

基于 GIS 与地统计学土壤养分空间变异特征研究

——以辽宁省凌源市 6 个乡镇为例

贾树海¹, 张琦¹, 孟维军¹, 白静¹, 王会², 王慧强³

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省凌源市土肥站,
辽宁 凌源 122500; 3. 铁岭市国土资源调查规划局, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 以辽宁省凌源市西南部 6 个乡镇为研究对象, 利用 GPS 定位采集了 1 042 个土壤表层样。采用传统统计学和地统计学相结合的方法, 研究了土壤养分的空间变异特征。结果表明, 土壤养分的变异系数为 29.45%~67.25%, 变异强度是有效磷> 碱解氮> 有机质> 速效钾。有机质、碱解氮和速效钾的 $C_0/(C_0+C)$ 比值均在 49.7%~49.90% 之间, 都具有中等的相关性, 而有效磷的 $C_0/(C_0+C)$ 的比值为 100%, 空间的相关性较弱。分维数 D 大小顺序为: 有效磷> 碱解氮> 速效钾> 有机质。Kriging 插值分析表明, 研究区土壤养分的空间分布格局主要受土地利用类型影响较大。

关键词: GIS; 土壤养分; 空间变异; 凌源市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0197-05

中图分类号: S153.6

Spatial Variability of Soil Nutrients Based on GIS and Geostatistics

—A Case Study of 6 Townships in Lingyuan City, Liaoning Province

JIA Shu-hai¹, ZHANG Qi¹, MENG Wei-jun¹, BAI Jing¹, WANG Hui², WANG Hui-qiang

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;

2. Lingyuan Soil and Fertilizer Station, Lingyuan, Liaoning 122500, China;

3. Tieling Bureau of Land Resource Survey and Planning, Tieling, Liaoning 112000, China)

Abstract: This paper introduces a case study of 6 townships in Lingyuan City, Liaoning Province. 1 042 surface soil samples were collected with the aid of GPS positioning. Traditional statistics combined with geostatistics was applied to analyze the spatial variation of soil nutrients. Results showed that the variation coefficients of four kinds of soil nutrients ranged from 29.45% to 67.25%. Soil nutrients, in terms of the spatial heterogeneity, was in the descendant order of AP, AN, OM, and AK. AN, AK, and OM had moderate spatial dependence. However, the $C_0/(C_0+C)$ for AP was 100%, so the relevance of space was weak. Soil nutrients, in terms of the fractal dimension, was in the descendant order of AP, AN, AK, and OM. Analysis by Kriging method indicated that spatial pattern of soil nutrients in the study area was mainly affected by land use type.

Keywords: GIS; soil nutrient; spatial variation; Lingyuan City

土壤并非一个匀质体, 成土过程中由于不同的物理、化学、生物等因素的影响, 使得土壤性质具有高度的空间异质性^[1]。自 20 世纪 70 年代以来, 人们越来越认识到揭示土壤的空间变异特征, 对土地资源利用, 农业技术推广以及生态环境保护等都具有特殊重要的意义^[2]。目前基于 GIS 和地统计学来研究土壤养分的空间变化多集中在农业土地和平原地区^[3], 并取得了一定的成果。梁中龙等以广州郊区岑村为例, 采用 GIS 和地统计学法研究城郊耕层土壤(0—20

cm) 土壤养分分布规律, 结果表明, 土壤养分受母质、地形、土壤类型等自然的结构性因素影响较大^[4]。路朋等运用 GIS 和地统计学相结合的方法, 分析了红壤丘陵区农田土壤养分的空间变异规律, 采用半方差和分维数及各异向性比等指标, 深入揭示该区土壤的空间结构^[5]。基于 GIS 和地统计学等方法正逐渐应用于我国土壤养分研究, 但是在辽宁省的研究报道较少。本研究以辽宁省凌源市西南部 6 个乡镇为研究对象, 探讨凌源市西南部 6 个乡镇土壤养分空间上的变化

情况并进行了规律性的分析,找出了影响土壤养分变化的因素及其驱动因子,以便为凌源市土地资源利用,农业技术推广以及生态环境保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区基本概况

