

关中平原台塬区土壤养分空间格局研究

——以西安市长安区为例

方睿红, 常庆瑞

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为研究关中平原台塬区土壤养分的空间分布情况,加强精准农业施肥管理,针对陕西省西安市长安区 836.69 km² 范围内的土壤养分元素进行空间格局研究。通过 GPS 定位选取研究区内 3 231 个土壤采样点,测定了土壤样品的有机质、碱解氮、有效磷、速效钾以及 pH 值,并利用地统计法对其空间变异结构及格局现状进行研究。结果表明:土壤养分元素的变异系数范围为 0.09~0.84,其变异程度依次为有效磷>速效钾>碱解氮>有机质>pH 值;土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾及 pH 值的变异函数曲线均符合指数模型;在空间结构上,土壤有效磷和有机质属于弱相关性,速效钾和碱解氮为中等强度相关性,pH 值具有强烈的空间相关性;采用 Kriging 插值方法,可直观得到研究区域的土壤养分空间格局情况。

关键词:土壤养分;空间变异;地统计学;GIS

中图分类号:S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0141-05

Study on Spatial Distribution Pattern of Soil Nutrients in Guanzhong Plain

—A Case Study in Chang'an District of Xi'an City

FANG Rui-hong, CHANG Qing-rui

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

Abstract: In order to increase the efficiency of applied fertilizers of precision agriculture and reveal spatial distribution characteristics of soil nutrients in Guanzhong Plain, a total of 3 231 points for soil sampling were selected in the area of 836.69 km² in Chang'an District of Xi'an, Shaanxi Province. The soil nutrient indices including available phosphorous(AP), available potassium(AK), available nitrogen(AN), soil pH and organic matter(SOM) were analyzed with classic statistics and geostatistics method. The results indicated that the variability coefficients of soil nutrients ranged from 0.09 to 0.84 and the order of the variation degree was AP>AK>AN>SOM>pH. The semi-variograms of SOM, AN, AP, AK and pH were best described by exponential model. Those soil properties had different spatial correlations respectively, pH had the significant spatial correlation, AK and AN had the moderate spatial correlation, and AP and SOM had the weak spatial correlation. Spatial distribution pattern of soil nutrients in the study area could be obtained by using Kriging interpolation.

Key words: soil nutrient; spatial variability; geostatistics; GIS

土壤养分是衡量土壤生产力的综合指标,了解其丰缺状况、变异情况、空间格局分布对提高土壤养分管理和推荐测土配方平衡施肥技术以及实施精准农业具有重要的指导意义。管理好土壤养分,合理科学施肥,是关系到我国农业可持续发展的重大技术问题,其重要性和紧迫性随着农业生产的发展和化肥施用量的增加而显得越来越突出^[1]。然而,从 20 世纪

80 年代全国第二次土壤普查以来,由于养分投入水平的不断加大和不同养分收支平衡的差异使得我国土壤养分状况和空间变异情况发生了很大的变化^[2]。目前,为适应我国小规模分散经营体制下的测土推荐平衡施肥技术,急需对土壤养分状况及其变异情况进行全面系统的研究,因此对土壤养分空间格局的研究已成为土壤养分管理研究的热点之一^[3-4]。

收稿日期:2011-04-15

修回日期:2011-06-09

资助项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目;“区域水土流失过程与趋势分析”(2007CB407203);国家自然科学基金(30872073)

作者简介:方睿红(1987—),女,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为遥感与 GIS 技术应用。E-mail:fangrh23@nwsuaf.edu.cn

