

典型干旱荒漠绿洲区耕层土壤养分空间变异

王雪梅^{1,2}, 柴仲平³, 武红旗³

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆维吾尔自治区重点实验室 草业与环境新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: [目的] 对干旱荒漠绿洲区耕层土壤养分空间特征进行研究, 为绿洲土地资源的合理开发利用, 以及土壤施肥方案的科学制定提供理论依据。[方法] 基于 GIS 与地统计学方法对新疆维吾尔自治区精河县耕层土壤养分空间变异特征及影响因素进行分析。[结果] (1) 研究区内有效磷的空间变异性较强(变异系数 C_v 为 67.45%), 速效钾的空间变异性最弱(C_v 为 40.76%)。(2) 有机质、碱解氮和有效磷存在较强的空间自相关性, 其空间变异主要由地形、土壤质地和土壤类型等结构性因素所引起; 速效钾为中等程度的空间自相关性, 其空间变异不仅受结构性因素的影响, 还与随机因素(即施肥和种植结构)有关。(3) 各土壤养分元素在绿洲内部具有较高含量的片状和斑块状分布, 而在绿洲外缘, 其含量相对较低, 且呈大面积的片状分布。[结论] 精河县耕层土壤养分总体呈现出有机肥含量缺乏, 磷钾肥相对丰富的特点。

关键词: 耕层土壤; 空间变异; 地统计分析; 荒漠绿洲区; 精河县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0051-06

中图分类号: S158.2, S158.9

文献参数: 王雪梅, 柴仲平, 武红旗. 典型干旱荒漠绿洲区耕层土壤养分空间变异[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 51-56. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.010

Spatial Variation of Soil Nutrients in Arable Layer in Typical Arid Desert Oasis Area

WANG Xuemei^{1,2}, CHAI Zhongping³, WU Hongqi³

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830054, China; 2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Key Laboratory, Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830054, China; 3. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Xinjiang Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830052, China)

Abstract: [Objective] We aimed to study the spatial characteristics of arable layer soil nutrient elements in the arid desert-oasis region in order to provide the theoretical basis for the rational development and utilization of land resources in oasis. [Methods] Based on the methods of GIS and geo-statistics, the spatial variation of the soil nutrient in arable layer and its driving factors were analyzed in Jinghe County, Xinjiang Uygur Autonomous Region. [Results] (1) The coefficient of variation(C_v) of effective phosphorus was the greatest (C_v was 67.45%), while the spatial variability of rapidly-available potassium was the least(C_v was 40.76%). (2) Organic matter, alkali-hydro nitrogen and effective phosphorus showed a strong spatial autocorrelation, and the spatial variability was mainly caused by structural factors such as terrain, soil texture and soil type. Rapidly-available potassium showed a moderate spatial auto-correlation. The spatial variability of rapidly-available potassium was not only affected by the structural factors, but also by the random factors such as fertilization and the planting structure. (3) The soil nutrient elements in the central area of Jinghe County oasis showed a patchy distribution, while in the outer of oasis, the content of soil nutrient elements was relatively low, and it showed a sheet distribution. [Conclusion] Organic matter is lacking, while phosphate and potash fertilizer is abundant in the arable layer soil in Jinghe County.

Keywords: arable layer soil; spatial variability; geo-statistics analysis; arid desert-oasis region; Jinghe County

收稿日期: 2014-10-06

修回日期: 2015-03-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“新疆渭干河流域土地利用/土地覆盖生态风险及预警研究”(41261051), “塔里木盆地北缘绿洲—荒漠过渡带植被对土壤盐渍化的响应研究”(41561051); 国家农业部和财政部“测土配方施肥补贴资金项目—耕地地力评价”

第一作者: 王雪梅(1976—), 女(汉族), 江苏省铜山市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为干旱区资源环境遥感应用研究。E-mail: 502529672@qq.com。