研究区位于辽宁省朝阳市的西部,大凌河上游,是辽宁、河北、内蒙古 3 省区的交界处,地处东经 $118^{\circ}50' - 119^{\circ}38'$,北纬 $40^{\circ}36' - 41^{\circ}26'$ 之间。地势中部隆起,西南、北部向东南倾斜。年平均气温 8.0°C 。雨热同季,年平均降水量 550 mm ,无霜期 150 d 左右。土壤类型主要为棕壤、褐土、草甸土,种植方式主要为旱田,主要种植类型有果树、玉米、蔬菜等。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤采集与分析 研究区总面积为 $93\ 200\text{ hm}^2$,采样时间为 2007 年 10 月,采用网格法布置样点,样点控制面积为 18.02 hm^2 ,共采集土壤耕层混合样为 1 042 个,网格内中心点取样,取样深度为 $0 - 20\text{ cm}$ 。

对土壤样品在室内进行分析,结果发现有机质、碱解氮、有效磷和速效钾分析方法为有机质用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ——外加热法(油浴),碱解氮用半微量开氏

法,有效磷用 $0.05\text{ mol/L NaHCO}_3$ 浸提,钼锑抗比色法,速效钾用 $1\text{ mol/L NH}_4\text{OAc}$ 浸提——火焰光度。

1.2.2 数据处理 土壤养分性质的平均值、方差、标准偏差(S_D)及变异系数等描述性统计分析采用 SPSS 软件。半方差分析利用地统计学软件 GS^+ 5.0,根据每种土壤项目指标的半方差函数模型,得出半方差参数。根据模型参数,在 ARCGIS 9.2 中进行 Kriging 插值生成土壤养分空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤养分含量描述性统计

从表 1 可以看出,有机质的变化范围是 $0.97 - 25.12\text{ g/kg}$,碱解氮、有效磷、速效钾含量的变化范围分别为 $4 - 224$, $1 - 56$, $22 - 330\text{ mg/kg}$ 。在均值方面,速效钾 > 碱解氮 > 有效磷 > 有机质。表明该区土壤有机质含量比较缺乏,原因可能与当地长期施用化肥,很少施有机肥有关。这 4 项指标的变异系数分别为: 33.98% , 67.25% , 29.45% , 30.20% ,土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾都属于中等变异强度,变异系数在 $29.45\% - 67.25\%$ 之间,其中有效磷变异强度较大,变异系数为 67.25% ,与磷在土壤中的迁移性低有关。

表 1 土壤养分的基本统计特征

分析项目	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数/%	偏度	峰度	变异类型
有机质	12.499	3.775	0.97	25.12	30.20	0.229	0.662	N
碱解氮	93.206	31.668	4.00	224.00	33.98	0.705	1.555	N
有效磷	15.733	10.580	1.00	56.50	67.25	1.363	1.908	LN
速效钾	143.835	42.365	22.00	330.00	29.45	0.684	1.810	N

2.2 土壤养分的趋势分析

从图 1 可以看出,土壤有机质含量东西向呈东西高,中部低的趋势,南北向呈南北低,中部高,且北部略低于南部的趋势。碱解氮含量东西向呈东西高,中部低的趋势,南北向呈南北低,中部高的趋势。有效磷含量东西向呈东西低,中部高的趋势,南北向呈南北低北高的趋势。速效钾含量东西向呈东西高,中部低,且东部略高于西部的趋势,南北向呈南北低、中部高,且北部略高于南部的趋势。

2.3 土壤养分的空间变异结构

土壤异质性是结构性因素和随机性因素共同作用的结果,结构性因素包括气候、母质、地形、土壤类型等,而随机性因素如施肥、耕作措施、种植制度等各种人为活动使土壤养分的空间相关性减弱。 C_0 为块金系数, $C_0 + C$ 是基台值, C 为结构方差。如果 $C_0/$

($C_0 + C$) 小于 25% ,说明具有强烈的空间自相关性;如果比值在 $25\% - 75\%$ 之间,表明具有中等的空间自相关性;如果比值大于 75% ,表明空间的自相关性较弱^[6]。从表 2 中可以看出,有机质、碱解氮、速效钾含量的 $C_0/(C_0 + C)$ 比值均在 $49.7\% - 49.90\%$ 之间,具有中等的自相关性,它们受结构性因素和随机性因素共同的作用,比如研究区的地形和当地的耕作方式。有效磷的 $C_0/(C_0 + C)$ 的比值 100% ,空间的自相关性较弱,说明空间变异主要是随机性因素引起的,如长期施用大量的磷肥等。另外,土壤碱解氮和有效磷的决定系数较小,模型的拟合度较低,进一步说明土壤碱解氮和有效磷空间变化的连续性和空间自相关程度较低,空间变异程度较大。本文采用平均误差(mean error)、平均标准偏差(mean standardized error)和标准化均方根误差(root-mean-square

