

薄层农田黑土全量碳及氮磷钾含量的空间异质性

张兴义, 隋跃宇, 张少良, 于同艳, 程伟

(中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘要: 利用地统计学对黑龙江省双城市薄层农田黑土的全碳、全氮、全磷、全钾的空间异质性进行了分析。结果表明, 4 种养分含量分布均具有较大的空间异质性。土壤全碳含量的空间分布主要受黑土层厚度的影响, 与全磷含量的空间分布吻合度高; 土壤全钾的空间异质性最差, 只是中部沿西南方向区域略低外, 其余变化较小。土壤全碳与全氮、全磷, 全氮与全磷都存在极显著正相关, 而土壤全钾与全碳、全氮、全磷为负相关, 但不显著。全量碳、氮、钾主要受结构性因子的影响, 分别占 86.8%, 85.4%, 81.8%, 全磷受结构性因子和随机因子的影响各占 1/2。

关键词: 薄层黑土; 氮磷钾含量; 空间异质性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0001-05

中图分类号: S153.6

Spatial Heterogeneities of Total Carbon, Nitrogen, Phosphorus and Potassium Content in Black Thin-layer Soil

ZHANG Xing-yi, SUI Yue-yu, ZHANG Shao-liang, YU Tong-yan, CHEN G Wei

(Northeast Institute of Geography and Agroecology,

Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China)

Abstract: Spatial heterogeneities of total carbon (C), total nitrogen (N), total phosphorus (P), and total potassium (K) contents in black thin-layer soil in Shuangcheng City, Heilongjiang Province were analyzed by geostatistical method. Results showed that all of them had the significant spatial heterogeneity. The spatial distribution of total C was affected by the depth of dark soil and it had high spatial similarity with total P. Total K had the least spatial heterogeneity and its variability is little in entire area except in the central and southwest areas. Total C was correlated positively with total N and total P, and total N, negatively with total P. However, total K was correlated negatively with total C, total N, and total P. Total C, total N, and total K were greatly affected by soil structure factors and their effects accounted to 86.8%, 85.4%, and 81.8%, respectively. Total P was affected equally by structure and random factors.

Keywords: black thin-layer soil; nitrogen, phosphorus and potassium content; spatial heterogeneity

地统计学已经被证明是分析土壤性状空间分布和空间异质性的最有效方法之一^[1-2]。利用地统计学与 GIS 相结合的方法分析土壤养分的空间异质性, 如空间结构和空间变异尺度, 弥补了以概率论为基础的统计方法在结构和过程分析方面的不足, 能够有效地解释养分的空间分布格局对生态过程和功能的影响^[3]。近年来, 这种方法越来越多地应用到土壤养分尤其是 N, P, K, C 等大量元素的空间异质性特征的研究中^[4-7]。然而这些研究多集中在小块田地尺度上^[8-9], 在县级以上尺度对农田土壤养

分的空间异质性研究较少^[4]。

中国东北黑土是我国土壤肥力较高的土壤之一, 然而开垦以来, 由于不合理利用, 土壤退化严重^[10-11]。薄层黑土主要分布在黑土带的中南部地区, 是退化最严重的黑土。

因此, 对东北黑土主要养分性状现状进行分析, 对评估黑土质量演变过程及其生产力具有重要意义。本文通过对黑龙江省双城市薄层黑土的有机碳以及全量氮磷钾含量取样测定, 利用地统计学和 GIS 相结合的方法, 揭示薄层农田黑土养分的空间异质性,

收稿日期: 2007-06-06

修回日期: 2007-11-24

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD05B05); 黑龙江省重大攻关项目(CB06B107-2)

作者简介: 张兴义(1966-), 男(汉族), 黑龙江省密山市人, 博士, 研究员, 主要从事黑土农业生态方面研究。E-mail: xyzhang1966@yahoo.com.cn。

绘制出土壤全量氮磷钾的空间分布图,旨在为薄层农田黑土的科学管理及保护提供理论参考。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域

研究区域为黑龙江省双城市,辖 9 镇 15 乡。地处松嫩平原的东南部,黑龙江省南部,位于北纬 45° 08′—45° 43′,东经 125° 41′—126° 42′,东西长 57.8 km,南北长 49.9 km。地势东部、中部略高,向北、南、西倾斜。东部和中部海拔 170~200 m,两侧平原海拔 150~170 m。年平均气温 3.8℃,1 月平均气温 -18.4℃,7 月平均气温 23.2℃,年平均降水量 445.0 mm,无霜期 142 d。主产玉米,是黑龙江省重要的商品粮基地县之一。松花江流经市境北部 54 km,西部和南部为拉林河,境内流长 113 km。东北有运粮河,境内流长 30 km。有耕地面积 2.25×10^5 hm²。主要农田土壤为薄层黑土。

