碱度有关。



图 2 试验区土壤有效 B、Fe、Mn、Cu 和 Zn 的 Kriging 插值图

Fig. 2 Map of Kriging estimates map for available B, Fe, Mn, Cu, Zn

3 结 论

(1) 土壤养分含量临界值评价结果表明, 试验区农田土壤有效 Fe、Zn 和 Cu 含量较低, 存在亏缺风险, 而有效 B、Mn 含量丰富, 不存在亏缺风险。因此, 在试验区农业生产中必须增施铁肥和锌肥, 才能保持养分平衡。

(2) 关中平原区农田有效 B、Mn 具中等空间相关性, 其空间变异主要由作物、管理措施(如施肥)等随机性因素引起; 有效 Cu、Fe、Zn 具有强烈空间相关性, 其影响因素一般包括土壤母质、地形、气候等非人为因素。本研究区域地势相对平坦, 土壤母质和气候类型均一, 水分条件(灌溉)可能是微量元素空间变异的主要影响因素。

(3) 从 Kriging 插值结果可知, 5 种微量元素表现出条带状和斑块状空间分布。总体来看, 有效 Fe、Mn、Zn 和 Cu 的含量分布与土壤水分有关, 有效 B 的含量分布与土壤性质(酸碱度)有关。有效 Fe、Zn 缺乏地块则主要分布于村北旱地和村南离居民区较远的地块, 这种分布状况应该与当地农民的施肥有关。

[参考文献]

[1] 北京农业大学. 农业化学(总论)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:165-186.

[2] 张泽浦, 王学军. 土壤微量元素含量空间分布的条件模拟[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 423-429.

[3] 沈掌泉, 周 斌, 孔繁胜, 等. 应用广义回归神经网络进行土壤空间变异研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 471-475.

[4] 杨玉玲, 盛建东, 田长彦, 等. 盐化淤灌土壤速效氮、磷、钾空间变异性与棉花生长关系初步研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 542-547.

[5] 张 华, 张甘霖. 热带低丘地区农场尺度土壤质量指标的空间变异[J]. 土壤通报, 2003, 34(4): 241-245.

[6] 王 珂, 沈掌权, John S, 等. 精确农业田间土壤空间变异与采样方式研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 33-36.

[7] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西省兴国县土壤全氮和有机质

的空间变异及其分布格局[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64-67.

[8] 苏 伟, 聂宜民, 胡晓洁, 等. 利用 Kriging 插值方法研究山东龙口北马镇农田土壤养分的空间变异[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(1): 76-81.

[9] 王 芳, 王逸飞, 孟新伟, 等. 新疆北疆土壤养分空间变异特性的初步研究[J]. 石河子大学学报, 2004, 22(1): 39-42.

[10] 张淑娟, 何 勇, 方 惠. 基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 39-43.

[11] 王 军, 傅伯杰, 邱 扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1173-1178.

[12] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 79-88.

[13] 高祥照, 胡克林, 郭 焱, 等. 土壤养分与作物产量的空间变异特征与精准施肥[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 660-666.

[14] 白由路, 金继运, 杨俐苹, 等. 农田土壤养分与施肥推荐[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 129-133.

[15] 姜 勇, 张玉革, 梁文举, 等. 耕地土壤交换性镁含量的空间变异特征[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(3): 181-184.

[16] 姜 勇, 张玉革, 梁文举, 等. 沈阳市郊耕地土壤交换性锰含量的空间变异[J]. 土壤, 2004, 36(1): 61-64.

[17] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, et al. Geostatistics analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils[J]. Soil Sci, 1997, 162: 291-298.

[18] Newman S, Reddy K R, DeBusk W F, et al. Spatial distribution of soil nutrients in a Northern Everglades marsh: water conservation area 1[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61(4): 1275-1283.

[19] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992, 42-50.

[20] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil sci Soc Am J, 1994, 58: 1501-1511.

[21] 杨俐苹, 白由路. 精准农业中的土壤养分快速测定技术[M]// 金继运, 白由路. 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001: 152-160.

[22] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 102-149.

[23] 姜 勇, 张玉革, 梁文举, 等. 耕地土壤中交换态钙镁铁锰铜锌相关关系研究[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 160-163.