土壤肥力的高低,直接影响着农作物的生长发育和产量,是农田生态系统生产力的重要制约因素之一,而土壤养分的含量分布及形态特征是土壤肥力的重要标志^[1-2]。了解和掌握农田土壤养分的空间变异规律及其影响因素,及时预测和调控土壤养分的动态变化,是提高农田土壤肥力的重要手段,也是当前开展测土配方施肥工作的重要依据。目前,运用地统计学方法对土壤养分的空间变异及空间自相关性的研究一直层出不穷^[3]。空间变异(spatial variability)主要是以区域化随机变量和变异函数为基础,运用克里格插值法研究区域化变量在空间分布上的变异性和相关性。空间自相关(spatial autocorrelation)则是指在同一个分布区内,区域化随机变量的观测数据间存在着潜在的相互依赖性。前人通过大量研究证明,农田土壤养分与定量环境因子之间存在着复杂的相关关系^[4-6]。土壤养分具有明显的区域特性,在不同的地区和时段内,受母质、气候、水文、地形、生物以及土地利用方式等因素的影响,呈现出不同的空间变异规律^[7]。

精河县地处亚欧大陆腹地,远离海洋,属典型的北温带干旱荒漠型大陆性气候,特殊的气候条件和自然环境,使得在此开展农田土壤养分特征调查显得非常必要和具现实意义。本研究借助GIS技术,以精河县荒漠绿洲区为研究对象,采用地统计学方法,对该县耕层土壤主要养分元素的空间分布特征进行深入研究,探讨耕层土壤养分元素的空间变异规律及影响因素,旨在为干旱区荒漠绿洲土地资源合理开发与改良、施肥方案的科学制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

精河县位于新疆维吾尔自治区西北部,天山支脉婆罗科努山北麓,准噶尔盆地西南边缘。地处博尔塔拉蒙古自治州东端。县境东邻塔城地区乌苏市,南邻伊犁哈萨克自治州伊宁县和尼勒克县,西北接博乐市,东北邻塔城地区的托里县。地理位置为东经 $81^{\circ}46'—83^{\circ}51'$,北纬 $44^{\circ}02'—45^{\circ}10'$ 。县境东西长约166 km,南北宽约134 km,总面积 $1.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (含兵团),约占博尔塔拉蒙古自治州面积的37%。精河县耕地面积约 $4.83 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占精河县总面积的4.28%,境内有内陆咸水湖——艾比湖。

精河县地势南高北低,自南向北呈现扇状坡面,南部为山区,中部、北部为平原。耕地主要分布于中

部山前冲—洪积倾斜平原区,主要为水浇地等。该县耕地土壤类型主要以草甸土、灰棕漠土、潮土、风沙土、灌耕土、灰漠土、沼泽土、棕钙土以及石质土为主,农作物以棉花作为当地支柱产业,此外,小麦、玉米、油料、黑瓜子和枸杞均有较高的产量。

1.2 样点布设和调查取样

要保证获取信息及成果的准确性和可靠性,布点要考虑精河县的地形地貌、土壤类型、肥力高低,以及作物种类等,保证采样点具有典型性和代表性的同时要兼顾空间分布的均匀性。将土地利用现状图与土壤图叠加后形成评价单元图,以此作为采样点布设工作底图,根据图斑的个数、面积、作物、土种、产量水平等因素,将采样点平均分布于精河县5个乡镇场。确保每个评价单元保证有点,大的单元增加点数,力求点位均匀分布。

以采样点分布为向导,于2011年10月在精河县5个乡镇选取具有代表性的采样点进行调查取样。结合实地情况,在每个采样点采用GPS定位取土,保证每个土壤样品具体到村、组、户、地块。每 $6 \sim 10 \text{ hm}^2$ 为一个采样单元,棉花、小麦采用“S”型布点方法,枸杞和其他作物采用棋盘式布点方法,采样点间距为1 km,采样深度均为25 cm。每个土样采集15~20个点的混合样,用四分法留取500 g左右装入贴好标签的塑料袋中用于室内指标的测定,最终采集土壤样本935份。按照技术规范要求做到每个样点的取土深度及采样量均匀一致。

在取样的同时,采用实地测量和农户走访等多种形式,详细调查每个样点的坡度、坡向、土层厚度、土地利用方式、植被类型、耕作制度、施肥及人为干扰情况等信息,填写土壤样本调查表^[8]。

