

临汾市尧都农业区土壤有机质和大量营养元素空间变异性研究

马大龙, 张永清*, 杜静静, 陈轶楠, 张希云, 杜娟 (山西师范大学城市与环境科学学院, 山西临汾 041004)

摘要 [目的]揭示临汾市郊农业区耕层土壤有机质及大量营养元素的空间变化规律,为其土壤肥力评价和管理提供指导。[方法]利用大量的土壤养分分析数据,通过实测研究区土壤有机质、全氮、水解氮、有效磷、速效钾和缓效钾6个肥力指标的含氮量,运用地统计学方法对其进行计算分析。[结果]在尧都区6种土壤肥力指标中,有机质、全氮和水解氮的块金值、基台值的比值分别为0.931、0.839、0.866,表明具有弱的空间相关性;有效磷、速效钾和缓效钾的 $C_0/(C+C_0)$ 值分别为0.663、0.666、0.729,表明具有中等程度的空间相关性。研究区养分分布特征为:土壤有机质、全氮和水解氮含量表现为由西向东逐渐降低,有效磷、速效钾含量分布表现为中心高四周低,有效磷中心呈破碎的散块,速效钾则呈以汾河南部为中心的扩散状。[结论]在施肥过程中,农户应充分考虑土壤的本底差异,避免盲目地平均施肥。

关键词 临汾市郊;土壤养分指标;空间变异;地统计学

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)14-06231-04

Study of Soil Organic Matter in Yaodu Agricultural Area of Linfen and a Large Amount of Nutrient Elements of Spatial Variation

MA Da-long et al (College of Urban and Environmental Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004)

Abstract [Objective] The spatial variation of soil organic matter and nutrients in Linfen suburban agricultural zone was revealed to provide guidance for the evaluation of soil fertility and management. [Method] Using a great deal of analysis data of soil nutrient content, soil organic matter, total nitrogen, hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium and slow-available potassium were observed. Geostatistics method was used to calculate and analyze. [Result] Among the soil fertility index soil in Yaodu District, organic matter, total nitrogen and hydrolyzable nitrogen nugget value and base value was 0.931, 0.839, 0.866 respectively, which showed that it had a weak spatial correlation. $C_0/(C+C_0)$ values of available phosphorus, available potassium and slow-available potassium were 0.663, 0.666, 0.729, which showed moderate spatial correlation degree. Nutrients distribution of soil organic matter, total nitrogen and hydrolysis nitrogen content decreased gradually from the west to the east. Distribution performance of available phosphorus and available potassium showed the center high and around low. Effective phosphorus center was broken apart, and available potassium was diffused to fen department of Henan as the center. [Conclusion] Farmers should fully consider the difference between the bottom soil in the application process, to avoid the average fertilization blindly.

Key words Linfen suburb; Soil fertility index; Spatial variability; Geo-statistics

土壤有机质和大量元素都是土壤肥力的重要指标,也是植物必需营养元素的主要来源。评价土地可持续利用能力的重要方面是耕层土壤中的有机质和大量元素含量。其中,有关耕层土壤有机质、大量营养元素等方面的研究已成为环境化学、土壤学和地球化学等科目的研究热点之一^[1-2]。揭示土壤有机质和大量营养元素的时空变异规律,同时掌握其分布状况,是实现土壤的可持续利用、区域可持续发展的前提。

随着城市化的不断发展,城市边缘带就具有明显的区位优势,无论是土地利用结构还是农业耕作管理的措施都发生很大的变化。这种变化必然会对土壤养分的空间分布、聚居特征产生很大的影响^[3-6]。尧都区是临汾市与周边县的农业缓冲地带,土地利用方式多样。该区耕地数量虽然不多,但是作为临汾市最直接的粮食蔬菜生产区域,它具有得天独厚的地理优势和经济优势^[7-8]。因此,充分了解该区的有机质和大量营养元素的空间分布特征,进而为土壤的合理利用提供依据,具有十分重要的意义^[9-14]。

自20世纪70年代以来,对土壤空间变异性的研究以及农田的土壤变异定量化等研究一直是人们关注的热点^[15-19],其中大多数的研究主要涉及土壤养分、土壤盐分、pH空间变异问题^[20-21]。90年代以来,地统计学方法则被广