1.2 研究方法

利用 GPS 定位,参照黑龙江省黑土分布图,在全市黑土农田不规则取样,共采集耕层(0—20 cm)土样 74 个。参照鲁如坤主编的《土壤农业化学分析方法》测定样品的碳、氮、磷、钾的全量含量^[12]。将风干样过 2 mm 筛,用意大利产 FlashEA1112 型元素分析仪测定土壤全量碳氮含量,全磷采用酸液—钼锑抗比色法测定,全钾采用氢氧化钠熔融法,原子分光光度计测定。样品的描述性分析采用 SPSS 10.0 软件包,用美国 GAMMA DESIGN SOFTWARE 公司的地统计学软件 GS+ 5.3b 进行地统计学分析。具体步骤如下:(1) 利用 Arcview GIS 3.2 将样点的经纬度转换为 UTM 地理距离,以东经 126°00′78.6″ 北纬 45°10′78.6″ 为零点距离坐标;(2) 利用 SPSS10.0 的 K-S 检验,对土壤性状进行正态分布检验,不满足正态分布的进行对数转换,至满足正态分布为止;(3) 利用 GS+ 5.3b 进行半方差函数分析和 Kriging 插值绘图;(4) 在 ArcMap 中将土壤性状插值图与行政区域图叠加。

2 结果与讨论

2.1 经典统计学分析

2.1.1 变异性分析 样本的平均数和中数是样本数据的代表值,表示资料观测值的中心位置。标准差、变异系数、最大值、最小值表示数据的异质性程度。中数和平均数有一定的差异,中数略大于平均数,说明了特异值对样本的数值有一定的影响。全钾的变

异系数小于 0.1,为弱变异。全碳、全氮、全磷为中等强度变异。样本的倾斜度和峭度检验表明,全碳、全氮、全磷、全钾基本符合正态分布(见表 1)。

表 1 薄层黑土全量碳氮磷钾的描述性统计 g/kg

项目	全碳	全氮	全磷	全钾
样本数	72	72	74	74
最大值	42.10	3.30	0.41	23.47
最小值	8.20	1.40	0.15	15.70
中值	15.20	1.80	0.24	20.37
平均值	16.70	1.90	0.24	20.27
标准偏差	0.58	0.03	0.05	1.32
变异系数	0.35	0.15	0.19	0.07
倾斜度	0.54	0.016	0.77	0.15
峭度	0.53	-0.59	0.91	-0.27

2.1.2 相关性分析 绝大多数研究表明土壤碳与土壤全量氮有显著的相关性^[13-14]。在双城的双层黑土,土壤全碳与全氮、全磷,全氮与全磷间存在极显著正相关,而土壤全钾与全碳、全氮、全磷为负相关,但不显著(表 2)。因此,土壤碳的含量可作为衡量薄层黑土肥力的指标。

表 2 薄层黑土全碳、氮磷钾相关分析

项目	全碳	全氮	全磷	全钾
全碳	1	—	—	—
全氮	0.754 **	1	—	—
全磷	0.794 **	0.559 **	1	—
全钾	-0.117	-0.0747	-0.041	1

2.2 地统计学分析

2.2.1 全量碳、氮、磷、钾的空间变异函数特征 在土壤特征性空间变异性的经典统计分析中,是将土壤特性看作随机的、彼此相互独立的。然而实际中,在一定的空间范围内,土壤性状存在一定的空间依赖性。地统计学方法被成功地引入土壤空间性状分析,并在近 20 a 来被国内外土壤研究者广泛采用^[2,15]。

图 1 给出了土壤全碳、全氮、全磷、全钾的半方差函数。全量碳、氮、钾的半方差函数符合指数模型,全磷的半方差函数符合高斯模型,其相应的参数详见表 3。全量碳、氮、钾的块金值与基台值的比值均小于 25%,表明变量有强烈的空间相关性;全量磷的块金值与基台值的比值为 49.9%,在 25%~75%之间,具有中等的空间相关性。变程(range)反映土壤性状的有效空间相关距离,全碳和全磷的最大空间相关距离分别为 7.6 和 17.7 km,全氮和全钾的最大空间相关距离仅分别为 7.4 和 5.9 km。因此,在双城对黑