1.3 室内化学分析

将采集的土样在实验室自然风干,剔除土壤以外的侵入体(如植物残茬、石粒、砖块等杂质),适当磨细过1和0.25 mm筛,充分混合均匀备用。根据《土壤农业化学分析方法》对样品进行常规测试^[9]。对所取的土样进行系统整理与试验分析,在测试方法上,土壤有机质(OM)采用油浴加热重铬酸钾氧化容量法测定、碱解氮(AN)采用碱解扩散法测定、有效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾(AK)则采用乙酸铵浸提—火焰光度计法进行测定。

1.4 数据处理与分析

采用SPSS 20.0统计分析软件对土壤养分含量进行描述性统计分析。为避免产生比例效应,在进行

半方差分析之前应确保数据符合正态分布^[10]。因此,采用 SPSS 中 K—S 检验方法对数据进行正态分布检验,经检验,速效钾符合正态分布($p > 0.05$);对不符合正态分布的有机质、碱解氮和有效磷,则进行对数转换,使之符合正态分布($p > 0.05$)。采用 GS⁺ 9.0 软件对符合正态分布的数据进行半方差函数分析和理论模型的选择,得到各土壤养分元素的最优半方差函数理论模型及相关参数,并利用 ArcGIS 9.3 软件中的地统计分析模块(geo-statistical analyst)下 Kriging 插值法对土壤养分含量进行最优插值,最终得到各养分元素的空间分布图。本研究的方法体系如图 1 所示。

2 结果与分析

2.1 总体特征分析

对耕层土壤养分元素的统计分析是以统计学为基础,采用样点的均值、偏度系数和峰度系数反映样本的中心趋向及分布状况,标准差和变异系数(C_v)的大小则反映取样样本的变异程度。

统计结果表明(表 1):研究区内土壤有机质的含

量在 1.0~125.0 g/kg 间发生变化,平均含量为 18.85 g/kg;碱解氮的变幅为 26.0~348.0 mg/kg,平均含量为 102.93 mg/kg;有效磷的含量范围为 0.1~59.5 mg/kg,平均值为 20.64 mg/kg;速效钾的变幅为 16.0~500.0mg/kg,平均值为 234.07 mg/kg。不同养分元素的变异程度相差不大,变异系数最大的是有效磷为 67.45%,最小的是速效钾为 40.76%。可见,研究区各土壤养分元素均为中等空间变异性。利用 K—S 检验方法对土壤养分元素含量的总体分布类型进行非参数检验,检验结果表明速效钾呈正态分布;有机质、碱解氮和有效磷经对数转化后呈正态分布。

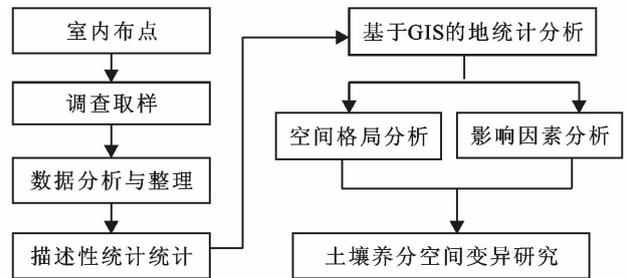


图 1 研究方法体系

表 1 土壤养分元素描述性统计

土壤养分	变幅	平均值	标准差 SD	变异系数 $C_v/\%$	偏度	峰度	K—S 检验/ 分布型
有机质/(g·kg ⁻¹)	1.0~125.0	18.85	11.45	60.76	-0.22	0.12	0.09/LN
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	26.0~348.0	102.93	43.74	42.49	-0.27	0.14	0.125/LN
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	0.1~59.5	20.64	13.92	67.45	-0.32	0.13	0.113/LN
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	16.0~500.0	234.07	95.40	40.76	0.25	-0.16	0.177/N

注:LN 表示对数正态分布型;N 表示正态分布型;显著水平为 0.05。

2.2 空间变异性分析

2.2.1 半方差函数分析 土壤养分含量的空间变异是由土壤类型、地形、母质以及种植制度、耕作措施等各种因素在不同方向、不同尺度下共同作用的结果。半方差函数是分析区域化变量空间变异性最为有效的工具之一^[11]。

在半方差函数理论模型中,块金值(C_0)通常表示由随机因素引起的变异,即由试验误差和小于试验取样尺度所引起的变异;基台值(C_0+C)表示系统内的总变异,包括结构性变异和随机性变异,基台值越大表示系统总的空间变异性越强;偏基台值(C),亦为结构方差,是由土壤母质、地形、气候等非人为的结构因素所引起的变异;块金值与基台值的比值又叫块金效应(C_0/C_0+C),代表随机因素引起的空间变异占总空