泛地应用于小区域土壤养分空间分布特征的研究上。胡克林等^[22]在小尺度上对耕地的土壤养分变异、分布进行了研究;而孔祥斌等^[11,23]则在较大尺度上进行了研究,例如北京市大兴区、河北遵化平原等地的土壤养分空间变异规律;王军等^[24]应用Kriging空间内插法,对黄土高原大南沟流域进行研究,在大尺度上对该地的土壤养分建立了空间分布格局。然而,大小2种尺度的研究都是存在缺点的。小尺度的研究区域小,研究结果难以用于全局推广;大尺度的研究区域覆盖全面,但采样点大多在100~300个点,精度仅局限于满足插值要求。当面对土壤利用方式多样的城市边缘地带时,若采样点过少则会难以满足精细农业的要求。因此,在大尺度区域,以精细农业为目的,精度采样的方法也值得关注。该研究区是一个县域范围,属于大尺度的研究区域。笔者在研究区域采样1183个点。在描述统计分析的基础上,基于GIS软件,运用地统计学方法,对临汾市尧都区土壤有机质和大量营养元素的空间变异进行研究,分析该区土壤养分、综合肥力的空间变化特征,从而为土壤肥力评价和管理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 临汾市尧都区位于山西省的南部、临汾市的中部,地处临汾盆地的中央,111°5'7"~111°49'4"E, 35°54'21"~36°19'48"N,面积1316 km²。境内东是太岳山脉,西是吕梁山余脉,中部是断陷盆地,汾河纵贯南北,将全区分成汾西、河东2个基本对等的部分,形成东西两山夹平原的地貌。全区山地、丘陵、台地、平原面积分别为627、138、134、

基金项目 “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BADA4B01)。
作者简介 马大龙(1988-),男,河北武邑人,硕士研究生,研究方向:土壤地理。*通讯作者,教授,硕士生导师,从事土壤及植物生理生态方面的教学与研究工作, E-mail: yqzhang208@163.com。
收稿日期 2013-04-22

417 km²。气候属于暖温带亚干旱第一气候区,暖温带大陆半干旱季风气候,多年平均气温为 9~13℃,无霜期有 197 d,多年平均降水为 494.19 mm。农副土特产丰富,粮食主产以小麦为主,经济作物以蔬菜为主,水果以苹果为主。

1.2 样品的采集 采样点范围为排平垣乡、河底乡、枕头乡以外的整个尧都区。这 3 个乡镇地形为山地,植被为林地,而研究土壤为农田,所以研究区域不包括这 3 个乡镇。土样采集时间为 2011 年 10~11 月,取样深度为 20 cm。根据室内预先确定的采样点的位置,通过 GPS 导航,找到具有代表性的地块,利用 GPS 定位仪确定经纬度。在确定的地块上采用“S”法采样,均匀随机采集 15~20 个采样点,充分混合,然后采用四分法留取 1 kg。采样工具为木铲或不锈钢土钻(铲)。采样点位图见图 1。

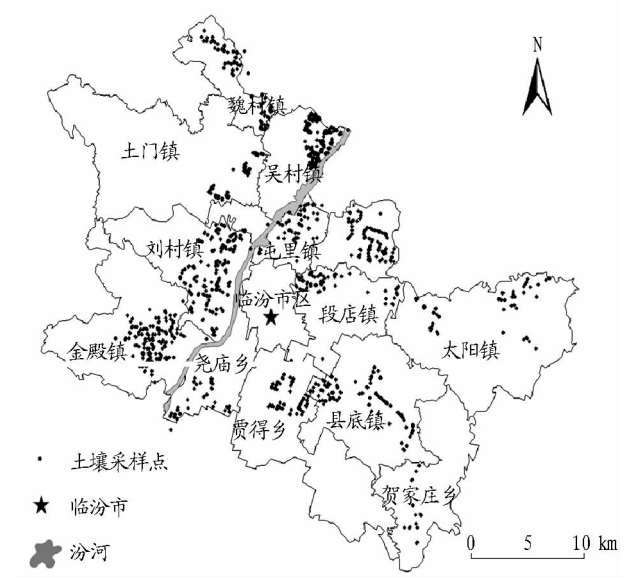


图 1 研究区土壤样点分布

1.3 样品的分析^[25] 土壤有机质含量的测定采用沙浴加热重铬酸钾容量法;全 N 含量的测定采用凯氏定氮法;碱解氮含量的测定采用 1 mol/L NaOH 碱解扩散法;有效磷含量的

