

县级区域粮田土壤养分空间变异特征评价研究

崔振岭¹,曹 宁²,陈新平¹,张福锁¹,徐久飞³,石立委³,李俊良³

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100094;2. 吉林大学 植物科学学院,吉林 长春 130062;

3. 青岛农业大学 资源与环境学院,山东 青岛 266109)

摘要:为了进一步了解县级区域粮田土壤养分的时空变异特征,以山东省惠民县为例,研究了20年来惠民县农业土壤养分循环、平衡与时空变异特征的关系。结果表明,自1985年以来,惠民县农业土壤氮磷过量盈余,而钾基本持平。惠民县土壤养分空间变异特征可以分为3类:土壤速效钾空间变异符合典型的指数模型,最大自相关距离为16.6 km;土壤全氮空间变异随空间间距的增大而增大,有一定的空间分布规律性;土壤速效磷空间变异与间距无关,存在纯块金效应。与20年前土壤养分空间变异特征相比,土壤全氮和速效钾的养分空间分布规律变化不大,而土壤速效磷的空间分布规律变化较大。土壤养分时空变异特征与土壤养分循环趋势相一致,说明土壤养分循环与平衡是影响区域土壤养分空间变异发生变化的主要因素。

关键词:养分平衡;时空变异;地统计学;Kriging 插值;GIS

中图分类号:S14 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2008)增刊-0319-06

Study on Evaluation of Spatial Variability of Soil Nutrient on the Grain Crop Region of County

CUI Zhen-ling¹, CAO Ning², CHEN Xin-ping¹, ZHANG Fu-suo¹,
XU Jiu-fei³, SHI Li-wei³, LI Jun-liang³

(1. College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University,

Beijing 100094, China; 2. College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062, China;

3. College of Resource and Environmental Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: This paper took Huimin county for example analysis soil nutrient balance and spatial-temporal variability for more understanding spatial-temporal variability of soil nutrient on the grain crop region of county. The results showed that, nitrogen and phosphorus in soil were superabundant, and potassium balanced from 1985. There were three types of spatial variability of soil nutrient in Huimin county: The spatial variability of exchangeable K was best described by exponential model, and the maximum correlative distance was 16.6 km. The spatial variability of total N increased with increasing spatial distance. To some extent, there was tendency of them in spatial distribution. The spatial variability of Olsen-P had no relation with spatial distance inside the sampling distance. Compared with spatial distribution of soil nutrient in 1984, a litter differences were observed to spatial distribution of total N and exchangeable K, and a large differences were observed to spatial distribution of Olsen-P. The character of spatial-temporal variability of soil nutrient was similar to soil nutrient balance. It indicated soil nutrient balance was important factor to result in the difference of spatial-temporal variability of soil nutrient.

Key words: Nutrient balance; Spatial-temporal variability; Geostatistics; Kriging interpolation; GIS

20世纪80年代全国第二次土壤普查对当时土壤养分状况和空间变异情况有了全面系统的认识,促进了我国平衡施肥理念的深入发展^[1]。然而,20

年过去了,养分投入水平的不断加大和不同养分收支平衡的差异使我国土壤养分状况和空间变异情况发生了很大的变化^[2]。黄绍文等^[3,4]认为对土壤

收稿日期:2008-7-30

基金项目:国家自然科学基金(30700478);“十一五”科技支撑计划(2006BAD10B03;2006BAD10B08)

作者简介:崔振岭(1978-),男,山东东营人,博士,副教授,主要从事养分资源管理研究。

通讯作者:陈新平(1968-),男,安徽宣城人,博士,教授,主要从事养分资源管理研究。

特性(物理、化学及生物性质)尤其是土壤养分空间变异的充分了解,是管理好土壤养分和合理施肥的基础,缺乏对目前土壤养分状况和变异情况全面系统的认识是限制我国平衡施肥技术发展的主要因素。