土全量养分的空间取样调查的距离不应大于 5.9 km。本研究 5 km 间隔取样完全可以满足精确绘制这 4 种土壤养分空间分布图,低于 5 km 将增加工作量和资金消耗,大于 6 km 间隔取样将降低空间异质性分析的准确性,最佳的采样间隔为 5~6 km。

土壤性状的空间异质性是由结构性因子和随机因子共同作用的结果。结构性因子是指土壤形成过程中的成土母质、地形、地下水位及形成的土壤类型等;随机因子是指土壤管理过程的施肥,种植的作物,

耕作栽培措施等。通常,结构性因子促使土壤养分含量具有较强的空间相关性,而随机性因子使土该空间相关性减弱。

全量碳、氮、钾具有强烈的空间相关性,说明主要受结构性因子的影响,分别占 86.8%,86.3%,82.0%;全磷具中等强度空间变异,受结构性因子和随机因子的影响各占 1/2。这主要是由于近 20 a 来磷肥的大量施入,每年都有一定量的磷素被固定,致使其空间变异性降低。

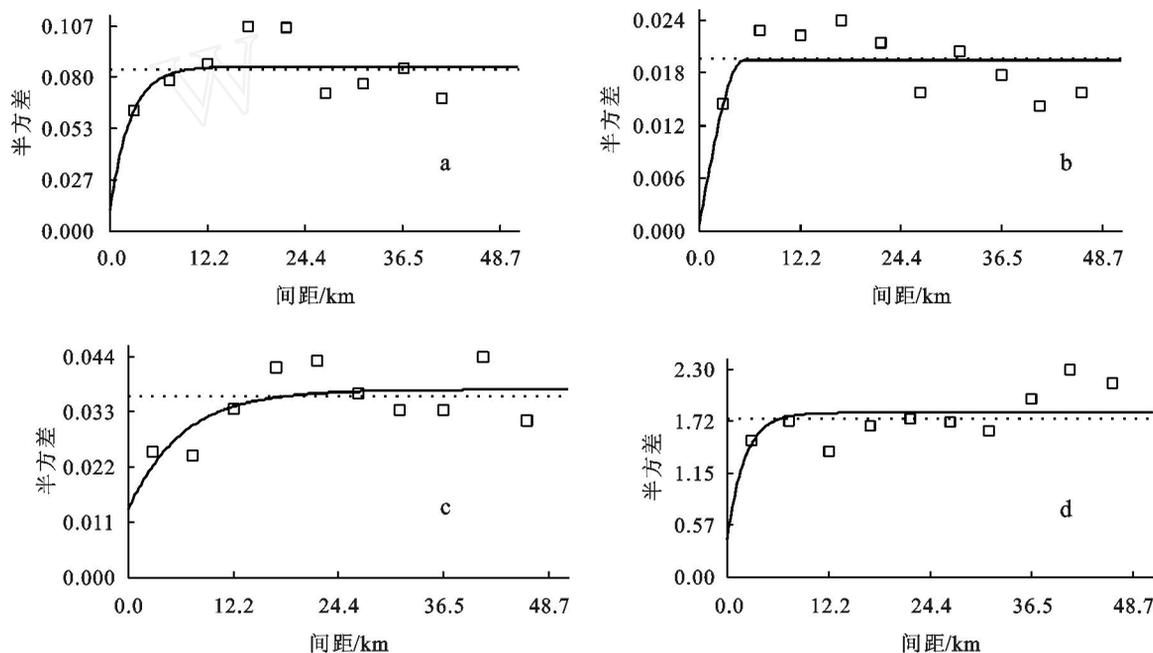


图 1 土壤全碳 (a),全氮 (b),全磷 (c),全钾 (d) 半方差函数

表 3 半方差函数理论模型及相应参数

项目	最佳模型	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	$C_0 / (C_0 + C)$	变程 a' km	决定系数 r^2
全碳	指数模型	0.011 3	0.085 6	0.132	7.6	0.247
全氮	指数模型	0.002 2	0.015 1	0.146	7.4	0.575
全磷	高斯模型	0.019 5	0.039 1	0.499	17.7	0.633
全钾	指数模型	0.000 7	0.003 7	0.189	5.9	0.326