测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法;速效钾含量的测定采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提火焰光度法;缓效钾含量的测定采用 1 mol/L HNO₃ 煮沸浸提火焰光度法。

1.4 数据处理 养分的有效数据利用 SPSS(19.0) 软件进行描述性统计和 K-S 检验。利用 GS+(5.0) 软件拟合出土壤养分的半方差函数模型,通过检验指标检验出最优半方差函数模型。利用 GS+ 软件得到属性参数,在 Arcgis Geostatistical Analyst 地统计模块支持下,采用普通克立格插值法(Ordinary Kriging)进行空间插值,绘制各土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾和缓效钾含量的插值图。

2 结果与分析

2.1 统计特征分析 由表 1 可知,经过单一样本 K-S 方法的检验,土壤水解氮和缓效钾含量呈正态分布,有机质、全氮、速效磷和速效钾含量则在对数转换后呈正态分布。从变异系数可以看出,土壤中有有机质、全氮、水解氮、速效磷、速效钾和缓效钾含量的变异系数为 25.45%~72.32%,属于中等变异强度;速效磷含量的变异系数最大,达到 72.32%,明显大于其他肥力指标,属于中等偏强的变异系数。造成这种现象的原因有很多种,该地区不同部位的土壤母质、气候条件、地貌特征都能对其产生影响,而更重要原因则是磷肥在当地的施用状况和磷本身在土壤中的化学特性。由于施入土壤中的磷较难移动,若当季利用率低,则会在土壤中造成较多残留,有些利用率高的地方则没有剩余,最终导致土壤中的磷分布不均匀。各土壤养分含量最大值和最小值的差异十分明显。这表明不同地区之间的土壤养分含量存在着本底差异。盲目的平均施肥只会造成高含量地区的养分过剩和低含量地区的养分继续不足。山西省 2005 年土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量均值分别为 13.313 g/kg、0.833 g/kg、75.000 mg/kg、12.500 mg/kg 和 142.000 mg/kg。经比较,发现除有效磷以外,其他指标均大幅高过 2005 年的均值。可见,尧都区的养分状况在山西省居于高水平。尧都区作为城市边缘地带,土壤利用状况和养分保持状况均较好。

表 1 土壤肥力指标描述性统计特征

项目	样本数	均值	最小值	最大值	方差	变异系数//%	偏度	峰度	分布类型
有机质	1 154	14.25	1.94	37.00	51.71	50.46	0.91	0.03	对数正态分布
全氮	1 158	1.25	0.11	2.74	0.22	38.11	0.65	-0.03	对数正态分布
水解氮	1 170	61.91	1.23	135.61	540.20	37.54	0.27	-0.32	正态分布
有效磷	1 145	21.37	0.80	81.23	238.92	72.32	1.60	2.48	对数正态分布
速效钾	1 163	241.64	47.33	597.26	10 305.47	42.01	0.97	0.73	对数正态分布
缓效钾	1 159	856.62	117.43	1 626.97	47 543.69	25.45	0.18	0.57	正态分布

注:有机质、全氮含量单位为 g/kg,水解氮、有效磷、速效钾、缓效钾单位为 mg/kg。

2.2 空间结构分析 有机质和有效磷符合高斯模型,水解氮符合指数模型,全氮、速效钾和缓效钾符合球状模型。通过预测误差可以看出,6 种肥力指标与半方差函数的均拟合较好,说明理论模型能较好地反映 6 种指标的空间结构特征。

表 2 中的 C₀ 为块金值,表示由随机部分引起的空间异质性;C₀+C 为基台值;C₀/(C₀+C) 为块基比;R² 为决定系

数;a 为变程,也叫空间最大相关距离。研究区域各个指标的变程普遍较小,表明各个肥力指标的空间相关距离较小。这是人为活动影响造成的。事实也正是如此。自 20 世纪 80 年代以来,农村普遍实行家庭联产承包责任制,各家各户对土地的使用和管理各不相同,造成土地利用方式发生较深刻的改变。同时,各家各户秸秆还田数量、施肥状况的差异也较大,因此变程较小。表 2 中 C₀/(C+C₀) 表示由随机因素

所引起的异质性占总的空间异质性的程度。有机质、全氮和水解氮的值分别为0.931、0.839、0.866,均大于75%,说明它们具有弱的空间相关性,空间变异主要受随机性因素的影响。有效磷、速效钾和缓效钾的 $C_0/(C+C_0)$ 分别为0.663、0.666、0.729,在25%~75%之间,表明它们具有中等程度的