地统计学中半方差分析和 Kriging 插值在研究土壤养分空间变异中取得的巨大成功,为区域养分空间变异研究与评价提供了很好的平台和研究手段^[5,6]。有关土壤养分空间变异的地统计学研究已有很多详细的报道,如有关土壤养分的变程^[7,8],块金效应和相关程度^[9]、变异系数等^[10]。但是由于地统计学通常要求均匀取样,费时费力,给大区域范围的地统计学研究带来一定的困难,所以以往大多数有关土壤养分的空间变异研究仅限于相对小的空间尺度。近年来,土壤科学家已开始关注大区域范围内土壤特性的评价,如 Goovaerts 等^[11]研究了苏格兰高地不同尺度土壤表层中铜和钴的空间分布; Yi-Ju Chien 等^[12]研究了台湾中西部土壤养分的空间变化; White 等^[13]分析了美国土壤全 Zn 含量的空间变异,并绘制了土壤全 Zn 含量的等值线图。郭旭东等^[8,14]研究河北省遵化市土壤养分空间变异特征并进行了空间插值;黄绍文等^[4,15]研究黄淮海平原玉田县土壤养分空间变异性;林启美等^[16]对北京昌平区南邵乡土壤养分空间变异进行了定量分析。但大部分工作仅关注土壤养分自身空间变异特征,没有结合土壤养分资源特征、养分收支平衡和养分时空变异等因素对大尺度上土壤养分时空变异特征进行综合评价。惠民县地处黄河下游冲积平原,作为华北平原的典型农业大县,其研究具有一定的代表性。本研究通过惠民县历年农业土壤养分收支平衡,养分时空变异和分布对惠民县土壤养分资源特征进行了综合评价,以期对县级区域尺度土壤养分资源特征评价提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究地区基本情况

惠民县位于山东省西北部黄河下游北岸,地理位置为北纬 37°6′~37°36′,东经 117°16′~117°49′,平均海拔 12.8 m,地面坡度六分之一,无霜期 182 d,平均气温 12.3℃,平均降水量 578 mm(近 30 年平均)。全县总面积 1 357 km²,耕地面积 735 km²,黄河延县境南沿东去,向北依次有徒骇河、沙河横贯全境,构成由西南向东北纬度倾斜的平坦地势。土壤以壤质和沙质潮土为主,主要种植小麦、玉米、棉花、花生、蔬菜等作物。

1.2 研究区域农业土壤养分投入产出平衡

根据 1985 - 2002 年惠民县统计年鉴计算氮磷钾养分的投入产出平衡,养分平衡与当年耕地面积之比作为单位面积农业土壤养分平衡,投入产出之比作为当年的养分平衡指数。养分产出主要包括收获农作物的养分带走量,参考张瑞清^[2]主要农作物形成 1 t 经济产品养分需求量计算,其中蔬菜养分含量取蔬菜平均值,水果以苹果为代表,其他农作物以实际作物计算。作物根茬不计入产出也不计入投入。投入项主要包括化肥施用量,有机肥粪肥,秸秆还田,饼肥和灰分还田。化肥中氮肥、磷肥和钾肥以单质纯量计算,复合肥中 N、P、K 比例参照李庆逵^[17]历年复混肥中养分含量参数。有机粪肥主要考虑人、大牲畜、猪、羊、家禽排泄物的养分含量和收集利用率来计算养分输入系数,其中家禽数量用禽兔肉量和禽蛋量换算,然后计算出总排泄量,再参考养分输入系数计算折纯量^[2]。秸秆还田养分量主要考虑秸秆养分含量和还田百分比计算;饼肥还田养分量主要考虑棉籽饼,用棉籽的出饼率和饼肥养分含量及还田百分比计算;灰分还田养分量用秸秆燃烧百分比、出灰率、灰分中养分含量及还田百分比计算^[2]。

1.3 土壤样品的采集和数据分析

利用 GIS 将惠民县划分为 107 个均匀的网格,利用 GPS 在网格中点采集 0~30 cm 土壤样品,若网格中点为非粮田耕地,则在其附近粮田采集土壤样品,并记录该点的地理坐标,每点按 10 m 直径圆在圆心和周边采集 8~12 个土壤样品,混合为 1 个基础土样。本研究共采集混合土样 111 个(图 1-A),取样时间为 2004 年 6 - 7 月。土样充分混匀后风干,半微量开氏法(浓硫酸 - 加速剂联合消煮,开氏蒸馏定氮)测定土壤全氮;0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提 - 钼锑抗吸光度法测定土壤速效磷;1 mol/L NH₄Ac 浸提 - 火焰光度法测定土壤交换性钾。