间变异的比,同时表明区域化变量的空间自相关性^[12-13]。变程(A)是使半方差达到基台值时的样本间距,即最大相关距离,表明土壤属性空间自相关范围的大小。

通过利用 GS⁺ 9.0 软件对耕层土壤养分元素进行半方差函数分析,选取最优理论模型,结果如图 2 和表 2 所示。

(1) 各土壤养分元素的半方差函数值大致围绕一条曲线上下波动,并随采样间距的增加而增加,在达到某一距离后,趋向于某一平稳值。

(2) 通过对耕层土壤各养分元素拟合半方差函数理论模型,认为有机质、碱解氮和速效钾符合球状模型,有效磷符合指数模型,各模型拟合效果较好(均表现为决定系数 $R^2 > 0.5$,残差 $RSS < 0.01$)。

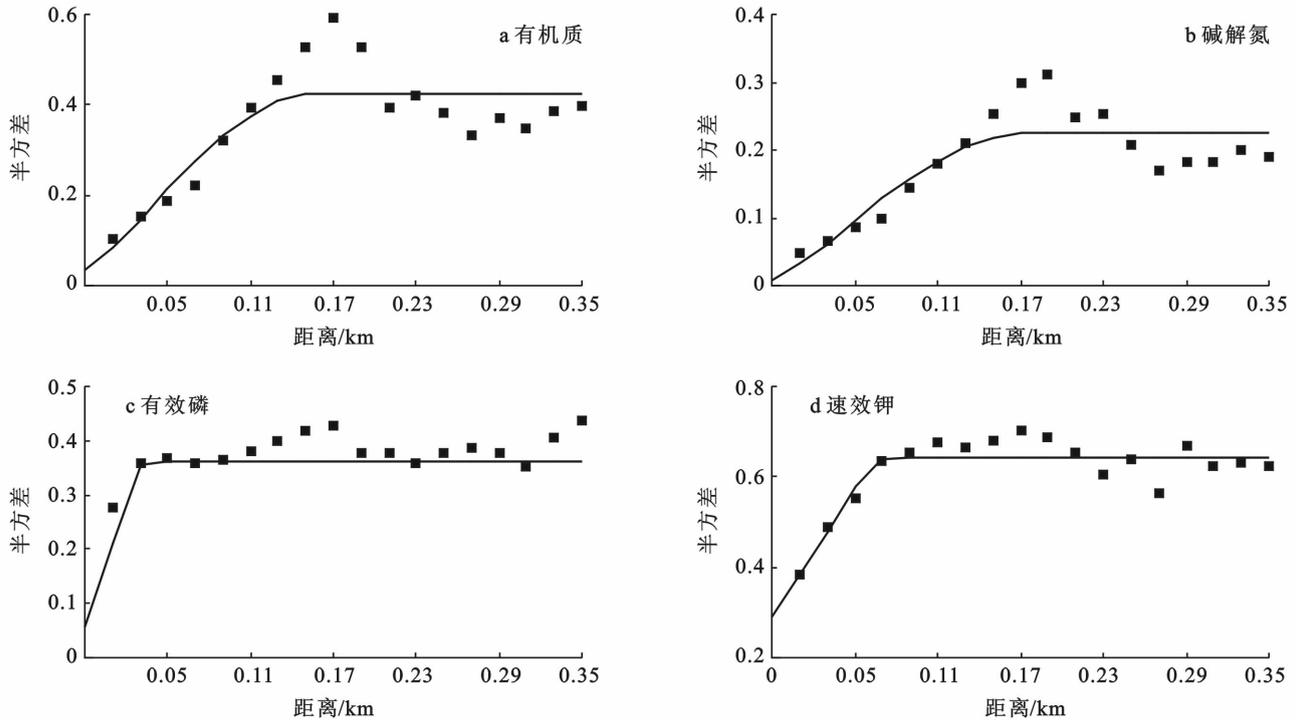


图 2 土壤养分元素半方差

表 2 半方差函数理论模型参数

土壤养分	模型	块金值 (C_0)	基台值 ($C_0 + C$)	块金效应 [$C_0 / (C_0 + C)$]/%	变程/ km	决定系数 R^2	残差
有机质	球状	0.048 0	0.382 0	12.57	0.145 0	0.620	0.061 0
碱解氮	球状	0.015 9	0.186 8	8.51	0.159 0	0.552	0.022 9
有效磷	指数	0.049 0	0.407 0	12.04	0.048 0	0.524	9.294 E-03
速效钾	球状	0.058 9	0.154 8	38.05	0.081 0	0.740	1.255 E-03