通信作者:常庆瑞(1959—),男,陕西子洲县人,教授,博导,主要从事资源环境与 3S 技术应用研究。E-mail:changqr@nwsuaf.edu.cn

近年来一些专家学者在土壤养分空间变异方面做了不少研究,如刘欣等^[5]对黑龙江省彦县土壤的有机质、速效磷、速效钾和 pH 值进行了空间变异特征的研究,并结合巴彦县实际情况分析了这 4 种养分的影响因素;苏永中等^[6]研究了科尔沁沙地农田土壤理化性质的空间变异特征,认为半变异函数能够分析和表征农田沙漠化发生发展的程度和空间尺度;史利江等^[7]运用 GIS 和地统计学方法研究宁波市农业示范区的土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 值的空间变异特征,得到了农田土壤养分的空间变异规律,并证明了土壤养分存在一定的空间相关性。上述结果表明在较大范围内利用 GIS 技术进行土壤养分空间分布格局研究具有较大优势,同时针对关中平原台塬区的养分空间变异特性研究文献报道较少,本文以关中平原台塬区为研究区域,利用地统计法分析该区域的土壤养分空间变异特征,揭示土壤养分空间变异规律,为实现土壤养分的精确管理提供理论依据。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域概况

陕西省西安市长安区地处关中平原中部,地理位置为北纬 $33^{\circ}48' - 34^{\circ}18'$,东经 $108^{\circ}38' - 109^{\circ}14'$,位于西安市南部秦岭北麓。东临蓝田县,南接宁陕县、柞水县,西与户县接壤,北和雁塔区、灞桥区为邻。区内地势东南高西北低,南北跨度约 55 km,东西跨度约 52 km,总土地面积约为 $1\,583\text{ km}^2$ 。长安区属于暖温带半湿润大陆性季风气候区,年降水量平均为 664.3 mm,平均气温为 13.2°C ,年太阳辐射总量平均为 $459.3\text{ kJ}/\text{cm}^2$ 。地貌类型主要有:秦岭山地、黄土台塬、洪积平原以及冲积平原。本研究选取除秦岭山地以外的地貌区作为研究区域,研究区域总面积为 836.69 km^2 ,海拔 $385 \sim 879\text{ m}$,坡度为 $0 \sim 45^{\circ}$,属关中平原台塬区,主要土壤类型有:瘠土、褐土、黄土性土、淤土、水稻土和潮土,研究区内以小麦和玉米为主要种植作物。

1.2 材料与方法

1.2.1 资料收集与土壤样品采集 根据调查工作需要,收集了长安区 2005 年 1:5 万的行政区划图和地貌类型图等纸质图件资料,并运用 ArcGIS 9.3 对纸质图件进行了数字化,截取了长安区平原台塬区作为研究区域。

利用 GPS 进行外业样点的定位,同时结合研究区实际情况,将大田地采样点的密度定为平均 $2\text{ 个}/\text{hm}^2$,并根据需要进行适当调整。为避免施肥的影响,取样时期确定在作物收获前后,用竹铲和不锈钢土钻等工

具采样,每一土样选取有代表性的田块,采用“S”法均匀随机采取 8 个点混匀后用四分法留取 1 kg 土样装袋以备分析。土壤取样深度为 $0 \sim 20\text{ cm}$,取样时间为 2007 年 5 月和 9 月。按照上述布点原则和方法,在研究区耕地上共布设采样点 3 231 个(取样点分布如图 1 所示)。

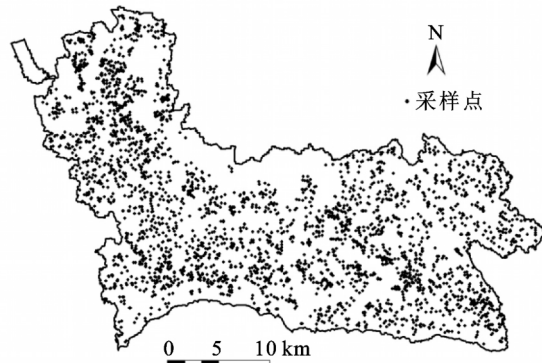


图 1 样点分布图

1.2.2 土壤样品化学分析 获取的土壤样品经自然风干、过 2 mm 筛后进行室内养分测定。化验分析方法采用相关行业标准^[8],全程序空白值测定,以消除系统误差,每批样品作 3 个空白样,从待测试样的测定值中扣除空白值。每批样品均做标准曲线,样品分析时平行率达到 100%。在准确度控制上使用标准样品,进行内参样掺插,也与其他化验空白作对比。土壤样品测定项目包括土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾以及 pH 值。有机质含量测定采用油浴加热重铬酸钾容量法,碱解氮含量测定采用碱解扩散法,有效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,速效钾含量测定采用乙酸铵浸提—火焰光度法,pH 值测定采用电位法。

