

# 北京市大兴区土壤养分空间结构及影响因素分析

董士伟<sup>1,2</sup>, 李红<sup>1</sup>, 孙丹峰<sup>2</sup>, 张微微<sup>1</sup>

(1. 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京 100097; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

**摘要:**为了揭示土壤养分的空间分布特征和指导土壤培肥管理,以北京市大兴区为例,首先基于地统计学和 GIS 技术对大兴区土壤养分进行空间克里格插值和模糊隶属度函数模型标准化处理;其次利用主成分分析方法获取了大兴区土壤养分的空间结构,即全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾所占空间比例分别为 0.32, 0.25, 0.23, 0.03, 0.17;最后对土壤养分空间结构的影响因素进行了系统分析。研究表明:大兴区土壤中氮含量最高,有机质含量较高,钾含量较低,磷含量极低,整体上大兴区土壤养分高值区主要分布在东北部,低值区主要分布在西南部和中部区域;主要与大兴区土壤类型、质地、农户土地利用方式和施肥结构等密切相关。

**关键词:**土壤养分;空间结构;主成分分析;GIS

**中图分类号:**S158

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)02-0032-04

## Analysis on Spatial Structure and Influence Factor of Soil Nutrients in Daxing District of Beijing

DONG Shiwei<sup>1,2</sup>, LI Hong<sup>1</sup>, SUN Danfeng<sup>2</sup>, ZHANG Weiwei<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Integrated Development, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100097, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to reveal the spatial distribution of soil nutrients and guide soil fertility management, Daxing District of Beijing was chosen as the case. Firstly, space Kriging interpolation and fuzzy membership function model standardization of soil nutrients were implemented based on geostatistics and GIS technology. Secondly, the spatial structure of soil nutrients in Daxing District was obtained by principal component analysis method, and the occupied space proportions of total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, organic matter, available phosphorus and available potassium were 0.32, 0.25, 0.23, 0.03, 0.17, respectively. The influence factors of spatial structure of soil nutrients were systematically analyzed. The results showed that the contents of nitrogen, organic matter, potassium and phosphorus in the soils of Daxing District were highest, high, low and lowest levels, respectively. Overall, high values of soil nutrients mainly distributed in the northeast and low values mainly located in the southwestern and central region of Daxing District, and it was primarily related to soil types and textures, land uses, and farmers fertilize structures in Daxing District.

**Keywords:** soil nutrients; spatial structure; principal component analysis; GIS

在长期的农业生产和人类活动中,土壤作为可再生的资源,在维护农业生态平衡中具有重要意义。从 20 世纪 70 年代开始,国内外学者应用地统计学对土壤养分开展了大量的研究,总结起来主要体现在两个方面:一是对土壤养分时空变异及其影响因素的研究,主要探讨土壤养分时空变异性与农户土地利用及管理措施<sup>[1-2]</sup>、作物类型<sup>[3]</sup>、施肥结构<sup>[4]</sup>、边坡<sup>[5]</sup>等因素的关系;二是对土壤肥力质量评价的研究,主要对

不同研究尺度<sup>[6]</sup>和研究类型<sup>[7]</sup>的土壤肥力进行综合质量评价;而目前对土壤养分空间结构的分析研究鲜有报道。GIS 技术可以有效的解决土壤变量的空间数据与属性数据关联的问题,与地统计学方法相耦合可以揭示土壤养分的空间结构。

城市郊区是城乡间的过渡地带,土壤养分的时空变异非常剧烈,郊区耕地数量虽然不多,但是由于其得天独厚的地理优势,对农业生产的作用和意义十分

收稿日期:2014-05-12

修回日期:2014-06-05

资助项目:北京市科技计划课题(D131100000613002)

第一作者:董士伟(1984—),男,山东泰安人,博士研究生,助理研究员,主要从事遥感与 GIS 在土壤资源中的应用研究。E-mail: dshiwei2006@163.com

