

环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局*

吕真真 刘广明 杨劲松[†] 张密密

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要 大尺度研究土壤养分空间变异和分布,是实现区域平衡施肥和精准化农业的重要前提,大批量土壤养分的实验室分析比较费时费力且耗资较大,地统计及 GIS 插值技术可以有效解决这一问题。利用 432 个采样点,进行环渤海沿海区域 0~30 cm 和 30~60 cm 土层土壤养分空间变异和空间分布格局研究。土壤养分指标包括土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质及全氮。对各土壤养分指标进行传统统计和地统计分析并采用 kriging 进行空间插值成图。结果表明:同一养分指标变异程度在 0~30 cm 和 30~60 cm 土层均相近;各养分指标在两土层均具有良好的空间结构性;研究区土壤有效磷和速效钾含量相对丰富,碱解氮、有机质和全氮含量较缺乏,总体而言本研究区域土壤养分较缺乏,30~60 cm 土层各养分含量较 0~30 cm 土层更加缺乏。

关键词 土壤养分;地统计分析;Kriging 插值;空间变异;环渤海沿海区

中图分类号 S159.2 **文献标识码** A

土壤是不均一时空连续体,母质、生物、气候^[1]及地形等因素影响土壤成土过程,使土壤具有高度空间异质性^[2]。土壤养分是土壤重要属性之一,生物及人类农业生产活动^[3-6]增强了土壤养分的空间异质性。盲目施肥降低了施肥的针对性和准确性,对于改善作物生境,提高肥料利用率及控制农业面源污染造成负面影响。所以明确土壤养分在空间上的变异及分布是进行土壤养分科学管理的前提和基础。国内外众多研究表明,地统计学方法^[7-10]和克里格插值法^[11-15]在研究土壤养分空间变异中广泛应用,促进了土壤养分空间变异的研究。小尺度养分空间变异研究有助于个别农户合理施肥,大尺度研究能够为决策者提供理论依据,合理指导农民施肥。自 20 世纪 80 年代国内外对于中小尺度的土壤养分空间变异进行了大量的研究,但大尺度研究由于受采样限制,至今研究尚少。渤海沿岸生态环境脆弱、人口密集、人类工程活动繁杂,其环境变化对我国经济建设关系重大,有关该区域大尺度的土壤养分空间变异及分布格局研究未见报道。本文通过大规模野外实地调研分两层采集土壤样品,

通过传统统计及地统计分析方法结合 GIS 克里格插值研究环渤海沿海地区土壤养分空间变异及分布格局,可为该区土壤养分分区管理及土壤资源可持续利用提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文选择环渤海沿海地区为研究区域,位于东经 117°15′~119°9′、北纬 37°34′~40°7′,覆盖面积为 28 226 km²,占整个环渤海地区面积的 12.08%。包括北京、天津、河北、辽宁和山东省的沿海县市,南起东营市的垦利县北至秦皇岛的山海关。该区域属温带气候类型,位于暖温带半湿润季风气候区,平均年降水量 560~916 mm,丰枯年降水量相差 3~5 倍,降水量年内分配不均,其中 60%~75% 的降水量集中在 6 月至 9 月^[16],平均气温为 10~13℃^[17]。北部为侵蚀的中低山地貌,沿海边缘为海蚀平原,由北向南、由西向东表现出明显的阶梯状降低的地貌特征。自然植被稀少,多为次生林;区

* 公益性行业(海洋)科研专项经费项目(201105020)、国家自然科学基金项目(41171181,51109204)、中国科学院现代农业示范计划课题(CXJQ120108)和江苏省科技支撑计划项目(BE2013357)资助

[†] 通讯作者, E-mail: jsyang@issas.ac.cn

作者简介:吕真真(1987—),女,博士研究生,主要从事土壤盐渍化防控管理与盐渍土资源利用方面的研究。E-mail: zlv@issas.ac.cn

收稿日期:2013-11-15;收到修改稿日期:2014-04-14

域内地带性土壤以棕壤和褐土为主,暗棕壤只在辽宁有少量分布,此外还有水稻土、潮土、风沙土、盐土、草甸土和沼泽土等非地带性土壤分布。土壤母质以冲积物和洪积物为主。

1.2 样品采集与分析

在综合考虑土壤质地、植被类型与土地利用方

式等因素的基础上进行规则布点采样,控制采样间距在 10 km 范围。用 GPS 定位每个采样点位置,在每个采样点用土钻法进行 0 ~ 30 cm 和 30 ~ 60 cm 土样采集,共 432 个采样点位。研究区域及采样点分布图见图 1。

