

黄河下游县域耕层土壤养分的空间变异分析

——以山东省东阿县为例

卢向阳,张金萍,魏帆,张保华*
(聊城大学 环境与规划学院,山东 聊城 252059)

摘要:以山东省东阿县为研究区,运用全国第二次土壤普查养分分级标准及地统计分析方法探测土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾4种土壤养分的空间变异特征。结果表明,东阿县耕层土壤有机质含量介于9.50~29.80g/kg,分布相对稳定,大部分区域介于15.00~20.00g/kg,属于4级水平;仅高集镇东北部、顾官屯镇西部、刘集镇西南部、鱼山镇中西部及鱼山镇、刘集镇、姜楼镇三镇交界地区有机质含量较低;仅铜城街道办事处西北部、新城街道办事处东南部、陈集乡西南角、大桥镇西北部以及牛角店镇西南部有机质含量较高。全氮含量介于0.64~1.82g/kg,整体上分布较均匀,大部分区域介于1.00~1.50g/kg,属于3级水平,仅刘集镇北部地区略低。有效磷含量介于2.50~78.20mg/kg,具有较大的空间变异,但绝大部分介于20.00~40.00mg/kg,属于2级水平;仅高集镇北部、牛角店镇东南部、鱼山镇南部和刘集镇南部地区处于3级水平。速效钾含量在空间上呈岛状和条带状相结合的分布特点,大部分地区在150.00mg/kg以上,属于2级及其以上水平,含量总体上很丰富,其中东阿县中部和南部大片地区处于1级水平;仅高集镇中部、姚寨镇中部、牛角店镇东部、顾官屯镇中西部、鱼山镇北部及南部、姜楼镇西部和南部少量地区速效钾含量稍低,属于3级水平;4级区域非常稀少。

关键词:GIS; 土壤养分; 地统计分析; 空间相关性; 普通克里金

中图分类号:S158 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2016)08-0069-05

Analysis of Spatial Variability of Topsoil Nutrients of County Area of the Lower Yellow River—A Case Study of Dong’e County

LU Xiangyang,ZHANG Jinping,WEI Fan,ZHANG Baohua*
(College of Environment and Planning, Liaocheng University,Liaocheng 252059,China)

Abstract: The spatial variability of soil organic matter,total nitrogen,phosphorus and potassium in Dong’e county of Shandong province was studied by geostatistics and nutrition classification standard for the second national soil survey in this paper. The results showed that soil organic matter contents were 9.50—29.80 g/kg,relatively stable,with most of the area being 15.00—20.00 g/kg,belonged to level 4;only in northeastern Gaoji town,west Guguantun town,southwest Liuji town,midwestern Yushan town,and the junction of Yushan,Liuji and Jianglou towns,the organic matter contents were lower;only in northwest of Tongcheng subdistrict,southeast of Xincheng subdistrict,southwest corner of Chenji country,northwest of Daqiao town and southwest of Niujiadian town,the organic matter contents were higher. Total nitrogen contents were 0.64—1.82 g/kg and the distribution was more uniform,with most of the area being 1.00—1.50 g/kg,belonged to level 3;only in northern Liuji town,total nitrogen content was lower. Available phosphorus contents were 2.50—78.20 mg/kg,and more dispersed distribution,with most of

收稿日期:2016-03-10
基金项目:国家自然科学基金项目(41201602);山东省高校科技计划资助经费项目(J14LH04);全国统计科学研究计划项目(2014LY057);国家级大学生创新训练项目(201410447011)
作者简介:卢向阳(1990-),男,山东德州人,在读硕士研究生,研究方向:3S技术应用与建模。E-mail:lcdx_lxy@163.com
* 通讯作者:张保华(1971-),男,山东莘县人,教授,博士,主要从事土壤地理学、土壤物理学方面的研究。
E-mail:zhangbaohua@lcu.edu.cn