1.2.3 半方差函数介绍 半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数,反映了不同距离的观测值之间的变化,所谓半方差函数就是两点间差值的方差的一半,即:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

式中: $N(h)$ ——距离等于 h 的点对数; $z(x_i)$ —— x_i 处变量的实测值; $z(x_i + h)$ ——与点 x_i 偏离 h 处变量的实测值。 $r(h)$ 在一定范围内随 h 的增加而增大,当测点间距大于最大相关距离时,该值趋于稳定。半方差函数常见模型有球状(Spherical)、指数(Exponential)和高斯(Gaussian)模型。

1.3 数据处理

特异值对变异函数的影响很大,使得实验半方差函数发生畸变,进而影响变异函数理论模型的精度。本文采用域值法来识别特异值,对数据进行预处理。

样本数据的描述性分析在 SPSS 19.0 软件下进行,统计样本的最大值、最小值、平均值、方差、标准差、偏度、峰度和变异系数等。对于数据的正态性检验采用土壤养分分布的偏斜量,即中值偏离平均值的百分数来判断^[9]。对于不符合正态分布的样本在进行地统计学分析时要对其先进行对数变换处理。

地统计学是以区域化变量理论为基础,以变异函数为主要工具,研究在空间分布上既有随机性又有结构性(或空间相关和依赖性)自然现象的科学^[10-11]。

本文将采用半方差函数和 Kriging 插值^[12]为基本工具,可对既具有随机性又具有结构性的各种变量在空间上的分布进行研究。地统计分析在 ArcGIS 9.3 的扩展模块 Geostatistical Analyst 下进行处理。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的统计特征及分析

根据经典统计方法,运用 SPSS 19.0 软件计算土壤养分的描述性统计特征值如表 1 所示。

表 1 土壤养分描述性统计特征

项目	最大值	最小值	平均值	中值	标准差	偏度	峰度	变异系数	偏斜量
有机质/(g·kg ⁻¹)	32.71	5.00	18.54	18.20	4.60	0.52	0.92	0.25	1.84
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	124.03	22.00	63.08	60.00	18.73	1.00	1.31	0.30	4.89
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	65.67	0.20	16.77	12.10	14.14	1.67	2.66	0.84	27.83
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	400.80	20.00	151.35	136.00	76.51	1.29	1.83	0.51	10.14
pH 值	8.80	5.08	7.08	7.30	0.67	-0.89	0.23	0.09	-3.13

根据陕西省第二次土壤普查养分分级标准^[13]可以得到,土壤有机质、碱解氮和有效磷属中等肥力水平,速效钾属中等偏上肥力水平。通常用变异系数来表达各养分的变异程度,一般分为弱变异性、中等变异性和强变异性^[14]。通过表 1 各指标的变异系数值可以看出,研究区土壤 pH 值变异系数最小,仅为 0.09,呈弱变异性,其余土壤养分的变系数均在 0.1~1.0 之间,属中等变异。土壤有机质、速效钾和 pH 值样本偏斜量分别为:1.84,4.89,-3.13,认为其样本分布属于正态分布,而有效磷和速效钾的偏斜量均大于 5,则属偏态分布。