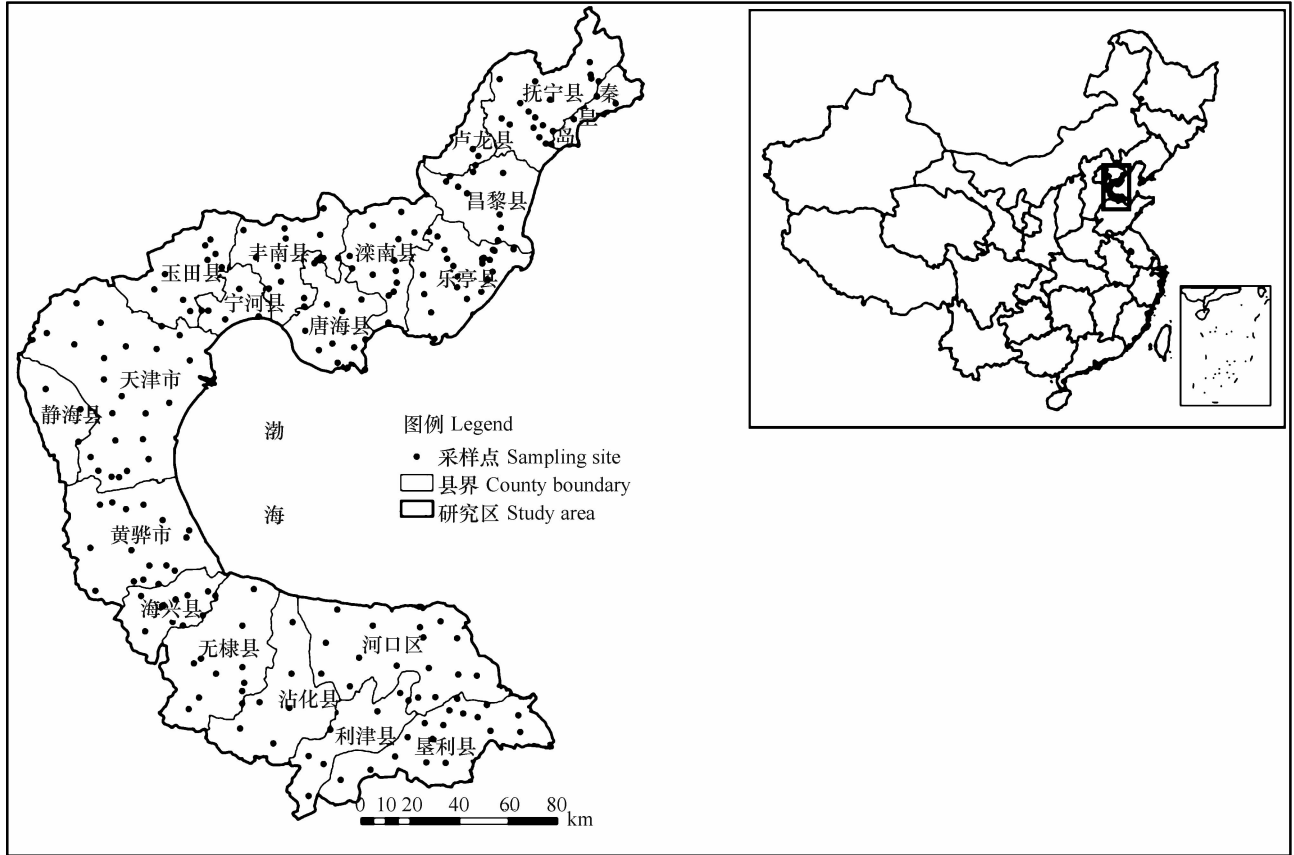


图 1 环渤海区域及采样点分布图

Fig. 1 Map of the Bohai coastal area and distribution of soil sampling sites

采集的土样带回实验室内自然风干、磨碎、过筛后备用。进行土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和全氮等 5 种养分指标测定^[18]。

1.3 数据处理与地统计学分析

经典统计分析采用 SPSS11.5 软件,在统计分析之前,采用三倍标准差检验法对离群值进行识别,对离群值分别用正常的最大值和最小值代替。并采用柯尔莫诺夫 - 斯米尔诺夫 (Kolmogorov - Smirnov, 简称 K - S) 检验法来分析原始数据是否符合正态分布;半方差函数分析采用 GS + 7.0 软件,根据参数模型在 ArcGIS9.3 软件中进行数据趋势效应分析及 Kriging 插图绘制土壤各养分指标空间分布格局图。

地统计学是在传统统计学基础上发展起来的空

间分析方法,以区域化变量理论为基础,以半方差函数为主要工具,揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征^[19]。经验半方差函数是在任意方向上,相距为 h 的两个区域化变量 $Z(x)$ 和 $Z(x + h)$ 增量的方差,在满足二阶平稳假设的条件下,其计算公式为^[20]:

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

式中, $r(h)$ 为经验半方差函数, h 为分隔两样点的矢量,称为步长。 $N(h)$ 为被向量 h 间隔的实验数据点对的数目。 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为区域化变量 $Z(x)$ 在位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值。

2 结果

2.1 土壤养分指标的描述性统计特征

参照全国第二次土壤普查养分分级标准对各土壤养分进行分级(表1),每个养分指标均分为6级水平,分别为1级(很丰富)、2级(丰富)、3级(中等)、4级(缺乏)、5级(很缺乏)、6级(极缺乏)。

对各养分指标进行描述性统计分析,由表2可知,0~30 cm 土层和 30~60 cm 土层,碱解氮平均分别处于很缺乏状态和极缺乏状态;有效磷含量范围处于中等水平和缺乏水平;速效钾含量较高,分

别属于很丰富及丰富水平;有机质和全氮平均含量均较低,属于缺乏状态和很缺乏状态;比较各养分指标含量范围及平均值可以得出,表层养分含量平均高于 30~60 cm 土层。从变异系数看,除 30~60 cm 土层速效钾变异系数大于 100%,属于强变异程度以外,其他指标的变异系数均在 10%~100%,属于中等变异强度。对养分指标进行正态分布检验,依据 K-S 检验 Z 值和其相伴概率指标在 $\alpha = 0.05$ 下进行显著性检验,确定碱解氮、有机质和全氮在 0~30 cm 和 30~60 cm 土层均呈正态分布,有效磷和速效钾在 0~30 cm 符合正态分布,而在 30~60 cm 土层经自然对数转换后符合正态分布。

表1 土壤养分分级标准对照表

Table 1 Criteria for grading of soil nutrients

等级 Grade	碱解氮 Alkalytic nitrogen (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	速效钾 Readily available potassium (mg kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)
1 级 Grade 1 ¹⁾	>150	>40	>200	>40	>2
2 级 Grade 2 ²⁾	120~150	20~40	150~200	30~40	1.5~2
3 级 Grade 3 ³⁾	90~120	10~20	100~150	20~30	1~1.5
4 级 Grade 4 ⁴⁾	60~90	5~10	50~100	10~20	0.75~1
5 级 Grade 5 ⁵⁾	30~60	3~5	30~50	6~10	0.5~0.75
6 级 Grade 6 ⁶⁾	<30	<3	<30	<6	<0.5

1) 很丰富 Very rich; 2) 丰富 Rich; 3) 中等 Medium; 4) 缺乏 Deficient; 5) 很缺乏 Very deficient; 6) 极缺乏 Extremely deficient

表2 土壤养分指标统计特征值

Table 2 Statistical characteristics of soil nutrients

养分指标 Nutrient index	土层 Soil layer	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	K-S 值 K-S value	相伴 概率 Sig.	分布类型 Distribution types
碱解氮 Alkalytic nitrogen (mg kg ⁻¹)	0~30 cm 30~60 cm	7 6	115 80	52 29	26 17	50.71 59.91	0.67 1.12	0.767 0.165	N N
有效磷 Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	0~30 cm 30~60 cm	2.9 1.9	75.3 25.7	19.4 7.5	17.6 5.6	90.43 74.48	1.34 1.13	0.054 0.154	N LgN
速效钾 Readily available potassium (mg kg ⁻¹)	0~30 cm 30~60 cm	14 7	1 132 1 048	202 177	190 187	94.25 105.99	1.28 0.62	0.074 0.800	N LgN
有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	0~30 cm 30~60 cm	2.15 1.80	26.82 15.55	11.29 6.94	5.15 3.05	45.58 43.97	0.73 0.54	0.659 0.933	N N
全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0~30 cm 30~60 cm	0.05 0.12	1.70 0.98	0.66 0.42	0.32 0.19	48.13 45.49	0.77 0.45	0.601 0.989	N N

注: N 为正态分布, LgN 为对数正态分布, 其对应的 K-S 值及相伴概率均为自然对数转换后的数据计算得出 Note: N stands for normal distribution and LgN for lognormal distribution and their corresponding K-S values and their accompanied probabilities come from natural logarithm transformation data