把所采集的样品除去杂质,风干,过筛,对土壤养分进行化学分析。有机质含量用重铬酸钾外加热法测定,全氮含量用凯氏定氮法测定,有效磷含量用 0.5 mol/L NaHCO₃ 提取—钼锑抗比色法测定,速效钾含量用 1 mol/L 中性醋酸铵提取—火焰光度计测定^[15]。

1.3 土壤养分分级标准

参照全国第二次土壤普查养分分级标准^[16],对土壤养分含量进行分级,具体分级标准见表 1。

表 1 全国第二次土壤普查养分分级标准

级别	有机质/ (g/kg)	全氮/ (g/kg)	有效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
1	>40	>2	>40	>200
2	30~40	1.5~2	20~40	150~200
3	20~30	1~1.5	10~20	100~150
4	10~20	0.75~1	5~10	50~100
5	6~10	0.5~0.75	3~5	30~50
6	<6	<0.5	<3	<30

1.4 土壤养分空间变异分析方法

地统计学是分析土壤特性空间分布特征及其变异规律的有效方法。变异函数 $r(h)$ 是地统计学的理论核心,它是区域化变量增量平方的数学期望,即区域化变量增量的方差,其计算公式如下。

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

式中, $N(h)$ 为样本对数, $Z(x)$ 是系统某属性在空间位置 x 处的区域化随机变量,并且满足二阶平稳假设, h 为两样本点空间间隔距离, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值 $[i = 1, 2, \dots, N(h)]$ ^[17]。

变异函数的重要特征值为变程(a)、基台值($C_0 + C$)和块金值(C_0)。变程表示土壤要素的空间自相关范围,其变化反映引起土壤要素变异主要过程的变化。当变程 $a \leq h$ 时,区域化变量 $Z(x)$ 的空间相关性消失。块金值表示由试验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异,较大的块金值表明较小尺度上的某种变化过程不容忽视。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,是系统或系统属性中最大的变异,基台值越高,表示系统总的空间异质性越高。块金值和基台值之比 $[C_0/(C_0 + C)]$,即变异系数,反映块金值占总空间异质性变异的大小,比值较高说明由随机部分引起的空间异质性程度较大;相反,则由空间自相关部分引起的空间异质性程度较大;如果接近 1,则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异。从结构性因素的角度来看, $C_0/(C_0 + C)$ 可表示系统变量的空间相关性程度,如果比例大于 25%,说明变量具有强烈的空间相关性;在 25%~75%,说明变量具有中等的空间相关性;超过 75% 时,说明变量空间相关性很弱^[18]。

本研究首先对土壤养分数据进行描述性统计分析,判断各养分数据的分布特征,然后进行趋势分析,最后采用普通克里金法进行土壤养分的空间插值。进行插值时,将方向参数设置为各向异性,分别用三角函数、球面函数、指数函数等模型进行模拟,根据标准平均值(ME)最接近于 0、平均标准误差(ASE)最接近于均方根预测误差(RMS)、标准均方根预测误差($RMSS$)最接近于 1 三个主要标准判断半方差函数模型及其参数是否合适,记录下最优模型的变程、基台值、块金值等重要参数,分析土壤养分变异函数的特征。

2 结果与分析

2.1 东阿县土壤养分数据的描述性统计分析

由表 2 可知,黄河下游典型平原县东阿县土壤有机质含量数据经过对数变换,全氮、有效磷、速效钾含量数据经过 Box-Cox 变换之后均符合正态分布。东阿县土壤有机质含量介于 9.50~29.80 g/kg,处于 3~5 级,平均处于 4 级;全氮含量介于 0.64~1.82 g/kg,处于 2~5 级,平均处于 3 级;有效磷含量介于 2.50~78.20 mg/kg,处于 1~6 级,含量分布较分散,平均处于 2 级;速效钾含量介于 60.00~463.00 mg/kg,处于 1~4 级,平均处于 1 级。