standardized error) 3 个指标作为判断标准, 即 RMSSE 接近于 1, 且 ME 和 MSE 接近于 0 的为最优

拟合模型。因此有效磷模型拟合最差, 有机质和速效钾相对较高, 碱解氮一般。

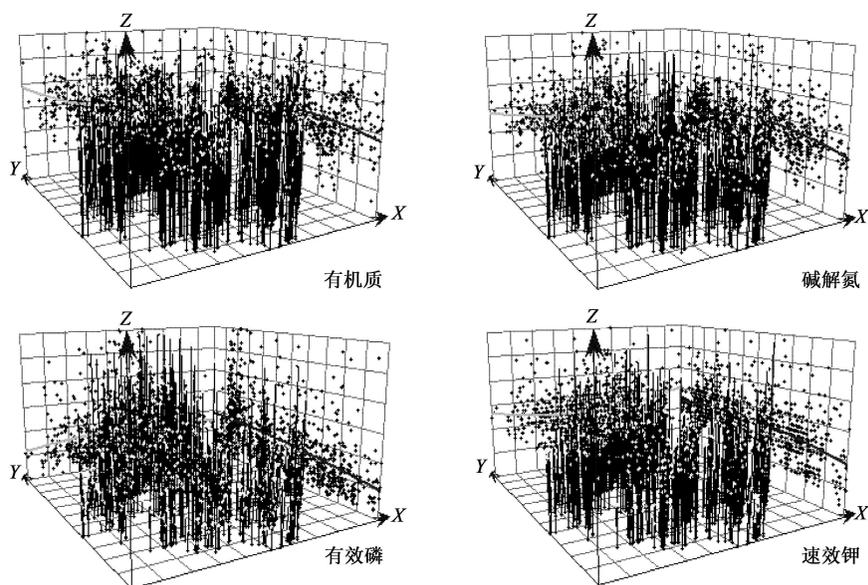


图 1 土壤养分趋势分析

表 2 土壤养分半方差函数特征值

项目	块金方差 C_0	偏基台值 C	基台值 $C_0 + C$	$C / (C_0 + C)$	变程/m	R^2	模型	ME	MSE	RMSSE
有机质	11.45	11.46	22.91	49.70%	635.00	0.660	幂函数	0.007	0.003	1.001
碱解氮	910.00	911.00	1821.00	49.80%	1999.00	0.022	幂函数	0.058	0.003	1.035
有效磷	110.89	0.00	110.89	100.00%	296.60	0.001	线性函数	0.610	0.025	0.730
速效钾	1499.00	1500.00	2999.00	49.90%	839.00	0.389	幂函数	0.045	0.004	1.134

2.4 土壤养分的分维数分析

分维数 D 值的大小是描述事物复杂程度的一种量度^[7]。从表 3 可以看出, 这 4 项指标的分维数 D 依次为有效磷 > 碱解氮 > 速效钾 > 有机质, 分维数最高的是有效磷, 达到了 1.998, 说明随机因素引起的空间异质性大, 分布复杂。有机质 D 值较低, 为 1.932, 说明随机因素引起的空间异质性小, 分布简单。同时, 有机质和速效钾的决定系数 R^2 分别达到了 0.837 和 0.658, 拟合程度较高, 而碱解氮和有效磷的决定系数 R^2 只有 0.198 和 0.00, 拟合程度相对较差。

2.5 土壤养分含量的空间格局

2.5.1 土壤养分空间分布 从图 2 可以看出, 土壤各项指标含量分布情况。有机质从北部到南部呈条带状分布, 三十家子—三道河子乡处于低值区。碱解氮分布趋势基本是从北到南逐渐增高, 其中大部分地区含量较高。有效磷和速效钾呈团块状分布, 有效磷东北部和中部含量较高, 速效钾中东部地区呈条带状分布。

表 3 土壤养分分维数分析

项目	D	R^2
有机质	1.932	0.837
碱解氮	1.968	0.198
有效磷	1.998	0.000
速效钾	1.935	0.658

2.5.2 养分等级图与土地利用类型叠加 从表 4 可以看出, 有机质含量在 5~10 g/kg 之间, 旱地耕地比例最大, 达到了 29.35%, 可能与低值区农户很少施农家肥有关。碱解氮在 90~120 mg/kg 之间, 旱地和果园面积占整个耕地的比例分别为 45.79% 和 14.31%, 由于该区旱地、果园施大量氮肥所致。速效钾含量低于 50 mg/kg, 旱地和果园耕地所占比例分别为 0.34% 和 0.16%, 说明低值区主要受气候、母质等自然因素所影响。有效磷东北部和中部含量较高, 高于 30 mg/kg, 北部含量较低, 低于 20 mg/kg, 一方面可能与施磷肥有关, 另一方面和该区的地形有很大关系。