2.2 土壤养分指标区域趋势效应

受成土因素、自然地理条件及人类耕作活动的影响,区域土壤属性的空间格局常呈显著的趋势分布,在空间插值制图分析中不容忽视。ArcGIS9.3 软件的地统计学模块,可以方便地分析各养分指标的趋势效应,通过对研究区 0~30 cm 和 30~60 cm 土层各养分指标的空间趋势效应研究发现,0~30 cm 和 30~60 cm 土层土壤碱解氮、速效钾及全氮呈现出相同趋势效应,在东西方向和南北方向均呈现二阶趋势效应;0~30 cm 土层有效磷总体上从西到东呈线性递增趋势,从北到南呈现显著线性降低趋势,在两方向上均为一阶趋势效应,30~60 cm 有效磷在东西方向和南北方向均呈现二阶趋势效应;0~30 cm 有机质在东西方向和南北方向均呈现二阶趋势效应,30~60 cm 有机质在东西和南北方向趋势分别为一阶和二阶趋势。

2.3 土壤养分指标空间变异结构特征

采用 GS+ 软件进行各养分指标半方差函数模型拟合,考虑各养分指标的各向异性和趋势性,经过反复模拟最终选取最优拟合函数,获得半方差函数图(图 2)和结构参数(表 3)。上下层土壤各养分指标在该研究区域均存在良好的半方差结构,而不同养分指标空间变异性不同。

块金值与基台值之比 $C_0/C_0 + C$ 可以表示由随机因素所引起异质性占总空间异质性程度,它反映土壤属性空间依赖性,常被用作研究变量空间相关的分类依据^[21]。比值小于 25% 时,表现为强空间相关性;在 25%~75% 之间表现为中等空间相关性;比值大于 75% 表现为弱空间相关性。有效磷在 0~30 cm 土层属于中等空间相关性,30~60 cm 土层属于强空间相关性;说明表层有效磷含量空间差异是由随机性因素(如灌溉、施肥、耕作措施和土壤改良等各种人为活动)和结构性因素(如气候、地形、土壤类型等)共同作用引起,而下层主要是由结构性因素引起。速效钾在上下层土壤均属于强空间相关性;碱解氮、有机质和全氮在上层空间相关性高于下层,在 0~30 cm 属于强空间相关性而 30~60 cm 属于中等空间相关性。变程 A 也称为空间最大相关距离,反映变量空间自相关范围的大小,上下土层各养分指标变程在 17.3~93.1 km,变程较大,说明在较大的范围内存在空间相关性,其含量具有较强的空间渐变性规律,各养分指标的空间相关范围均大于采样点平均间隔 10 km,可以进行空间插值和制图。各土壤养分指标块金值均较小,说明在本研究尺度上由于采样误差、短距离变异、随机和固有变异引起的耕层土壤养分变异不大。

表 3 土壤养分指标半方差函数模型参数

Table 3 Parameters of the semi-variogram models for soil nutrients in different soil layers

养分指标 Nugget index	土层 Soil layer	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill $C_0 + C$	块金值/基台值 Nugget/Sill (%)	变程 Range (m)	决定系数 R^2	残差 RSS
碱解氮 Alkalytic nitrogen (mg kg^{-1})	0~30 cm	高斯 Gaussian	0.053	0.466	11.37	57 700	0.810	0.039
	30~60 cm	球状 Spherical	0.205	0.420	48.81	71 900	0.687	0.024
有效磷 Available phosphorus (mg kg^{-1})	0~30 cm	指数 Esponential	0.202	0.556	36.33	20 200	0.514	0.070
	30~60 cm	指数 Esponential	0.077	0.611	12.60	49 200	0.802	0.065
速效钾 Readily available potassium (mg kg^{-1})	0~30 cm	指数 Esponential	0.001	0.950	0.11	26 400	0.763	0.224
	30~60 cm	球状 Spherical	0.328	1.442	22.75	93 100	0.778	0.463
有机质 Organic matter (g kg^{-1})	0~30 cm	指数 Esponential	0	0.262	0.04	21 700	0.770	0.015
	30~60 cm	指数 Esponential	0.150	0.347	43.23	27 400	0.316	0.388
全氮 Total nitrogen (g kg^{-1})	0~30 cm	球状 Spherical	0.014	0.116	11.94	56 300	0.769	0.003
	30~60 cm	高斯 Gaussian	0.011	0.039	28.31	17 300	0.546	0.005

注:0~30 cm 和 30~60 cm 土层土壤速效钾和有机质半方差参数均为自然对数转换后计算值,0~30 cm 土层土壤速效钾和有机质经 K-S 检验虽然符合正态分布但其 Sig. 值较小,半方差函数拟合效果较差,故采用自然对数转换后值进行半方差函数拟合 Note: Semi-variance parameters of soil readily available potassium and organic matter in the 0~30 cm and 30~60 cm soil layers are calculated by natural logarithm data. Although soil readily available potassium and organic matter in the 0~30 cm soil layer are distributed lognormally, they are quite low in Sig. value so their semivariogram fitting is not so good. It is, therefore, advisable to perform semivariogram fitting after natural logarithmical transformation of the values