空间相关性。空间变异受结构因素和随机因素的共同影响。结构性因素主要包括气候、母质、地形和土壤结构等因素,而随机因素则主要是人为的一些因素,包括土地利用方式、人为耕作管理措施等。可见,研究区域受随机因素的影响较大。

表 2 土壤养分的方向性半变异函数模型及其结构参数

项目	理论模型	$a//m$	C_0	C_0+C	块基比 $C_0/(C_0+C)$	R^2	残差
有机质	高斯模型	294.4	0.029	0.418	0.931	0.993	1.670E-03
全氮	球状模型	393.0	0.147	0.911	0.839	0.967	0.021
水解氮	指数模型	228.0	53.000	396.000	0.866	0.945	9 345.000
有效磷	高斯模型	732.7	0.163	0.484	0.663	0.798	3.006E-03
速效钾	球状模型	103.0	0.033	0.099	0.666	0.928	5.612E-04
缓效钾	球状模型	118.0	1 720.000	6 342.000	0.729	0.783	1.07E+07

2.3 尧都区土壤养分含量的空间分布特征 根据各个土壤养分拟合好的半方差函数模型,利用 GIS 软件地统计模块下的克里格插值,绘制各个土壤养分指标的空间分布图。各个养分指标的正态分布或对数正态分布保证了克里格插值的有效性。

图 2 中的养分分级标准采用中国第 2 次土壤普查土壤养分等级分级标准。从图 2 可以看出,研究区内土壤有机质含量呈自西向东阶梯状分布,其整体水平在 2~6 级土类之间,并且能达到 2 级土类的地块相当少,可见尧都区有机质含量仅为中等水平。有机质的含量主要受土壤母质、土地利用方式、人为耕作管理措施等因素的影响。首先,土壤质地与土壤有机质含量密切相关。如果土壤质地较重,且多为中壤或轻壤,则利于有机质的积累。由尧都区土壤类型图可

知,有机质含量高的地区的土壤类型是耕种红黄土质山地褐土;含量中等的地区是中壤或轻壤碳酸盐褐土;含量低的地区则是广有砂壤分布,不利于有机质的积累。其次,作为市郊农业的尧都区,部分已经城市化了,消纳了大量的城市粪便、垃圾和生活污水,致使该区的有机质含量较高。例如,汾河两岸地区质地主要是草甸土。汾河还是尧都区的主要排污河道,接纳了附近工厂、生活的污水,所以两岸灌区有机质含量较高。最后,人为耕作管理措施是影响土壤有机质含量的另一个重要因素。自 20 世纪 80 年代以来,农村普遍实行家庭联产承包责任制,有机肥的施用量逐年增长,但是由于不同地区土壤保肥能力的差异,不同地区有机质含量也存在差异。另外,农民的施肥习惯的不同也造成同类土壤有机质含量的差异。