(3) 耕层土壤各养分含量的块金值 C_0 均为正值,说明存在着由采样误差、短距离的变异、随机和固有变异所引起的各种正基底效应。

(4) 从有机质、碱解氮和有效磷的块金效应均小于 25%,说明这 3 种养分元素具有较强的空间相关性,其空间变异主要由结构性因素,如气候、母质、地形、土壤等自然因素所引起^[14]。速效钾的块金值与基台值之比介于 25%~75%之间,故认为是结构性因素与随机性因素的协同作用,说明其空间变异不仅受结构性因素影响,还与随机性因素,即各种人为活动(施肥、耕作措施、种植制度等)有关,并具有中等程度的空间自相关性。

(5) 从各养分元素的变程(A)来看,土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的空间变化范围在 0.048 0~0.159 0 km 之间,碱解氮和有机质具有较大尺度的空间自相关性,有效磷和速效钾的空间自相关尺度则相对较小,其中碱解氮的空间自相关尺度最大,有效磷的则最小。当土壤养分观测值间的距离大于自相关尺度时,说明它们是相互独立的,若小于该值时,

则说明它们之间存在一定的空间相关性^[15]。

2.2.2 Kriging 插值分析 普通克里格(ordinary Kriging)插值法利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计,即通过已知点来推测未知点的含量状况,从而预测区域范围内的空间分布情况,其插值结果平滑了变量的原始数据,使得大值降低,小值增高,减少了变量的突然变化^[16]。在使用普通克里格法进行插值时,通过搜索半径选择预测点数最多的半方差函数理论模型进行加权插值,能直观地了解研究区耕层土壤养分元素的空间格局分布特征。

通过对土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾采用普通插值法(ordinary Kriging)进行空间插值(图 3)。从土壤养分空间分布格局来看,各养分元素呈现出明显的片状和斑块状分布格局。结合研究区的地形特点进行分析,认为土壤有机质和碱解氮集中分布的高值出现在研究区的中部(冲、洪积扇中部),且西北、东南和正东方向的含量要明显高于南北方向,即土壤有机质和碱解氮的含量会由精河绿洲冲、洪积扇

的中部向周围递减;有效磷在精河绿洲东、西方向的含量要高于南、北方向,且呈片状及斑块状分布;速效钾含量的高值出现在绿洲的中部(冲、洪积扇中部),在南、北方向的含量高于东、西方向。

通过对照中国第二次土壤普查养分分级标准(表3)^[17],对精河县绿洲区域土壤养分空间分布格局进行综合分析,认为在绿洲中部区域(冲、洪积扇中部)各养分元素具有较高含量的片状和斑块状分布,而在绿洲外缘(即冲、洪积扇扇缘),各土壤养分元素含量相对较低,且呈大面积的片状分布,总体呈现出绿洲内部养分含量高于绿洲外缘。耕层土壤有机质较为缺乏,碱解氮处于中等水平,有效磷的平均含量相对

丰富,而速效钾的含量则过于丰富。总体呈现出,耕层土壤有机肥含量水平较低,磷钾肥丰富的空间分布特征。

表3 中国土壤养分分级标准

级别	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1级很丰富	>40	>150	>40	>200
2级丰富	30~40	120~150	20~40	150~200
3级中等	20~30	90~120	10~20	100~150
4级缺乏	10~20	60~90	5~10	50~100
5级很缺乏	6~10	30~60	3~5	30~50
6级极缺乏	<6	<30	<3	<30