表 2 东阿县土壤养分数据的描述性统计分析

土壤养分	最大值	最小值	平均值	中位数	标准差	偏度	峰度
有机质/(g/kg)	29.80	9.50	17.08	16.90	3.29	0.74	4.36
全氮/(g/kg)	1.82	0.64	1.17	1.15	0.25	0.32	2.52
有效磷/(mg/kg)	78.20	2.50	26.26	23.00	15.30	0.89	3.58
速效钾/(mg/kg)	463.00	60.00	201.89	183.00	83.75	0.74	3.34

2.2 东阿县土壤养分含量的空间趋势及变异函数分析

对东阿县土壤养分含量变化进行趋势分析发现,有机质、全氮、有效磷、速效钾 4 种土壤养分都呈倒 U 形,呈现一定的二阶趋势。因此,对各土壤养分含量数据进行插值时都选择二次趋势效应函数。通过检验,有机质选择指数函数模型、全氮选择三角函数模型、有效磷选择球面模型、速效钾选择球面模

型进行空间分布插值模拟,参数如表 3 所示。由表 3 可见,东阿县土壤有机质、全氮的块金值和基台值都较小,表明随机部分的空间异质性和养分总变异相对较小;有效磷块金值和基台值相同,表明二者在整个尺度上都具有恒定的变异;速效钾块金值和基台值相对较大,表明随机部分的空间异质性和养分总变异相对较大。从变程看,土壤有机质、全氮、速效钾在空间上呈现出明显的各向异性,分别在 1.82~

3.98 km、2.34 ~ 6.15 km、2.56 ~ 6.32 km 时存在空间相关性,其含量具有较强的空间渐变性特征。有效磷在空间上表现为各向同性,在 0 ~ 59.65 km 存在空间相关性,超过 59.65 km 空间相关性消失。土壤有机质、全氮、有效磷含量变异系数都大于 75%,表明其空间相关性较弱,且养分分布情况主要由随

机性因素引起。速效钾含量变异系数为 48.27%,属于中等程度的空间相关性,其分布情况主要由随机性因素如灌溉、施肥、耕作、土壤改良等人为活动,以及结构性因素如地形、气候、土壤类型等共同作用引起^[19]。各养分指标空间相关范围均大于采样点平均间隔,可以进行空间插值、制图。

表 3 东阿县土壤养分空间插值模型参数及检验指标

土壤养分	插值模型	C_0	$C_0 + C$	a/km	$C_0/(C_0 + C)$	检验指标			
						RMS	ME	RSS	ASE
有机质	指数函数	0.02	0.03	1.82 ~ 3.98	80.38	3.275	-0.001	1.026	3.260
全氮	三角函数	0.04	0.05	2.34 ~ 6.15	80.38	0.259	-0.009	1.052	0.247
有效磷	球面函数	3.53	3.53	59.65	100.00	16.133	-0.031	1.032	16.143
速效钾	球面函数	1.98	3.74	2.56 ~ 6.32	48.27	80.569	-0.045	1.002	79.723