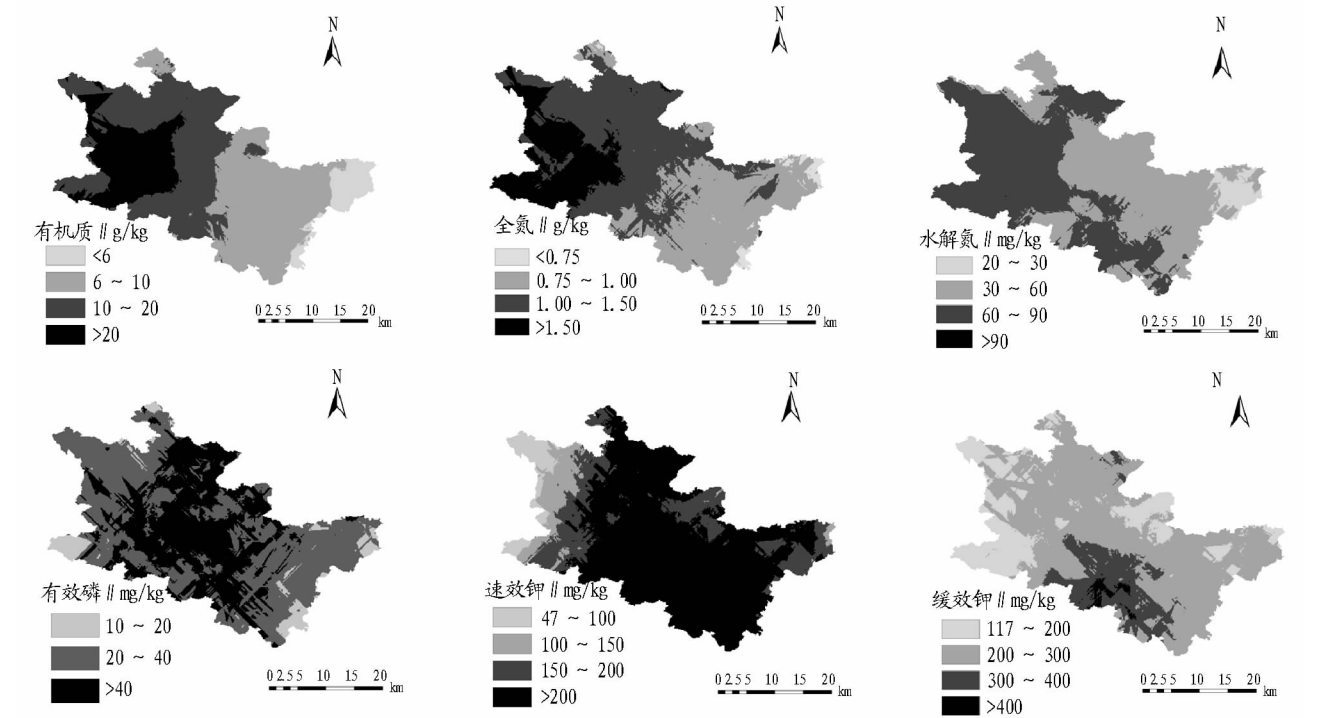


图 2 土壤肥力指标空间分布

有效磷的分布由中心向四周降低,但中心呈现破碎的散块。这反映了土地利用方式、施肥等人为因素对土壤速效磷

含量的影响。速效磷的整体含量很高,土壤等级为 1~3 级。尧都区大部分农田以磷肥为底肥。这可能是尧都区农田土壤速效磷含量整体水平高的主要原因。

中部汾河流域速效钾含量较高,东北、西北 2 个端点处较低。汾河流域的速效钾含量分布与有机质含量分布相同。这里土壤质地较重,有利于胶体对 K^+ 的吸附。但是,两端的速效钾含量分布相反。可见,施肥等人造的随机性因素起很大作用。其土壤等级水平为 1~4 级,而且 1 级土占大部分,整体水平很高。

缓效钾的分布呈以汾河南部为中心的扩散状,含量高的地区恰恰是本地草甸土、水稻土的分布区。土壤等级为 2~5 级。

水解氮和全氮的分布都是自西向东递减,与有机质分布极其相似。土壤氮素的消长取决于气候、植被、耕作制度等因素。其中,土壤有机质的积累与分解直接影响氮素在土壤中的存贮和转化,对土壤中的氮素含量起着主导作用。其他对氮素的影响因素也是通过影响土壤中的有机质的积累和分解起作用的。因此,研究区内有机质含量的减少,是引起氮素含量减少的主要原因之一。虽然通过施用肥料来补充土壤中的氮素,但是氮素在土壤中具有易移动的特点,易造成流失和淋溶,尤其是丘陵地区,在地表径流作用下,更易造成氮素的大量流失和淋溶。例如,尧都区东端地区广泛分布着丘陵地貌,其全氮、水解氮含量均较低。就土壤等级而言,水解氮等级分布为 3~6 级,3 级土仅以极细小的斑点分布,整体水平很低。全氮等级分布为 1~5 级,以 2、3 级土为主,整体水平中等。

3 结论与讨论

大多数研究表明,土壤有效磷的空间变异系数比其他指标大,属于中等或强变异程度,表明人为耕作管理措施的差异是其空间变异的主要因素^[31]。这与该研究结果一致。研究表明,土壤有机质、全氮、水解氮、速效磷、速效钾和缓效钾属于中等变异强度;速效磷的变异系数最大,明显大于其他肥力指标,属于中等偏强的变异强度。由于各个土壤养分指标存在最大值和最小值的明显差异,农户在施肥时要注意不同地区的本底差异。