通信作者:李红(1973—),女,山东海阳人,博士,研究员,主要从事农业资源利用与管理研究。E-mail: lihsdf@sina.com

重大<sup>[8]</sup>。大兴区是北京市重要的蔬菜水果生产基地,近年来由于城市化发展的加剧,导致农业集约化程度和土地利用强度不断提高,都会对土壤养分的空间结构产生影响。基于此,本文基于地统计学和 GIS 技术方法对大兴区土壤养分空间结构进行分析,探讨影响土壤养分空间结构变化的因素,以便用于指导土壤培肥管理,进行科学施肥,同时也为大兴区土壤资源的合理规划、有效利用与开发提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

大兴区是北京市南部郊区县,地处 116°13′—116°43′E,39°26′—39°51′N。地势自西向东南缓倾,属永定河冲积平原。该地区是暖温带半湿润大陆季风气候,年平均气温 11.6℃、降水量 556 mm。全区土壤分布与地貌类型一致,近河多砂壤土,向东沉积物质由粗变细,砂壤土、轻壤土呈与地形坡向一致的带状交错分布,区域土壤熟化程度较高。

1.2 数据来源与处理

土壤样品的采集与分析。土壤样点数据来源于 2007 年大兴区野外采样,主要在农田、园地和林地范围内均匀布设,采集过程中利用 GPS 进行野外定位,共采集 1 240 个样点,空间分布如图 1 所示。对采集的土壤样品进行分析测试,主要项目包括全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾 5 项基本土壤养分。全氮使用半微量凯氏定氮法测定,碱解氮使用碱解扩散法测定,有机质使用络酸钾氧化—外源热法测定,有效磷使用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾使用乙酸铵浸提—火焰光度法测定。

农户调查数据。实际抽样调查大兴区 6 个乡镇 14 个村 274 户农户有关的土地利用方式与类型、耕作与种植制度、施肥状况等情况。对野外农户调查表进行数据录入、整理、汇总分析等。

1.3 研究方法

采用克里格方法进行土壤养分空间插值,采用模糊隶属度函数模型进行土壤养分的标准化处理,采用

主成分分析方法确定其空间结构。主成分分析法的工作目标是要在力保数据信息丢失最小的原则下,对高维变量空间进行降维处理<sup>[9]</sup>。土壤养分空间结构的具体计算方法为:首先计算标准化因子数据的相关系数矩阵,导出相关系数矩阵的特征值和特征向量,以及特征值对应的方差贡献率;其次选取累计方差贡献率大于 85% 的前  $t$  个主成分综合原始数据信息,和对应的  $t$  个特征向量;最后标准化特征向量,计算各因子对总体的贡献率,再对因子贡献率进行标准化处理得到土壤养分的空间结构。



图 1 2007 年大兴区土壤采样点空间分布

2 结果与分析

2.1 土壤养分空间插值和标准化处理

基于 ArcGIS 9.3 对土壤养分全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾进行空间克里格插值。参考北京市土肥工作站 2006 年制定的《北京市土壤养分分等定级标准》对土壤养分进行分等定级,把空间插值结果分为 3 级如表 1 所示,优质、中等和较差等级分别对应《北京市土壤养分分等定级标准》中的极高—高、中—低、极低等级。

表 1 大兴区土壤养分分等定级标准

等级	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
优质	>1.00	>90	>20	>60	>125
中等	0.65~1.00	45~90	10~20	15~60	70~125
较差	<0.65	<45	<10	<15	<70

由于量纲和单位的差异,土壤中全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾因子缺乏可比性,可以基于模糊隶属度函数模型进行标准化处理。指标越高表明该因子含量越高,但到一定临界值后,因子的效用也趋于恒定,因此选定 S 型隶属度函数,隶属度值在 0.1

~1.0 之间,具体计算公式为:

$$F(x)=\begin{cases} 1.0 & x\geq U \\ 0.1+0.9\times\frac{x-L}{U-L} & L< x < U \\ 0.1 & x\leq L \end{cases} \quad (1)$$

式中： $F(x)$ ——隶属度； $x$ ——因子原始值； $U$ ——函数上界转折点，取值为表 1 中优质和中等等级的分界点； $L$ ——函数下界转折点，取值为表 1 中中等和较差