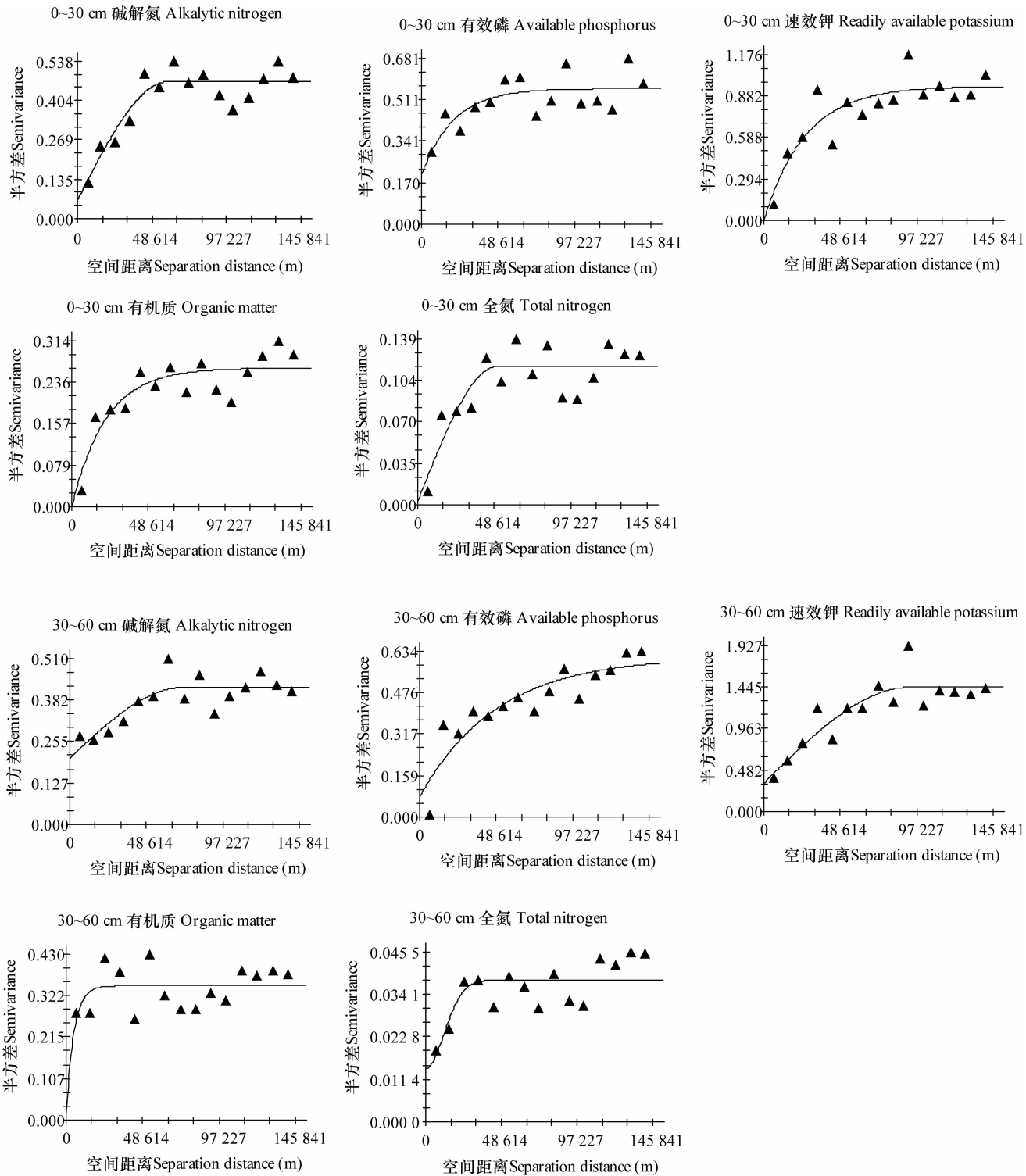


图2 土壤养分半方差函数图

Fig. 2 Semi-variance grams of soil nutrients

2.4 土壤养分指标空间分布格局与评价

根据变异函数的理论模型及趋势效应参数,按照第二次土壤普查中土壤养分分级标准划分等级,通过 ArcGIS9.3 地统计分析模块中的普通克里格法

绘制 0~30 cm 和 30~60 cm 土层土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和全氮的空间分布格局图(图 3)。