表 4 养分等级图与土地利用类型叠加分析

项目	等级	旱地		果园		水浇地		菜地		灌溉水田	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
有机质	> 20	811.00	4.32	460.86	2.45	155.97	0.83	7.75	0.04	1.90	0.01
	15~ 20	3 906.29	20.81	1 411.19	7.52	401.21	2.14	18.33	0.10	—	—
	10~ 15	1 861.71	9.92	678.19	3.61	275.25	1.47	30.13	0.16	—	—
	5~ 10	5 510.83	29.35	1 332.86	7.10	976.97	5.20	157.68	0.84	23.04	0.12
	< 5	536.51	2.86	87.81	0.47	87.23	0.46	41.70	0.22	—	—
碱解氮	> 150	43.44	0.23	13.66	0.07	—	—	—	—	—	—
	120~ 150	1 088.55	5.80	808.89	4.31	688.35	3.67	4.24	0.02	16.64	0.09
	90~ 120	8 596.15	45.79	2 686.68	14.31	919.63	4.90	132.30	0.70	8.30	0.04
	60~ 90	2 322.43	12.37	434.28	2.31	282.38	1.50	84.89	0.45	—	—
	30~ 60	575.77	3.07	27.27	0.15	6.27	0.03	34.17	0.18	—	—
速效钾	200~ 250	2 330.23	12.41	717.00	3.82	96.59	0.51	23.17	0.12	—	—
	150~ 200	7 361.92	39.21	2 168.28	11.55	1 028.99	5.48	162.13	0.86	23.55	0.13
	100~ 150	2 221.40	11.83	664.95	3.54	513.68	2.74	70.30	0.37	1.29	0.02
	50~ 100	648.09	3.45	390.16	2.08	226.15	1.20	—	—	—	—
	< 50	64.69	0.34	30.39	0.16	31.23	0.17	—	—	—	—