2.2.2 全量碳、氮、磷、钾的空间分布 Kriging 法是利用区域化变量的原始数据半方差函数获得该性状的最佳理论模型,进而利用模型对未取样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。利用此法成图的主要优点是能够得到内插计算中产生的独立误差估值,且由已知点内插估算是依赖于点间变量的空间相关性,而不是简单的根据数学原理线性内插确定,因此具有较好的关联属性和精确性。

土壤全碳含量以中部的双城镇及东南部的单城

镇最高,高于 24 g/kg。其主要原因为该区的黑土层厚度大于其它地区,有部分中层黑土分布。以西南部的兰棱镇和西北部的农丰镇最低,低于 14 g/kg,分析其可能原因有二。一是均为薄层黑土,二是多年连续种植玉米。西部和北部土壤全碳的异质性较低,含量多在 14~2.0 g/kg 之间。土壤全氮含量的空间分布特征为双城镇周围最高,大于 2.0 g/kg,西南和北部较高,东部最低,小于 1.6 g/kg,与全碳的空间分布不完全吻合。双城镇周围土壤全氮含量高的可能

原因为保护地较多,化肥施用量较高。土壤全磷含量的空间分布特征为以中部和东南方向区域最高,大于 0.29 g/kg,西南兰棱镇、西部的永泉乡和东北的幸福乡最低,小于 0.21 g/kg,与土壤全碳的空间分布吻合度高,主要受土壤有机质和施肥的影响。土壤全钾的空间异质性最差,只是中部沿西南方向区域略低外,其余变化较小,整体变化范围为 18.8 ~ 23.1

g/kg。这主要是因为土壤钾相对较稳定,作物吸收较少,受结构性因子影响较大所致(图 2)。在双城市中部全碳、全氮、全磷的含量均较高,全钾含量反而较低,与前者成不显著副相关,分析认为,这是由于该区域地力较高,近 20 a 来注重施用氮磷肥,很少或不施钾肥,产出较其它区域高,造成钾素过量消耗得不到及时补充所致。

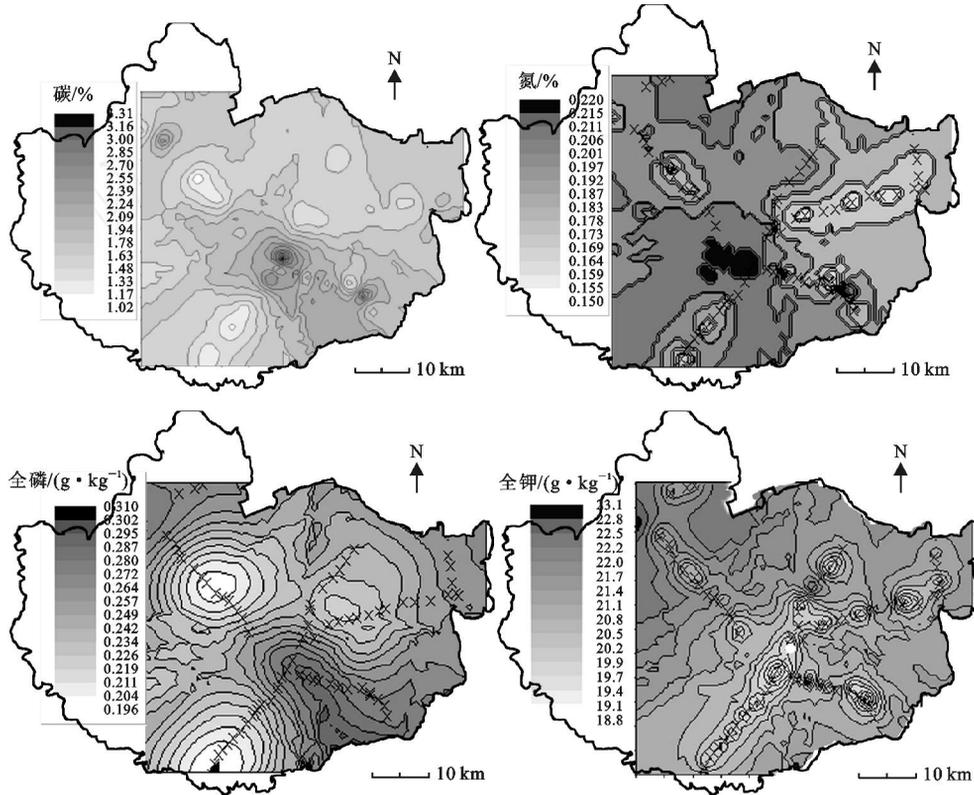


图 2 全量碳、氮、磷、钾的空间分布(x为取样点)