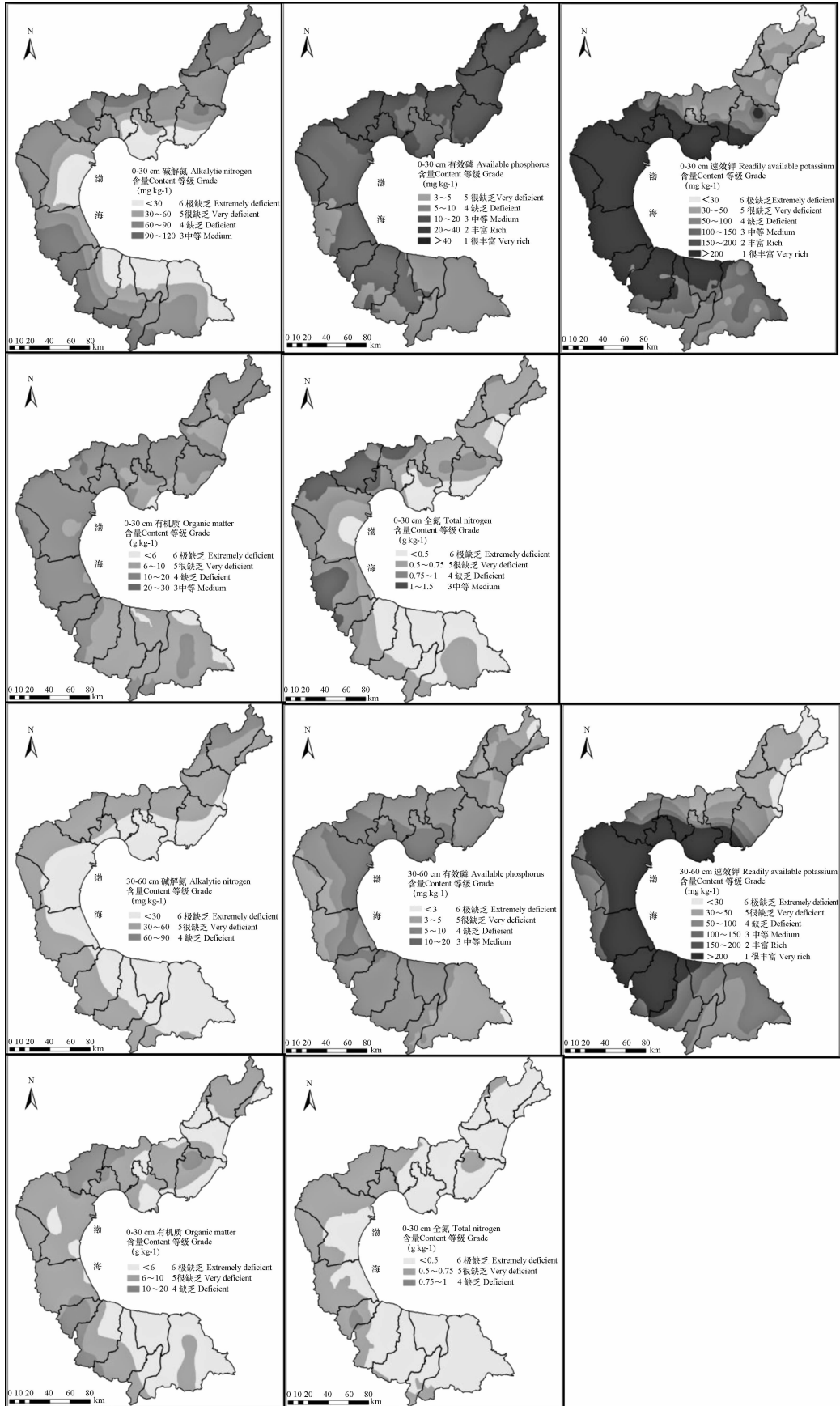


图3 不同土层各养分指标空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution of soil nutrients in different soil layers

从养分等级空间分布图中可以看出,土壤碱解氮呈条带状分布,距海岸线距离越近含量越低,除极小面积区域达中等水平外,其他面积土壤均处于缺乏及缺乏以下等级,整体而言碱解氮处于贫瘠状态;有效磷相对较丰富,分布规律与碱解氮不同,呈现片状分布,大致规律为随纬度升高土壤有效磷含量呈增大的趋势;土壤速效钾含量分布较广,6个等级在本研究区均有分布,且呈现插花状分布,研究区北部各县市土壤速效钾较缺乏,中间部分大面积区域含量很丰富属于1级水平;土壤有机质和全氮含量在整个研究区大部分区域均处于缺乏及以下水平。30~60 cm 土层各养分指标与0~30 cm 土层相比,除速效钾以外,其他养分指标等级均下降,碱解氮、有机质和全氮均处于缺乏以下等级,有效磷减少了1级很丰富等级而增加了6级极缺乏等级;速效钾各等级分布规律与0~30 cm 土层相似。