等级的分界点。  
经过空间克里格插值和模糊隶属度函数处理后大兴区土壤养分的空间分布如图 2(a—e)所示。

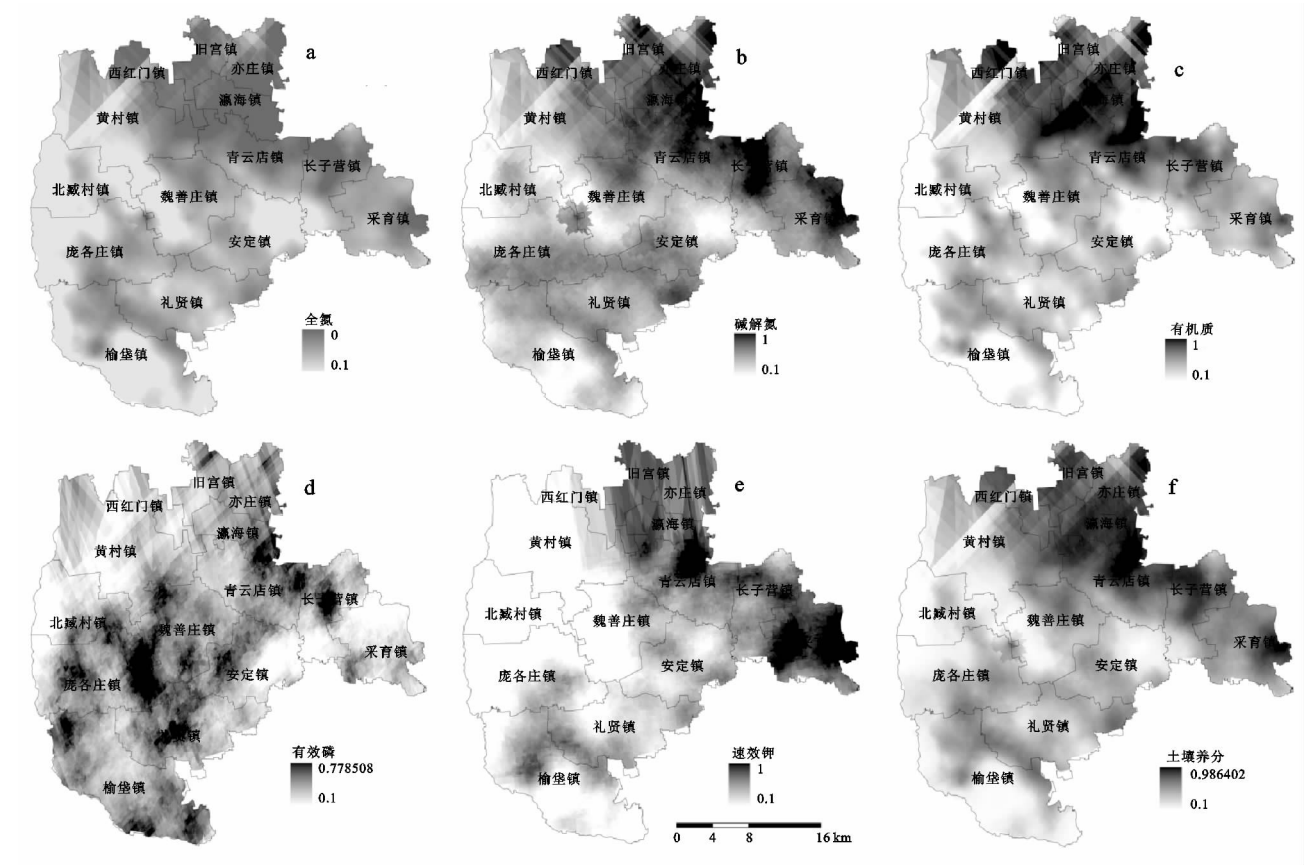


图 2 大兴区土壤养分的空间分布

2.2 土壤养分的空间结构分析

对标准化处理后的大兴区土壤养分进行主成分分析,结果如表 2 所示。前 2 个主成分累积贡献率已达到 91.23%,选取前 2 个主成分按照前述研究方法进行计算,得到大兴区土壤养分的空间结构为全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾所占空间比例分别为 0.32,0.25,0.23,0.03 和 0.17。结果表明大兴区土壤中氮含量最高,有机质含量较高,钾含量较低,磷