2.2.3 插值结果的半方差检验 地统计学是把参数半方差的估算看作对整体区域土壤参数的一次随机抽样的实现,如同传统统计学一样,只能根据选取的部分个体对总体做出某种判断,自然这种判断很难做到完全精确和可靠,因此必须对所确定的半方差进行统计检验。地统计学提供了一个间接的结合和克里格的方法,称作交叉验证法(cross-validation)的检验方法为检验所选模型参数提供了一个途径。它的基本思路是依次假设每一个实测数据点未被测定,由所选定的半方差模型,根据 $n-1$ 个其它测定点数据用克里格法估算这个点的值,通过分析实测值和其对应的“估算值”的误差来验证插值结果的准确性。经地统计学插值交叉验证得出,除全钾外,其它三个性状的估算值与实测值均具有很好的拟合度,回归系数分别为 1.039, 0.976, 0.960, 全钾的回归系数只有 0.468,它们的标准差分别为 0.225, 0.226, 0.200,

0.256。在接受误差为 10%的情况下,标准差的最大值仅为 0.262,说明克里格估算值是可靠的,所绘制的养分空间分布图是精确的。

3 结论

(1) 双城薄层黑土的全碳、全氮、全磷、全钾都具有较大的空间异质性。土壤全碳含量的空间分布主要受黑土层深度的影响。土壤全氮的空间分布除主要受土壤全碳含量的影响外,还受作物种植和施肥等随机因子影响。土壤全钾的空间异质性最差,只是中部沿西南方向区域略低外,其余变化较小。全量碳、氮、钾的半方差函数符合指数模型,它们主要受结构性因子的影响,分别占 86.8%, 86.3%, 82.0%。全磷的半方差函数符合高斯模型,受结构性因子和随机因子的影响各占 1/2。

(2) 常规统计方法对实测值分析表明,除土壤全

钾含量外均具有中等强度的变异性,性状值分布符合正态分布。土壤全碳与全氮、全磷,全氮与全磷都存在极显著正相关,而土壤全钾与全碳、全氮、全磷为负相关,但不显著。

(3) 双城市土壤养分区域最佳采样间距 5~26 km,地统计学绘制的养分空间分布图空间异质性与实际吻合较好,准确性较高,因此,利用地统计学的方法可绘制县级区域较高质量的养分分布图。利用该图可指导平衡施肥和精准施肥,指导作物种植和区域规划等。以上结果对双城农田薄层黑土的科学管理和环境现状的评估都具有重要的参考作用。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 姜勇. 沈阳市郊耕地土壤交换性铁含量的空间异质性[J]. 水土保持学报,2003,17(1):119—121.
- [3] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异研究[J]. 应用生态学报,2000,11(4):557—563.
- [4] Chien Y J. Geostatistics analysis of soil properties of mid-west Taiwan soil[J]. Soil Sci., 1997,162:291—298.
- [5] Newman S, Reddy K R, DeBusk W F, et al. Spatial distribution of soil nutrients in a northern Everglades marsh: water conservation area[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997,61(4):1275—1283.
- [6] 张甘霖,龚子同. 国家土壤信息系统的结构、内容与应用[J]. 地理科学,2001(5):401—406.
- [7] 赵善伦,尹民,张伟. GIS支持下的山东省土壤风蚀特征分析[J]. 地理科学,2002(6):694—699.
- [8] 王学峰,张衡. 土壤有机质的空间变异性[J]. 土壤,1995(2):8—5.
- [9] 王军,傅伯杰,秋扬,等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征:半变异函数[J]. 地理学报,2000,55(4):428—438.
- [10] 孟凯,张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报,1998(3):100—102.
- [11] 王其存,齐晓宁,王洋,等. 黑土的水土流失及其治理保育[J]. 地理科学,2003(3):361—365.
- [12] 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,2000:150—152.
- [13] 翟金良,何岩,邓伟. 向海洪泛湿地土壤全氮、全磷和有机质含量及相关性分析[J]. 环境科学研究,2001,14(6):40—43.
- [14] 孙冬梅,陈学量. 黑龙江省土壤有机质与全氮、碱解氮的相关分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1995,8(2):57—60.
- [15] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: State-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89(1):1—45.