土壤碱解氮、全氮和有机质空间分布格局主要是由结构性因素引起,研究区位于渤海沿岸,海水入侵导致地下水矿化度较高,土壤盐渍化严重,农业生产受到极大限制,大片地区荒废,肥料投入较少,地面植被稀疏,不利于养分在土壤中积聚。土壤有效磷空间分布格局受结构性和随机性因素共同作用,结构性因素占主导作用,主要与研究区土壤类型的分布规律有关,有效磷在主要类型土壤中含量高低顺序为褐土潮>潮土>盐化潮土,褐土的成土母质多为黄土性的河流冲积物或洪冲积物,磷素含量较高,研究区北部褐土为主要土壤类型,而南部广泛分布盐化潮土,故研究区北部土壤含磷普遍高于南部;另一方面与人类农业生产活动有关,研究区北部土壤盐渍化程度较低,是环渤海主要的农业区,农业生产状况较好,农业投入磷素一部分被吸附固定在土壤中,致使土壤有效磷含量相对较丰富。土壤速效钾在研究区较丰富,空间分布格局主要是受结构性因素引起,研究区中部土壤母质以海河冲积物为主,其黏粒矿物主要是伊利石,故此区域土壤钾素含量丰富。

3 结 论

本文通过传统统计和地统计结合GIS软件,研究环渤海沿海区域0~30 cm和30~60 cm 土层碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和全氮空间变异特征及空间分布格局,主要获得以下研究结论:0~30 cm 土层各养分指标均值均高于30~60 cm 土层;同一

养分指标变异程度在0~30 cm和30~60 cm 土层均相近,碱解氮和有机质符合正态分布,有效磷、速效钾和全氮符合对数正态分布;各养分指标在两土层均具有良好的空间结构性,不同养分指标空间相关性存在差异,各养分指标变程较大在17.3~92.3 km,表明在较大的范围内存在空间相关性。研究区土壤有效磷和速效钾相对含量丰富,碱解氮、有机质和全氮含量较缺乏,总体而言本研究区域土壤养分较缺乏,30~60 cm 土层各养分含量较0~30 cm 土层更加缺乏。不同养分指标空间分布格局具有差异,应根据各养分等级空间分布状况进行有针对性指导施肥,提高肥料利用率,实现精准化农业可持续发展。

参 考 文 献

- [1] Ryan J, Ibriki H, Singh M, et al. Response to residual and currently applied phosphorus in dryland cereal/legume rotations in three Syrian Mediterranean agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(2): 126—137
- [2] 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. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(1): 64—67. Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, et al. Spatial variance and distribution of total nitrogen and organic matter of soil in Xingguo county of Jiangxi, China (In Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(1): 64—67
- [3] 赵庚星,李秀娟,李涛,等. 耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析. *农业工程学报*, 2005, 21(10): 55—58. Zhao G X, Li X J, Li T, et al. Analysis of soil nutrient situation under different cultivated land use types (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(10): 55—58
- [4] 王栋,李辉信,胡锋. 不同耕作方式下覆草旱作稻田土壤肥力的特征. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1203—1209. Wang D, Li H X, Hu F. Effects of mulching and tillage on soil fertility of upland rice field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(6): 1203—1209
- [5] Samaké O, Smaling E M A, Kropff M J, et al. Effects of cultivation practices on spatial variation of soil fertility and millet yields in the Sahel of Mali. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 109(3/4): 335—345
- [6] 王锐,林先贵,陈瑞蕊,等. 长期不同施肥对潮土芽胞杆菌数量的影响及其优势度的季节变化. *土壤学报*, 2013, 50(4): 778—785. Wang R, Lin X G, Chen R R, et al. Effect of long-term fertilization regime on population of Bacilli and seasonal variation of its dominance in fluvo-aquic soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(4): 778—785
- [7] 李强,周冀衡,杨荣生,等. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 950—956. Li Q, Zhou J H, Yang R S, et al. Soil nutrients spatial