研究区内土壤有效磷含量变化相对较大,从 0.2~65.67 mg/kg,这是由于在土壤中的化学行为及目前磷肥施用状况有关,施入土壤中的磷,因其移动性

小、当季利用率低,而使磷肥在土壤中残留较多,导致土壤中有效磷分布不均^[15],从而造成差异较大。

2.2 土壤养分的空间结构变异与格局分析

运用半方差函数对区域化变量进行空间变异分析的前提是变量必须符合正态分布,对于不符合正态分布的样本数据,首先要对其进行对数变化转化为正态分布形式。本研究在 ArcGIS 地统计模块中,选取球状、指数和高斯 3 种半方差模型进行拟合处理,根据模型预测误差的比较标准:平均标准误差(MSE)的绝对值最接近于 0,标准化均方根误差(RMSSE)最接近于 1^[16]来进行对比。通过对表 2 拟合参数的综合比较分析,指数模型的拟合效果最好,所以最后选择指数模型进行普通 Kriging 插值,得到各土壤养分的空间分布图,结果见图 2 和表 3。

表 2 土壤养分不同模型拟合参数

项目	理论模型	块金值	基台值	变程	基底效应	MSE	RMSSE
有机质	球状	0.055	0.066	8.29	0.830	0.00061	0.9014
	指数	0.052	0.067	9.20	0.782	-0.00094	0.9115
	高斯	0.057	0.066	7.01	0.855	0.00119	0.8986
碱解氮	球状	0.061	0.087	15.03	0.702	-0.01431	0.9910
	指数	0.056	0.089	17.78	0.629	-0.01838	1.0180
	高斯	0.065	0.088	13.22	0.742	-0.01157	0.9718
有效磷	球状	0.615	0.727	7.69	0.846	0.00239	0.7681
	指数	0.575	0.729	7.19	0.789	-0.00076	0.7754
	高斯	0.632	0.727	6.52	0.869	0.00315	0.7663
速效钾	球状	0.175	0.235	8.24	0.744	-0.00313	0.9879
	指数	0.163	0.238	9.92	0.685	-0.00671	0.9981
	高斯	0.182	0.235	6.72	0.775	-0.00278	0.9882
pH 值	球状	0.002	0.011	17.78	0.210	0.00508	0.8813
	指数	0.001	0.011	17.78	0.113	-0.00090	1.0890
	高斯	0.004	0.012	16.73	0.320	0.01081	0.7710

块金值是半方差函数在原点处的数值,表示由实验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异;基台值通常表示系统内的总变异,包括结构性变异和随机性变异,基台值越高,表示系统总的空间异质性越高。变程指影响的范围,反映空间依赖的最大距离。块金效应,也称基底效应,是块金值与基台值之比,反映土壤养分的空间依赖性,可表明系统变量的空间相关性的程度。

根据基底效应由表 2 可以得出,研究区各土壤养

分的空间相关性强弱趋势表现为:有效磷<有机质<速效钾<碱解氮<pH 值。其中有效磷和有机质的基底效应大于 0.75,属于弱相关性,其变化主要受后期人为因素影响,如施肥、耕种措施的不同;速效钾和碱解氮的基底效应在 0.25~0.75 之间,为中等强度相关性,这两种养分的变化是结构性因素和随机性因素共同影响的结果;pH 值的基底效应值为 0.113,小于 0.25 具有强烈的空间相关性,其变异性主要受如成土母质、土壤类型等结构性因素影响。