注: ①比例表示在一个项目指标中, 某一土地类型面积占整个耕地面积的百分比; ②等级一栏中, 有机质的单位为 g/kg, 碱解氮和速效钾的单位为 mg/kg。

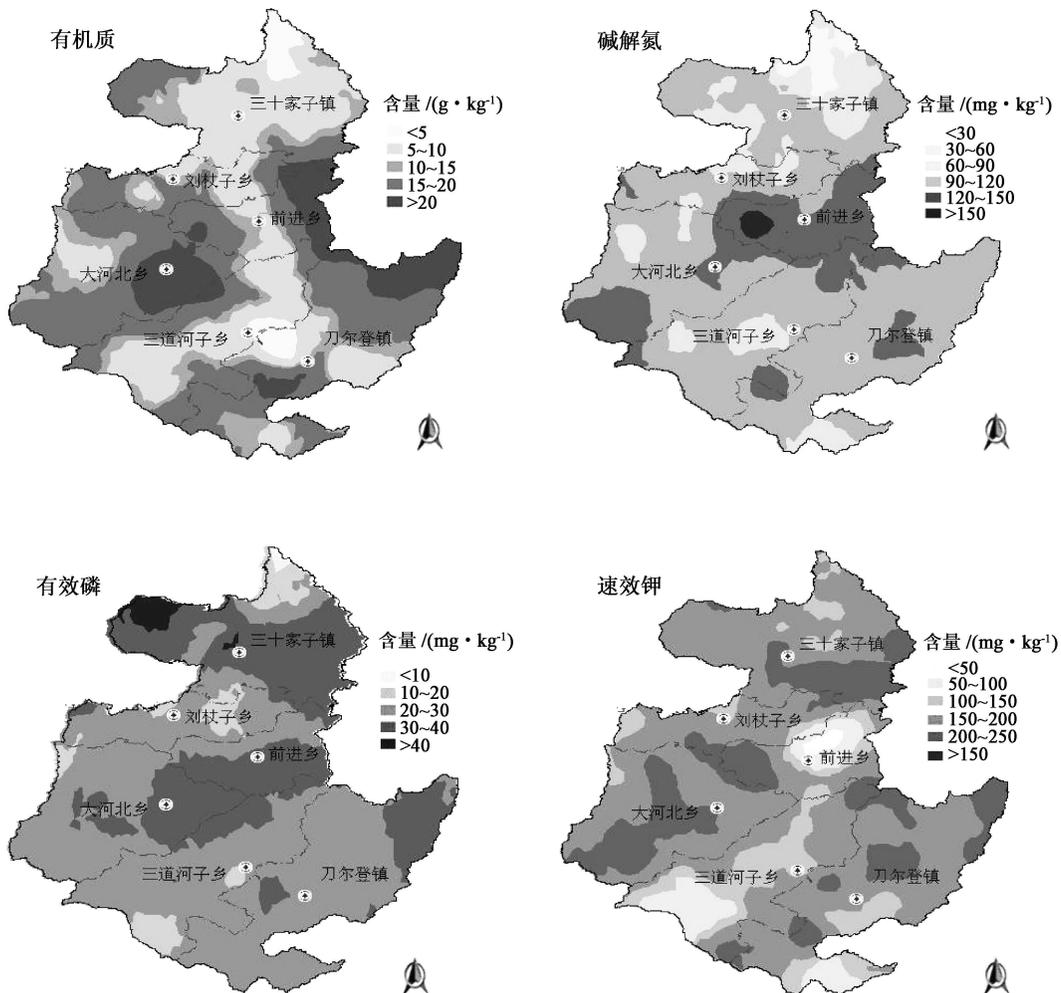


图 2 土壤的养分空间分布图

2.5.3 有效磷等级图与坡度叠加 由于山区和丘陵地区土壤中的磷在淋溶的作用下会在平原和低洼地区富集,造成这些地区土壤中磷含量相对高于山区和丘陵地区,因此,可以通过有效磷的富集来判断。从表5可以看出,有效磷等级较低的,对应的坡度较高,等级较高的,对应的坡度较低。采用Kriging插值分析的基础上,得出高值区主要集中在凌源市6个乡镇的东北部和中部,低值区分布在北部。

表5 有效磷与坡度图叠加分析

等级/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	坡度/($^{\circ}$)	比例/%
> 40	< 2 和 2~ 5	68.7
30~ 40	2~ 5 和 5~ 8	59.6
20~ 30	8~ 15	70.1
10~ 20	15~ 25	67.8
< 10	> 25	65.3

注:比例表示在在一个项目等级中,某个或几个坡度范围的坡度数量占整个坡度的百分比。

3 结论

本研究以辽宁省凌源市6个乡镇为研究对象,采用了趋势分析、半方差分析、分维数法、克里格插值法进行了土壤养分空间分析,得出以下结论。

(1) 土壤养分含量描述性统计表明有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的变异系数在29.45%~67.25%,变异强度为有效磷>碱解氮>有机质>速效钾。

(2) 半方差分析表明,总体上4项指标的 $C_0/(C_0+C)$ 均大于25%,故随机性因素对凌源市六乡镇土壤养分的空间变异起主导作用,有机质、碱解氮、

速效钾的比值均在49.70%~49.90%之间,具有中等的自相关性。而有效磷的自相关性较弱。分维数 D 的顺序为有效磷>碱解氮>速效钾>有机质,表明分维数高,随机性较强,分布复杂。与 $C_0/(C_0+C)$ 反映的结果基本一致。

(3) Kriging插值直观分析土壤空间分布情况表明,有机质、碱解氮、速效钾的空间分布格局主要受土地利用类型因素即人为活动所影响。坡度是有效磷的主要限制因子,在耕作方式和磷的淋溶作用下,造成这些地区土壤中磷含量相对高于山区和丘陵地区。

[参考文献]

- [1] 谭万能,李志安,邹碧,等.地统计学方法在土壤学中的应用[J].热带地理,2005,24(4):307-311.
- [2] 赵彦锋,史学正,于东升,等.小尺度土壤养分空间变异及其影响因素探讨:以江苏省无锡市典型城乡交错区为例[J].土壤通报,2006,37(2):214-219.
- [3] 马玉峰,王文明,贾宝全.半干旱农牧交错区土壤养分空间变异特征分析:以内蒙古伊金霍洛旗为例[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):123-130.
- [4] 梁中龙,袁中友,林兴通,等.城郊耕层土壤养分空间变异特征[J].土壤通报,2006,37(3):417-421.
- [5] 路朋,苏以荣,牛铮,等.红壤丘陵区村级农田土壤养分空间变异与制图[J].浙江大学学报,2007,33(1):89-95.
- [6] 朱益玲,刘洪斌,谢德体,等.江津紫色土壤养分空间变异性研究:地统计学方法[J].西南农业大学学报,2002,24(3):207-210.
- [7] 沈步明.地学中的分维数[J].地球科学进展,1992,7(2):68-70.