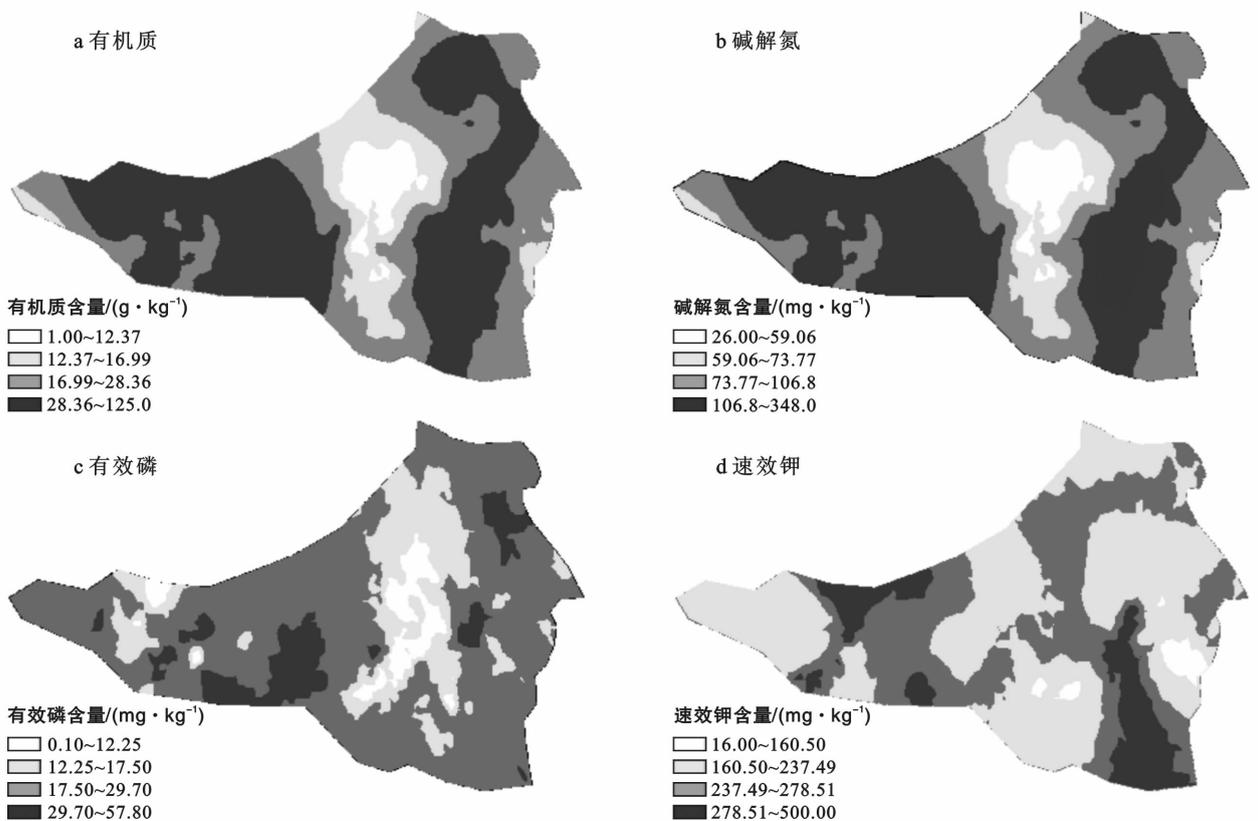


图3 土壤养分空间分布

3 讨论与结论

大量的研究证明,土壤养分元素的含量、形态分布和迁移转化不仅与气候、成土母质、成土过程以及土壤质地有关,还受耕作制度、施用化肥和种植作物类型等人为因素影响^[18-20]。精河县境内地形复杂,地势垂直高度相差悬殊,农业区主要分布在天山北麓冲、洪积扇群组成的山前倾斜平原上,地势由南向北倾斜,故造成农业区内地形条件差异显著,土壤质地以砂土、壤土、黏壤和石质土为主,土壤类型和种植结

构多样。通过对农户施肥情况调查显示,农民在施肥方面,存在着重施磷钾肥、轻施有机肥的现象,连年不倒茬的种植模式和磷钾肥的大量使用,造成土壤质地退化、板结,保肥保水能力低,植物生长不良,抗逆性差。因此,造成精河县耕层土壤养分空间变异的主要因素有地形、土壤质地、土壤类型、施肥管理及种植结构。针对精河县耕层土壤养分的空间变异特征,应适当调整农田耕作方式和施肥结构,改善土壤质地和养分条件,不断提高农田土壤的养分利用率。