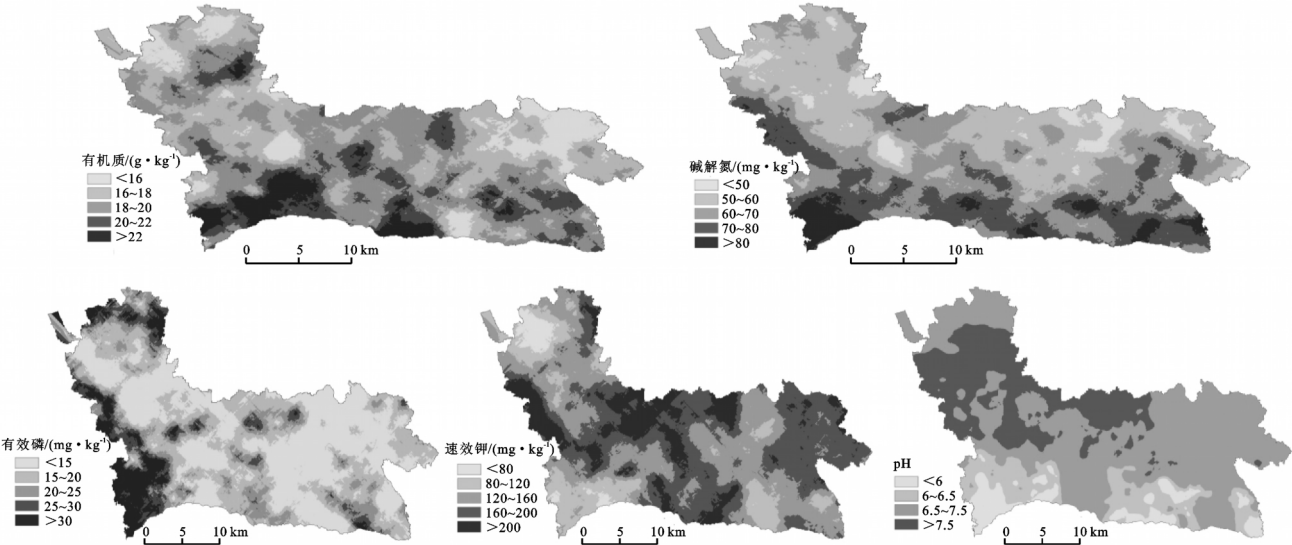


图 2 土壤养分空间分布图

表 3 土壤养分分布特征统计

项目		分布特征				
有机质	含量/(g·kg ⁻¹)	<16	16~18	18~20	20~22	>22
	面积/km ²	93.88	261.38	303.76	125.39	52.27
	百分比/%	11.22	31.24	36.30	14.99	6.25
碱解氮	含量/(mg·kg ⁻¹)	<50	50~60	60~70	70~80	>80
	面积/km ²	44.91	304.69	269.12	177.04	40.94
	百分比/%	5.37	36.42	32.16	21.16	4.89
有效磷	含量/(mg·kg ⁻¹)	<15	15~20	20~25	25~30	>30
	面积/km ²	343.98	251.52	109.76	66.49	64.94
	百分比/%	41.11	30.06	13.12	7.95	7.76
速效钾	含量/(mg·kg ⁻¹)	<80	80~120	120~160	160~200	>200
	面积/km ²	24.12	117.11	272.89	302.60	119.97
	百分比/%	2.88	14.00	32.62	36.17	14.34
pH 值	pH 值	<6	6~6.5	6.5~7.5	>7.5	
	面积/km ²	59.92	109.96	452.27	214.53	
	百分比/%	7.16	13.14	54.06	25.64	

由图 2 和表 3 分析可得:土壤有机质是土壤的重要组成部分,是作物所需各种营养元素的重要来源,有机质含量的多少是衡量土壤肥力的主要指标。研究区东北部属黄土台塬区,地势较平,但水源缺乏,复种指数低,有机质积累缓慢;西北部灌区,气温较高,降水较少,有利于土壤有机质分解,不利于积累;而西

南部接近秦岭山前洪积扇区,降水多,蒸发小,腐殖质积累较多,因而有机质含量高。

土壤碱解氮是有效态氮,能被作物直接利用,进而可反映近期内土壤氮素供应能力,研究区内呈现北低南高走势,这是由于近山区的气候有利于氮素的积累,平原区的气候因素和作物消耗大而不利于积累。

土壤中的有效磷是易被作物吸收的磷酸盐和磷酸根离子,其含量的高低能反映土壤的供磷能力。研究区内土壤有效磷的含量普遍比较低,小于 15 mg/kg 的面积有 343.98 km²,占研究区面积的 41.11%,这是由于施肥过程中,土壤中相对含磷量较少,对土壤磷素补充少,因而大面积土壤缺磷。