2.3 东阿县土壤养分含量的空间变异特征

由图 2 可以看出,东阿县耕层土壤有机质含量分布相对稳定、差异较小,大部分区域介于 15.00 ~

20.00 g/kg,属于 4 级水平;仅高集镇东北部、顾官屯镇西部、刘集镇西南部、鱼山镇中西部及鱼山镇、刘集镇、姜楼镇三镇交界地区有机质含量较低,介于

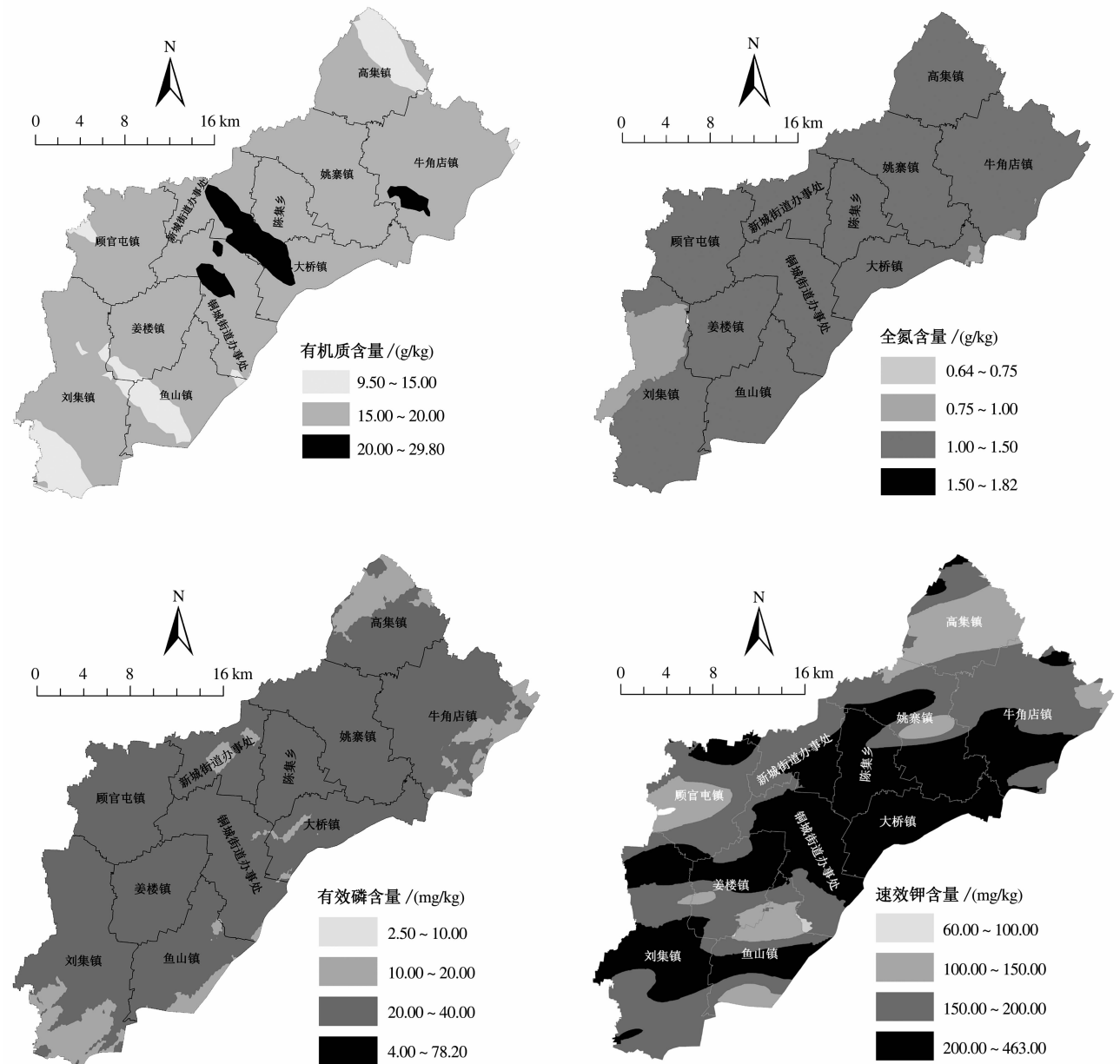


图 2 东阿县土壤养分空间分布情况

9.50 ~ 15.00 g/kg,属于4~5级;仅铜城街道办事处西北部、新城街道办事处东南部、陈集乡西南角、大桥镇西北部以及牛角店镇西南部有机质含量较高,介于20.00 ~ 29.80 g/kg,属于3级水平。全氮含量整体上分布较均匀,大部分区域介于1.00 ~ 1.50 g/kg,属于3级水平;刘集镇北部地区全氮含量略低,介于0.75 ~ 1.00 g/kg,属于4级水平;全氮含量在2级和5级的区域比较稀少。有效磷含量具有较大的空间变异,介于2.50 ~ 78.20 mg/kg,但绝大部分介于20.00 ~ 40.00 mg/kg,属于2级水平;仅高集镇北部、牛角店镇东南部、鱼山镇南部和刘集镇南部地区处于3级水平;其他等级区域比较稀少。速效钾含量在空间上呈岛状和条带状相结合分布特点,大部分地区在150.00 mg/kg以上,属于2级以上,含量总体上很丰富,其中东阿县中部和南部大片地区处于1级水平;仅高集镇中部、姚寨镇中部、牛角店镇东部、顾官屯镇中西部、鱼山镇北部及南部、姜楼镇西部和南部少量地区速效钾含量稍低,属于3级水平;4级区域非常稀少。