1.4 数据的处理

本研究通过地统计学软件(GS + Geostatistics for the environmental sciences)对土壤全氮、速效磷和交换性钾进行了半方差分析,并计算了半方差变异函数和模型^[3]。样点数是 111,步长为 4.18 km,即 0, 4.18, 8.36, ..., 41.8 km,相对应的距离组为 0~2.09 km, 2.09~6.27 km, ...。由于 0~2.09 km 范围点对数极少,实际计算从 4.18 km 开始,变异函数理论模型的检验用决定系数的 F 检验。依据半方差变异函数和模型,利用克里格插值^[3]将 2004 年土壤养分数据插值为土壤养分分区图。同时,利用 Arcview3.2 将第二次土壤普查的土壤全氮、速效磷和土壤类型图(图 1-B)进行数字化,形成数字地图。

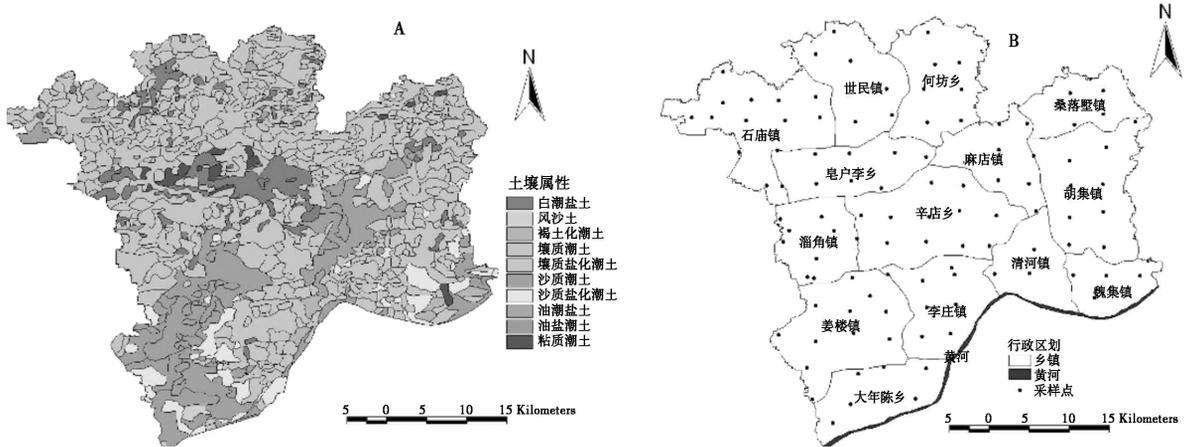


图1 惠民县土壤类型图及土壤采样点分布示意图

Fig. 1 The map of soil type and sampling soil distribution of Huimin county

2 结果与分析

2.1 惠民县养分投入产出平衡变化

惠民县农业土壤养分投入产出平衡总体情况为氮磷过量盈余而钾基本持平,15年内共盈余氮素 2 019 kg/hm²,磷素 1 128 kg/hm²,钾素 14 kg/hm²。但不同元素的变化规律不同,氮素持续盈余,到2002年氮平衡指数为 3.61,单位盈余量为 325

kg/hm²,这主要是氮肥用量不断增加造成的;磷盈余先升高后降低,1996年磷盈余达到最高点,其平衡指数为 4.24,单位盈余量为 138 kg/hm²,2002年磷平衡指数为 3,单位盈余量为 91 kg/hm²,主要是近年来磷肥用量有所减少造成的;钾则表现为先亏缺后盈余,从1992年开始出现盈余趋势,但总体增加不大,到2002年钾平衡指数仅为 1.25,单位盈余量仅为 28 kg/hm²(图2)。