- variability and soil fertility suitability in Qujing tobacco-planting area (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (4): 950—956
- [8] Kral F, Corstanje R, White J R, et al. Geostatistical analysis of soil properties in the davis pond Mississippi freshwater diversion. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, 76 (3): 1107—1118
- [9] Cui B, Yang W, Feng M, et al. Study on the spatial-temporal variability of soil nutrients during winter wheat growth season. *Computer and Computing Technologies in Agriculture VI*, 2013, 393: 238—247
- [10] Foroughifar H, Jafarzadeh A A, Torabi H, et al. Using geostatistics and geographic information system techniques to characterize spatial variability of soil properties, including micronutrients. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2013, 44 (8): 1273—1281
- [11] 唐国勇, 黄道友, 黄敏, 等. 红壤丘陵景观表层土壤有机碳空间变异特点及其影响因子. *土壤学报*, 2010, 47 (4): 753—759. Tang G Y, Huang D Y, Huang M, et al. Spatial variations of organic carbon in surface soils in a hilly landscape of the red-earth region and their affecting factors (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 (4): 753—759
- [12] 张国平, 郭澎涛, 王正银, 等. 紫色土丘陵地区农田土壤养分空间分布预测. *农业工程学报*, 2013, 29 (6): 113—120. Zhang G P, Guo P T, Wang Z Y, et al. Prediction of spatial distribution of hilly farmland with purple soil nutrient (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29 (6): 113—120
- [13] Li C, Chen G, Zeng G, et al. The study of soil fertility spatial variation feature based on GIS and data mining. *Computer and Computing Technologies in Agriculture VI*, 2013, 393: 211—220
- [14] Li Q Q, Wang C Q, Zhang W J, et al. Prediction of soil nutrients spatial distribution based on neural network model combined with geostatistics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (2): 459—466
- [15] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析. *土壤学报*, 2013, 50 (1): 1—11. Zhao M S, Zhang G L, Wang D C, et al. Spatial variability of soil organic matter and its dominating factors in Xu-Huai Alluvial Plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (1): 1—11
- [16] 张吉吉, 金秉福. 环渤海地区淡水资源与沿海经济. *国土与自然资源研究*, 1999 (3): 29—30, 34. Zhang Y J, Jin B F. The fresh water resources around the BohaiSea area and the coastal areas'economy (In Chinese). *Territory & Natural Resources Study*, 1999 (3): 29—30, 34
- [17] 赵玉洁, 宋国辉, 徐明娥, 等. 天津滨海区 50 年局地气候变化特征. *气象科技*, 2004, 32 (2): 86—89, 96. Zhao Y J, Song G H, Xu M E, et al. Analysis of local climate changes in Tianjincoastal area in last 50 years (In Chinese). *Meteorological Science and Technology*, 2004, 32 (2): 86—89, 96
- [18] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. *Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese)*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [19] 张金池, 李海东, 林杰, 等. 基于小流域尺度的土壤可蚀性 K 值空间变异. *生态学报*, 2008, 28 (5): 2199—2206. Zhang J C, Li H D, Lin J, et al. Spatial variability of soil erodibility (K-Factor) at a catchment scale in China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (5): 2199—2206
- [20] Webster R, Margaret A Oliver. *Geostatistics for environmental scientists*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2007
- [21] Cambardella C, Moorman T, Novak J. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58 (5): 1501—1511

SPATIAL VARIABILITY AND DISTRIBUTION PATTERN OF SOIL NUTRIENTS IN BOHAI COASTAL AREA

Lü Zhenzhen Liu Guangming Yang Jingsong[†] Zhang Mimi

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract To study spatial variability and distribution of soil nutrients on a large scale is an important prerequisite for regional balanced fertilization and precision agriculture, but rather time-consuming, labor-consuming and costly because it involves large volumes of soil samples that have to be collected from the fields and analyzed in lab for contents of soil nutrients. The geostatistical and GIS interpolation techniques available can help effectively solve this problem. Based on the 432 soil sampling sites in the Bohai coastal area, spatial variability and distribution patterns of soil nutrients in 0 ~ 30 cm and 30 ~ 60 cm soil layers of the region were explored. Soil nutrients, such as alkalytic nitrogen, available phosphorus, readily available potassium, organic matter and total nitrogen, in the samples were measured for conventional statistical and geostatistical analyses and mapping using the kriging spatial interpolation method. Results show that the variations of the same one nutrient element in the 0 ~ 30 cm and 30 ~ 60 cm soil layers were the similar in degree, and all the

elements varied moderately except potassium, which did quite vigorously. The nutrients were higher in the 0 ~ 30 cm soil layer than in the 30 ~ 60 cm one in mean content. All the nutrient indicators in the two soil layers show good spatial structure. The soil in the studied area is relatively rich in available P and readily available K, but rather poor in alkalytic N, organic matter and TN. Generally speaking, the soil is rather infertile and the 30 ~ 60 cm soil layer is more than the 0 ~ 30 cm soil layer.

Key words Soil nutrients; Geostatistical analysis; Kriging interpolation; Spatial variability; Bohai coastal area

(责任编辑:陈德明)