以精河县冲、洪积扇平原绿洲为研究区域,通过

室内布设样点、室外采样与试验分析,采用GIS和地统计学相结合的方法对耕层土壤养分空间变异性进行研究,结果表明:

(1) 研究区内各土壤养分元素均为中等空间变异性,变异系数(C_V)在40.76%~67.45%间发生变化,其中有效磷空间变异性最强,速效钾的空间变异性最弱。

(2) 半方差分析结果显示,有机质、碱解氮和有效磷具有强烈的空间自相关性,其空间变异主要是由地形、土壤质地和土壤类型等自然因素所造成;速效钾为中等空间自相关性,其空间变异是自然因素(地形、土壤质地和土壤类型)与人类活动(施肥和种植结构)共同作用的结果。

(3) 土壤养分在绿洲内部具有较高含量的片状和斑块状分布,而在绿洲外缘,含量相对较低,且呈大面积的片状分布,总体呈现出绿洲内部养分含量高于绿洲外缘。

本研究仅对精河县耕层土壤养分的空间变异性 and 影响因素进行了分析,对如何改进和调整氮磷钾的合理比例以及实现测土配方平衡施肥还有待进一步研究。此外,在地统计学分析中,由于半方差函数理论模型参数的选择不同,土壤养分空间插值的效果将有所差异,为了确保空间插值的实用性和有效性,今后还需进一步改进和提高模型的精度,以期达到更好的预测效果。

[参 考 文 献]

- [1] 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特征研究:以河北省遵化市为例[J].应用生态学报,2000,11(4):557-563.
- [2] 方斌,吴金凤.作物种植前后土壤有机质及养分分子的空间变异分析.生态学报,2014,34(4):983-92.
- [3] 徐莉,李艳红,海米提·依米提,等.艾比湖湿地不同植物群落下土壤水盐空间变异性[J].水土保持通报,2013,33(6):279-284.
- [4] 范夫静,宋同清,黄国勤,等.西南峡谷型喀斯特坡地土壤养分的空间变异特征[J].应用生态学报,2014,25(1):92-98.
- [5] 刘志鹏.黄土高原地区土壤养分的空间分布及其影响因素[D].北京:中国科学院大学,2013.
- [6] 刘祖香,陈效民,靖彦,等.基于地统计学的农田尺度旱地红壤养分空间变异性研究[J].土壤通报,2013,44(2):392-397.
- [7] 刘沛松,王健胜,楚纯洁,等.豫西低山丘陵区不同土地利用方式对陡坡地土壤理化性状的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):208-212.
- [8] 农业部.中华人民共和国农业行业标准:测土配方施肥技术规范[S].北京:中国农业出版社,2006:27-59.
- [9] 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,2000:142-480.
- [10] 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,1999:35-149.
- [11] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas(I): Semi-variograms[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981,46(5):1028-1032.
- [12] 史文娇,魏丹,汪景宽,等.双城市土壤重金属空间分异及影响因子分析[J].水土保持学报,2007,21(1):59-64.
- [13] 胡克林,张凤荣,吕贻忠,等.北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J].环境科学学报,2004,24(3):463-468.
- [14] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征:变异函数与Kriging插值分析[J].地理学报,2000,55(5):555-564.
- [15] ZHANG Shirong, SUN Bo, ZHAO Qiguo, et al. Temporal-spatial variability of soil organic carbon stocks in rehabilitating ecosystem [J]. Pedosphere, 2004,14(4):501-508.
- [16] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:37-121.
- [17] 马志敏,吕一河,孙飞翔,等.黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应[J].生态学报,2013,33(19):6328-6334.
- [18] 王岩,陈永金,刘加珍.黄河三角洲湿地土壤养分空间分布特征[J].人民黄河,2013,35(2):72-74.
- [19] 张超,刘国彬,薛莲,等.黄土丘陵区撂荒农耕地土壤有效态微量元素演变特征[J].中国农业科学,2013,46(18):3809-3817.
- [20] 罗新宁,朱友娟,张宏勇,等.塔里木绿洲种植制度对棉田土壤养分性状的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):114-118.