土壤钾素是作物生长所必须的大量营养元素之一,研究区内土壤母质多为黄土或黄土状物质,整个土体的钾素含量都比较丰富,因此土壤速效钾的含量仅在西北区域相对较低。

土壤 pH 值也称为土壤酸碱度。它的大小直接影响到植物的生长发育、土壤养分的存在形式以及土壤微生物的活动。研究区内的 pH 值在 6.5~7.5 之间的面积达到 425.27 km²,占到研究区总面积的一半以上,微碱性土壤(pH 值为 7.5~8.5)主要分布在西北部平原区。

3 结论与讨论

本研究利用传统统计学、地统计学方法结合地理信息系统软件(ArcGIS 9.3)对关中平原台塬区进行土壤养分空间格局进行研究,研究结果表明:(1)研究区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾及土壤 pH 值的都具有空间变异性,他们的变异系数分别为:0.25, 0.25, 0.30, 0.84, 0.51, 0.09, 土壤 pH 值属弱变异性,而其他指标均属中等变异。(2)通过对研究区土壤养分理论半方差模型的运算及最优拟合参数比较,最终选取指数模型作为运算模型。由基底效应得出空间相关性表明:土壤养分中,pH 值具有强烈的空间相关性,其变异性主要受如成土母质、土壤类型等结构性因素影响;速效钾和碱解氮具有中等强度相关性,这两种养分的变化是结构性因素和随机性因素共同影响的结果;有效磷和有机质的空间相关性很弱,其变化主要受后期人为因素,如施肥、耕种措施的不同影响。

在本研究区中,由于成土母质多为黄土或黄土状物质,因此土壤钾素的含量较高,基本不存在缺乏问题,能够满足作物的生长需要,在今后的农业生产中,可以少施甚至在钾素极丰富区不施钾肥;但氮素和磷素含量水平相对较低,其中还有部分区域低于作物对磷素和氮素的需求水平。因此,对于研究区内应合理增施氮、磷肥,注意改善土壤结构,提高土壤抗旱保肥

和供肥能力。在利用上建立合理的轮作套种制度等措施,进一步提高氮磷水平。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张瑞清.我国农田生态系统的养分平衡[D].山东莱阳:莱阳农学院,2002.
- [3] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5):1501-1511.
- [4] Yanai J, Mishima A, Furakawa S, et al. Spatial variability of organic matter dynamics in the semi-arid croplands of northern Kazakhstan [J]. Soil Science and Plant Nutrient, 2005, 51(2):261-269.
- [5] 刘欣,王红梅,廖丽君.黑龙江省巴彦县土壤养分空间变异规律与格局分析[J].土壤通报,2011,42(1):86-42.
- [6] 苏永中,赵哈林,崔建垣.农田沙漠化演变中土壤形状特征及其空间变异性分析[J].土壤学报,2004,41(2):210-217.
- [7] 史利江,郑丽波,柳云龙.农田土壤养分空间变异特征研究[J].河南农业大学学报,2008,42(1):51-56,70.
- [8] 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,1999:90-99.
- [9] 白由路,金继运,杨俐苹,等.农田土壤养分变异与施肥推荐[J].植物营养与肥料学报,2001,7(2):129-133.
- [10] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963, 58:1246-1266.
- [11] 张敏,贺鹏飞,陈伟强.基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异分析[J].东北农业大学学报,2010,41(3):53-58.
- [12] Oliver M A. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1990, 4(3):313-332.
- [13] 郭兆元,黄自立,刘鹏生.陕西土壤[M].北京:科学出版社,1992:364-432.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,许志荣,等.土壤特性空间变异性初步研究[J].水利学报,1985,09:10-21.
- [15] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等.基于地统计学和 GIS 的土壤速效养分空间变异研究:以四川盆地两个自然村为例[J].山地学报,2006,24(S1):153-160.
- [16] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M].北京:科学出版社,2006:403-408.