含量极低。利用土壤中各养分及其所占的空间比例计算获取大兴区土壤养分的空间分布特征,如图 2f 所示。从图中可以看到,土壤养分的高值区主要分布在大兴区东北部的采育镇、长子营镇、青云店镇、瀛海镇、亦庄镇、旧宫镇和西红门镇;土壤养分的低值区主要分布在大兴区西南部的黄村镇、北臧村镇、庞各庄镇和榆垓镇,以及中部的魏善庄镇、采育镇和安定镇的部分区域。

表 2 大兴区土壤养分的主成分分析

主成分	特征值	累计贡献率/%	特征向量矩阵				
			全氮	碱解氮	有机质	有效磷	速效钾
PC1	0.2247	81.03	0.632707	0.500107	0.450137	0.023445	0.382625
PC2	0.0283	91.23	0.259954	0.072094	0.295811	0.232617	-0.88635
PC3	0.0135	96.10	0.184102	-0.39584	0.306695	-0.84028	-0.09637
PC4	0.0087	99.22	0.254789	-0.75967	0.266068	0.484552	0.228902
PC5	0.0022	100.0	-0.658252	0.104415	0.738253	0.066943	0.079391

2.3 土壤养分空间结构影响因素分析

2.3.1 自然因素 自然因素是影响大兴区土壤养分空间结构的制约因素,主要包括大兴区土壤类型、土壤质地、区位条件等。土壤类型以潮土为主,占全区土壤面积的 95%以上,潮土受黄土性母质影响,矿物

养分较丰富,但速效磷含量较低。土壤质地主要以轻壤质、砂质和砂壤质为主,分别分布在大兴区的东北部、西南部、中部。轻壤质土和砂壤质土的土壤质地适中,通透性好,春季升温快,稳温性好,有利于氮的吸收和有机质的积累。砂质土的蓄水力弱,土温变化

较快,透水性和通气性良好,但抗旱能力较差,本身所含养料比较贫乏,有机质的保存积累比较困难,其土粒吸肥力和土体保肥性都较差,特别不利于钾和磷的保肥。大兴区靠近北京市区,消纳了大量的城市粪便、垃圾和生活污水,增加了土壤中有机质的含量,这与前人的研究成果一致<sup>[10]</sup>。受自然因素的限制,大兴区土壤养分在整体上东北部要优于西南部。

2.3.2 人为因素 人为因素主要是指农户的土地利用方式、耕作与种植制度、施肥情况等。据农户实际抽样调查数据,大兴区有48%的农户选择一年一作,种植玉米、小麦、西瓜、西红柿和油菜的农户分别占58%,26%,13%,15%,9%,52%的农户选择一年两作,冬小麦—夏玉米种植模式占到80%。玉米、西瓜和蔬菜生长过程中对氮元素需求高,钾的需求较高,磷的需求较低。在施肥过程中约占65%的农户选择以氮肥作为底肥,26%的农户选择磷肥,6%选择钾肥;约占81%的农户选择氮肥作为追肥,其余少量的磷肥和钾肥。大兴区约有23%的农户在施肥过程中增加了有机肥的使用,这有利于有机质的积累。45%的农户选择大面积推广秸秆还田,为微生物提供了大量的C源,增强了微生物活性,秸秆中大量的N被微生物吸收同化<sup>[11]</sup>,增加了土壤中氮元素的含量。大兴区东北部是设施蔬菜的主产区,蔬菜产业带内的土壤养分属于优质等级,与土壤养分的高值区相吻合。因此,农户行为是影响大兴区土壤养分空间结构的主导因素。