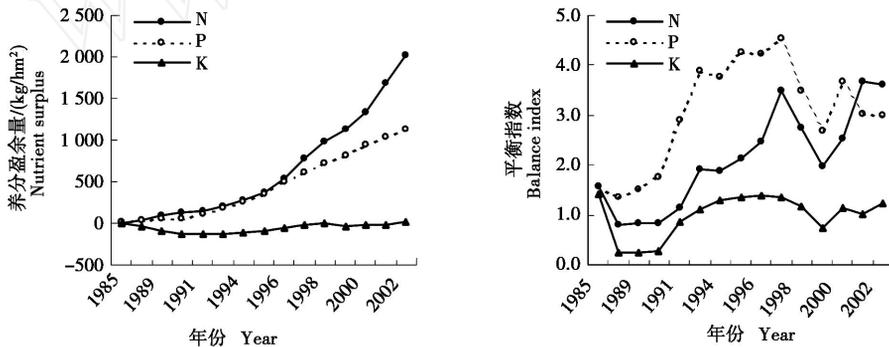


图2 惠民县历年土壤养分平衡状况(1986,1987和1993年由于数据缺失)

Fig. 2 The status of soil nutrient balance of Huimin county

2.2 粮田土壤当前养分各要素的统计变异及空间变异分析

表1结果可以看出,惠民县表层土壤全氮含量最高为 1.16 g/kg,最低为 0.40 g/kg,平均值为 0.77 g/kg,属于中等水平;土壤的速效磷和交换性钾的平

均值分别为 28.1 和 110 mg/kg,在 6.25 ~ 49.3 mg/kg和 60 ~ 203 mg/kg 之间波动,属于中等偏上水平。不同养分的变异程度差异较大,土壤速效磷的变异系数最大,速效钾次之,而全氮变异系数最小。

表1 粮田土壤化学性质统计特征值

Tab. 1 Statistical feature values of soil chemical properties in the grain crop region

项目 Item	最大值 Max.	最小值 Min.	中数 Median	均值 Mean	标准差 S. D.	变异系数/ C. V. %
全氮/(g/kg) Total N	1.16	0.40	0.77	0.77	0.13	17.0
速效磷/(mg/kg) Olsen P	49.3	6.25	18.1	19.7	7.63	38.7
速效钾/(mg/kg) Exchangeable K	203	59.7	111	110	28.1	25.5

根据土壤养分空间变异函数可以将惠民县土壤养分空间变异分为3种类型:表层土壤全氮含量的空间变异随间距增大而增大,且设有顶值。说明在 42 km 的间距内,采样点的测定值是空间相关的,符合指数模型。土壤速效磷的空间变异与间距无

关,也就是说存在块金效应,说明在最小取样间距内(4 km)各测定值在空间上是独立的。速效钾空间变异在一定间距内随间距的增大而增大,达到一定值后空间变异趋于稳定,其空间变异符合显著的指数模型,其决定系数为 0.960,其变异函数模型曲线

变化较为平稳(图3)。

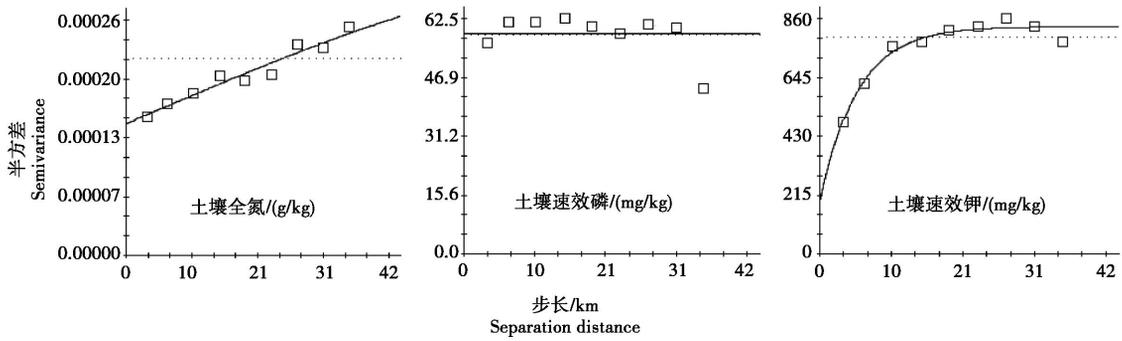


图3 土壤全氮、速效磷和速效钾的理论模型及半方差图

Fig. 3 The theory models and semi variance of soil total N, Olsen-P and exchangeable K