就空间自相关来看,有效磷含量一般具有中等或较弱的空间自相关,有机质、全氮、水解氮、有效钾含量具有中等的空间自相关^[7,11-12,22,25]。这与该研究结果不太相同。该研究表明,有机质和全氮也表现出弱的空间自相关。这体现出人为因素,在该研究区表现得尤为突出。研究区域属于城郊农业区,人为因素的影响较明显,主要体现在土地利用方式、耕作强度、施肥水平等。另外,土壤常年的反复耕作使得有机质、全氮、水解氮含量的总体水平相对较低,从侧面反映城郊农业区土壤利用的现状和土壤改良的重要性。

有机质、全氮、水解氮的整体土壤等级偏低,在整个研究区域都需要增加有机质和氮素的使用量。有效磷、速效钾、缓效钾的整体土壤等级较高,可以维持现有的施肥计划。从

各营养要素的分布情况来看,土壤中有机质、全氮和水解氮含量主要是由西向东逐渐降低,有效磷、速效钾的分布是中心高四周低,有效磷中心呈破碎的散块,速效钾则是以汾河南部为中心的扩散状。农户在土壤培肥时就应该根据不同地区的养分状况,着重对养分含量低的区域加大肥料使用量。

参考文献

- [1] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, 292: 2320 - 2322.
- [2] 李文芳, 杨世俊, 文池夫. 土壤有机质的环境效应 [J]. *环境科学动态*, 2004(4): 31 - 33.
- [3] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例 [J]. *地理学报*, 1999, 54(3): 241 - 246.
- [4] 孔祥斌, 张凤荣, 齐伟, 等. 集约化农区土地利用变化对土壤养分的影响 [J]. *地理学报*, 2003, 58(3): 334 - 342.
- [5] 傅伯杰, 郭旭东, 陈利顶, 等. 土地利用变化与土壤养分的变化——以河北遵化县为例 [J]. *生态学报*, 2001, 21(6): 927 - 931.
- [6] 秦明周, 陈云增. 快速城市化地区土地利用及其对土壤质量的影响——以广州市为例 [J]. *农业现代化研究*, 2001, 22(2): 120 - 124.
- [7] 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.
- [8] FU B J, MA K M, ZHOU H F, et al. The effect of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the Loess Plateau, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44: 732 - 736.
- [9] FRANZEN D W, HOFMAN V L, HALVORSON A D, et al. Sampling for site-specific farming: To pography and nutrient considerations [J]. *Better Crops*, 1996, 80(3): 14 - 18.
- [10] 何文寿. 宁夏农田土壤耕层养分含量的时空变化特征 [J]. *土壤通报*, 2004, 35(6): 170 - 174.
- [11] 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 [J]. *生态学报*, 2003, 23(11): 2210 - 2218.
- [12] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究 [J]. *土壤学报*, 2003, 40(1): 79 - 88.
- [13] 白由路, 金继运, 杨俐苹, 等. 农田土壤养分变异与施肥推荐 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(2): 129 - 133.
- [14] 高义民, 同延安, 胡正义, 等. 黄土区村级农田土壤养分空间变异特征研究 [J]. *土壤通报*, 2006, 37(1): 1 - 6.
- [15] 金海龙, 白祥, 满中龙, 等. 新疆艾比湖湿地自然保护区土壤空间异质性研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(2): 150 - 157.
- [16] 刘文杰, 苏永中, 杨荣, 等. 黑河中游绿洲农田土壤速效养分的时空变化特征 [J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(11): 129 - 134.
- [17] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 干旱区绿洲土壤盐分空间异质性及人为驱动力分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 26(3): 111 - 115.
- [18] HILLEL D. Research in soil physics: a review [J]. *Soil Sci*, 1991, 151: 30 - 34.
- [19] WARRICK AVM, NIELSEN D R. Spatial variability of Soil Physics. Application of soil physics [M]. Hillel D. New York: Academic Press, 1980: 319 - 344.
- [20] 史海滨, 陈亚新. 土壤水分空间变异的套合结构模型及区域信息估值 [J]. *水利学报*, 1994(7): 70 - 77.
- [21] RUSSO D A. Geostatistical approach to solute transport in heterogeneous fields and its applications to salinity management [J]. *Water Resour Res*, 1984, 20(9): 1260 - 1270.
- [22] 胡克林, 李保国, 林启美. 农田土壤养分的空间变异性特征 [J]. *农业工程学报*, 1999, 15(3): 33 - 38.
- [23] 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 - 566.
- [24] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间分布格局——Kriging 插值分析 [J]. *地理研究*, 2003, 22(3): 373 - 379.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.