自然因素和人为因素共同驱动,使得大兴区土壤中氮含量最高,有机质含量较高,钾含量较低,磷含量极低,整体上大兴区土壤养分高值区主要分布在东北部,低值区主要分布在西南部和中部区域。土壤改良提高途径主要有工程、耕作和施肥土壤改良3种类型。工程土壤改良主要是运用平整土地,兴修梯田,建立农田排灌工程,采用砂黏互掺的办法进行土壤改良等;耕作土壤改良主要是调整农户土地利用方式和种植结构,改进耕作方法等;施肥土壤改良主要是平衡施肥来尽快提高大兴区土壤中磷和钾的含量,施用有机肥、生物肥和各种土壤改良剂等。

### 3 结论

1) 基于地统计学和GIS技术对土壤养分进行空间克里格插值和模糊隶属度函数模型标准化处理,利用主成分分析方法获取了大兴区土壤养分的空间结构,全氮、碱解氮、有机质、有效磷和速效钾所占空间比例分别为0.32,0.25,0.23,0.03,0.17。大兴区土壤中氮含量最高,有机质含量较高,钾含量较低,磷含量极低,整体上大兴区土壤养分高值区主要分布在东

北部,低值区主要分布在西南部和中部。

2) 大兴区土壤类型、质地、区位条件等自然因素是影响土壤养分空间结构的制约因素,农户土地利用方式、种植制度和施肥结构等行为是土壤养分空间结构变化的主导因素。大兴区潮土中有机质含量较高,速效磷含量较低。东北部的轻壤质和中部的砂壤质有利于氮的吸收和有机质的积累,西南部的砂质对有机质的保存积累比较困难,土体保肥性差,特别不利于钾和磷的保肥。大兴区农户在施肥过程中非常注重氮肥、较多磷肥、忽视钾肥、轻视优质有机肥,农户推广秸秆还田可以增加土壤中氮元素的含量。自然因素和人为因素共同驱动了大兴区土壤养分空间结构变化。

3) 未来需要综合运用工程、耕作和施肥土壤改良方法,进一步改善大兴区土壤,提升土壤肥力,从而逐步提高土壤质量。

#### 参考文献:

- [1] 腊贵晓,顾怀胜,刘国顺,等.喀斯特地区烟田土壤养分的空间变异特征[J].水土保持研究,2012,19(3):48-54.
- [2] 秦静,孔祥斌,姜广辉,等.北京典型边缘区25年来土壤有机质的时空变异特征[J].农业工程学报,2008,24(3):124-129.
- [3] 崔贝,王纪华,杨武德,等.冬小麦—夏玉米轮作区土壤养分时空变化特征[J].中国农业科学,2013,46(12):2471-2482.
- [4] 孔祥斌,张凤荣,王茹,等.基于GIS的城乡交错带土壤养分时空变化及格局分析:以北京市大兴区为例[J].生态学报,2004,23(11):2210-2218.
- [5] 刘鑫,满秀玲,陈立明,等.坡位对小叶杨人工林生长及土壤养分空间差异的影响[J].水土保持学报,2007,21(5):76-81.
- [6] 吴玉红,田霄鸿,侯永辉,等.基于田块尺度的土壤肥力模糊评价研究[J].自然资源学报,2009,24(8):1422-1431.
- [7] 靳正忠,雷加强,徐新文,等.塔里木沙漠公路防护林地土壤肥力质量变化与评价[J].科学通报,2008,53(S2):112-122.
- [8] 张琳,张凤荣,孔祥斌,等.大城市郊区耕地种植结构变化规律及其对土壤养分的影响:以北京市大兴区为例[J].土壤通报,2008,39(6):1272-1276.
- [9] 凌子燕,刘锐.基于主成分分析的广东省区域水资源紧缺风险评价[J].资源科学,2010,32(12):2324-2328.
- [10] 胡克林,余艳,张凤荣,等.北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素[J].中国农业科学,2006,39(4):764-771.
- [11] 孔祥斌,张凤荣,王茹.近20年城乡交错带土壤养分时间空间变异特征分析:以北京市大兴区为例[J].土壤,2005,36(6):636-643.