2.3 20世纪80年代土壤养分空间分布与当前土壤养分空间分布比较

与20世纪80年代土壤养分相比,2004年惠民县表层土壤全氮和速效磷含量有不同程度的提高,而有效钾含量变化不大(图4,5)。2004年表层土壤全氮、速效磷和交换性钾含量主要集中在0.6~0.9 g/kg、15~20 mg/kg和100~140 mg/kg,而1984年表层土壤全氮和速效磷含量主要集中在0.5~0.6 g/kg、5~10 mg/kg和100~150 mg/kg。80年代,惠民县土壤全氮含量北部地区明显高于南部,以正北和西北部最高,正南和东南最低,总体变异以大块变

异为主,具有较强的空间分布规律性;土壤速效磷钾也表现为与土壤全氮相似的规律,北部地区明显高于南部地区,但规律性没有土壤全氮变化明显。这与惠民的土壤属性密切相关,即壤质潮土土壤养分含量明显高于沙质潮土。20年过去了,土壤全氮和速效钾的空间分布变化不大,仍表现出北部明显高于南部,而土壤速效磷土壤速效磷含量的空间分布的地理规律性不明显,但大部分土壤速效磷含量分布在15~25 mg/kg,这说明在高强度农业管理条件下,土壤养分不仅受到土壤类型等自然因素的影响,同样也收到人类活动等随机因素的影响。

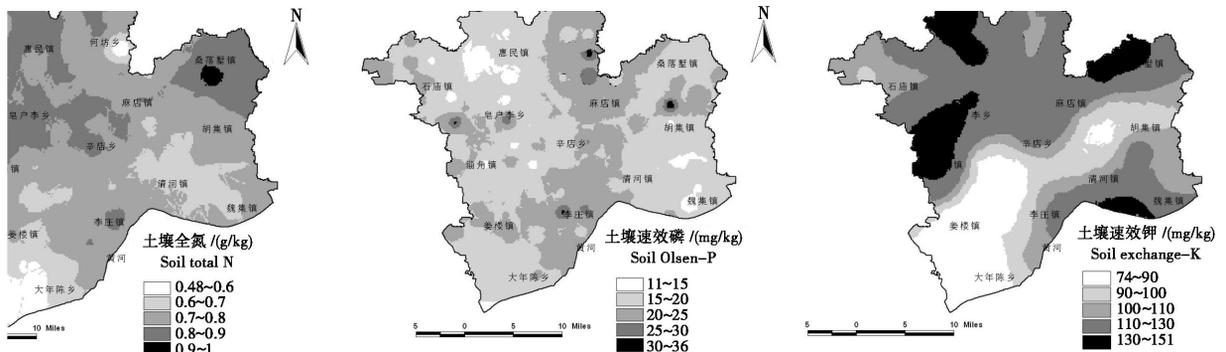


图4 2004年惠民县土壤全氮、速效磷钾含量分布图

Fig. 4 Spatial distribution of oil total N, Olsen-P and exchangeable K in Huimin County in 2004