3 结论

在空间上,黄河下游典型平原县东阿县的土壤有机质、全氮和速效钾3种土壤养分为各向异性,在1.82 ~ 6.32 km时存在空间相关性;有效磷为各向同性,超过59.65 km之后空间相关性消失。土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾的变异系数介于48.27% ~ 100.00%。速效钾表现出中等程度的变异,其空间变化是结构性因素和随机性因素共同作用的结果;有机质、全氮和有效磷空间变异性较弱,主要受随机性即人为因素的影响。对普通克里金插值法获得的各种养分的空间分布图进行分析发现,东阿县绝大部分地区的有机质含量处于4级水平,农田普遍施用化肥,有机肥和畜禽厩粪肥施用不足使得东阿县耕层土壤有机质含量偏低。由于存在挥发、淋失与反硝化损失,氮肥很难在土壤中储存,东阿县全氮养分含量绝大多数地区处于3级水平。磷肥相对易储存在土壤中,大部分地区有效磷含量处于2级水平,含量比较丰富。东阿县农田土壤速效钾含量丰富,大部分处于1、2级水平。综合而言,增施有机肥,小麦、玉米等作物秸秆还田,推广平衡配套施肥技术等是提高东阿县耕层土壤有机质和全氮含量的有效措施。

参考文献:

[1] Quine T A, Zhang Y. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within

- an agricultural field in Devon, UK[J]. *J Soil Water Conserv*, 2002, 57: 50-60.
- [2] Liu G S, Chang D, Ye X F, *et al* Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2586-2595.
- [3] Duffera M, Jeffrey G W, Weisz R. Spatial variability of Southeastern U. S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management[J]. *Geoderma*, 2007, 137: 327-339.
- [4] Lauzon J D, Halloran O I P, Fallow D J, *et al*. Spatial variability of soil test phosphorus, potassium, and pH of Ontario soils[J]. *Agron J*, 2005, 97: 524-532.
- [5] Zhang C S, McGrath D. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods[J]. *Geoderma*, 2004, 119(3/4): 261-275.
- [6] 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.
- [7] 孙永健, 周蓉蓉, 王长松, 等. 稻麦两熟农田土壤速效钾时空变异及原因分析——以江苏省仪征市为例[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(3): 543-549.
- [8] 牛灵安, 郝晋珉, 覃莉, 等. 盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(1): 84-90.
- [9] 张金萍, 张保华, 刘子亭, 等. 山东省禹城市耕层土壤有机质含量变化的空间变异[J]. *土壤通报*, 2009, 40(2): 258-261.
- [10] 赵倩倩, 赵庚星, 董超, 等. 高密市农田土壤养分空间变异特征研究[J]. *土壤通报*, 2012, 43(3): 643-650.
- [11] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field-scale heterogeneity of soil properties in central low a soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, 58: 1501-1511.
- [12] 杨柳, 胡玉福, 许宗林, 等. 川中丘陵区土壤养分时间变异特征研究——以中江县玉兴镇为例[J]. *土壤通报*, 2009, 40(5): 1057-1062.
- [13] 曹宁, 陈新平, 张福锁, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异特征评价研究[J]. *华北农学报*, 2008, 23(增刊): 319-324.
- [14] 聊城市统计局. 聊城市统计年鉴 2014[M]. 聊城: 聊城市统计局, 2014.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-33, 56-57, 81-83.
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [17] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2012: 419-452.
- [18] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I. The semivariogram and punctual Kriging[J]. *Soil Sci*, 1980, 31: 315-341.
- [19] 吕真真, 刘广明, 杨劲松, 等. 环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J]. *土壤学报*, 2014, 51(5): 944-952.