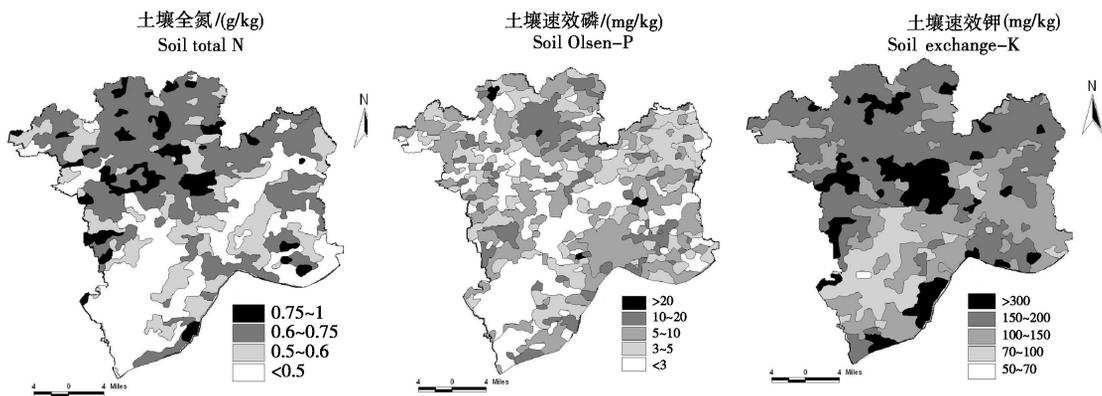


图5 1984年惠民县土壤全氮、速效磷钾含量分布图

Fig. 5 Spatial distribution of soil nutrient and OM content in 1984

3 讨论与结论

土壤养分作为一项生命资源,是历史演变的产物,受生物自然过程和人类社会经济过程复合影响而存在明显的时空变异性, Parkin^[18]认为土壤养分作为在时间和空间上的连续体,它的变异是许多因素相互作用的结果,具有尺度上的相关性。Berndtson 等^[19]研究认为,成土母质、地形等因素的作用使得土壤养分具有空间关联性,这种空间关联性的强弱受气候、降雨等自然因素和农业管理等人为措施的影响。

关于成土母质^[20,21]、地形^[22-28]和气候条件等^[29,30]对土壤养分空间变异的影响已被很多研究所证明。但在特定区域内,气候、地形等条件比较一致,经过长期比较一致的种植和管理后,土壤特性养分空间变异将趋于缓和,即由于母质差异等引起的空间变异逐渐减小,人为管理等引起的空间变异逐渐增大^[30]。这一点在惠民县土壤钾的空间变异已经体现出来,受土壤钾素收支基本平衡的影响,20年来土壤速效钾含量变化不大,2004年土壤钾测试值中极值比例减少,均值比例增加,且多以大块变异为主。土壤速效磷受随机施肥因素影响较大,不仅养分含量明显增加,而且空间变异特征也发生了明显变化。李红伟等^[31]和王宏庭等^[32]也认为受农业活动影响较大的土壤养分元素,如土壤速效磷、无机氮等养分元素的空间变异特征受随机施肥过程影响明显,而受农业活动影响较小的土壤养分元素,如土壤有机质、速效钾等养分元素的空间变异特征较少受随机施肥过程的影响。齐伟等^[33]对河北省曲周县近20年的土壤氮、磷、钾变化趋势和时空分布发现土壤养分平衡与区域土壤养分空间变异特征相一致。

一定区域内土壤养分空间变异特征受土壤养分收支平衡和农业活动的共同影响而表现出明显的空间变异特征。土壤养分收支平衡是引起土壤养分空间变异特征发生变化的主要因素,若养分盈余,则土壤养分含量上升,反之则土壤养分含量持平或下降;受农业活动影响较大的土壤养分元素的空间变异特征受随机施肥过程影响明显,其空间关联性变弱,而受农业活动影响较小的土壤养分元素的空间变异特征较少受随机施肥过程的影响。

经过20年的土壤培肥,惠民土壤氮磷含量明显增加,土壤速效磷的空间变异特征也发生了明显改变;土壤钾素含量基本持平,其空间变异特征较少受到农业活动的影响。

参考文献:

- [1] 席承藩,章士炎. 全国土壤普查科研项目成果简介[J]. 土壤学报,1994,31(3): 330 - 335.
- [2] 张瑞清. 我国农田生态系统的养分平衡[D]. 莱阳:莱阳农学院,2002:19 - 102.
- [3] 黄绍文,金继运. 土壤特性空间变异研究进展[J]. 土壤肥料,2002(1): 8 - 14.
- [4] 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.
- [5] Mallarino A P. Patterns of spatial variability for phosphorus and potassium in no-tilled soil for two sampling scales[J]. Soil Sci Am J,1996,60: 1473 - 1481.
- [6] Ahn C W, Baumgardner M F, Biehill. Delineation of soil variability using geostatistics and fuzzy clustering analyses of hyperspectral data[J]. Soil Sci Am J,1999,63: 142 - 150.
- [7] Fisher E, Thornton B, Hudson G. The variability in total and extractable soil phosphorus under a grazed pasture[J]. Plant and Soil,1998,203: 249 - 255.
- [8] 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.
- [9] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils [J]. Soil Sci Am J,1994,58: 1501 - 1511.
- [10] Trangmar B B, Yost R S, Wade M K. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land[J]. Soil Sci Am J,1987,51: 668 - 674.
- [11] Govaerts P, Webster R. Scale-dependent correlation between topsoil copper and cobalt concentrations in Scotland [J]. Euro J Soil Sci,1994,45: 79 - 95.
- [12] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils [J]. Soil Sci,1997,162(4): 291 - 298.
- [13] White J G, Welch R M, Norve W A. Soil Zn map of the USA using geostatistics and geographic information systems [J]. Soil Sci Am J,1997,61: 185 - 194.
- [14] 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.
- [15] 黄绍文,金继运,杨俐苹,等. 县级区域粮田土壤养分的空间变异性 [J]. 土壤通报,2002,33(3): 188 - 193.
- [16] 林启美,秦耀东,李保国,等. 大比例尺区域土壤养分空间变异定量分析 [J]. 华北农学报,1998,13(1): 122 - 128.
- [17] 李庆远. 我们肥料结构和肥效的演变、存在问题及对策[M] // 李庆远,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌:江西农业科学技术出版社,1998.
- [18] Parkin T B. Spatial variability of microbial process in soil: a

- review [J]. *Environ Qual*, 1993, 22: 409 - 417.
- [19] Berndtsson R, Bahri A, Jinno K. Spatial dependence of geochemical elements in a semiarid agricultural field: II. Geostatistical Properties [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57: 1323 - 1329.
- [20] Wild A. The potassium status of soils in the savanna zone of Nigeria [J]. *Expl Agric*, 1971, 7: 257 - 270.
- [21] Tening A S, Omueti J I. Potassium status of some selected soils under different land use systems in the subhumid zone of Nigeria [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1995, 26 (5, 6): 657 - 672.
- [22] Ovalles F A, Collins M E. Soil landscape relationships and soil variability in north central Florida [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1986, 50: 401 - 408.
- [23] Miller P M, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1988, 52: 1133 - 1141.
- [24] Bhatti A U, Mulla D J, Frasier B E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images [J]. *Remote Sens Environ*, 1991, 37: 181 - 191.
- [25] Mulla D J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield [C]// Robert P C, Rust R H, Larson W E. *Soil Specific Crop Management*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 1993: 15 - 26.
- [26] Stolt M H, Baker J C, Simpson T W. Soil landscape relationships in Vitgina: I. Soil variability and parent material uniformity [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57: 414 - 421.
- [27] Franzen D W, Cihacek L J, Hofman V L. Variability of soil nitrate and phosphate under different landscapes [C]// Robert P C. *Proceedings of the 3th International Conference on Precision Agriculture*. Minneapolis, Minnesota, ASA, CSSA, SSSA, 1996: 521 - 529.
- [28] Alexandra N K, Donald G B. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties [J]. *Agron J*, 2000, 92(1): 75 - 83.
- [29] Sadler E J, Bauer P J, Busscher W J, *et al.* Site-specific analysis of a drought corn crop: II. water use and stress [J]. *Agron J*, 2000, 92(3): 403 - 409.
- [30] Itaru O, Masanni O, Takusei H. Spatial and temporal variations in the chemical weathering of Basaltic Pyroclastic materials [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, 59: 887 - 894.
- [31] 李红伟, 邢维芹, 李立平. 不同尺度土壤性质空间变异研究进展 [J]. *河南农业科学*, 2006(11): 5 - 8.
- [32] 王宏庭, 金继运, 王 斌. 土壤速效养分空间变异研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(4): 349 - 354.
- [33] 齐 伟, 徐 艳, 张凤荣. 黄淮海平原农区县域土壤养分平衡评价及其应用 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 238 - 243.