大别山区江子河流域土壤有机质的空间变异及其影响因素*

韩 丹[1,2] 程先富[1,2†] 谢金红[1] 邓 良[1]

(1 安徽师范大学国土资源与旅游学院,安徽芜湖 241003)

(2 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室,安徽芜湖 241003)

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ORGANIC MATTER IN JIANGZIHE WATERSHED OF DABIE MOUNTAINOUS AREA AND ITS INFLUENCING FACTORS

Han Dan[1,2] Cheng Xianfu[1,2†] Xie Jinhong[1] Deng Liang[1]

(1 *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241003, *China*)

(2 *Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui* 241003, *China*)

关键词 土壤有机质;空间变异;地统计学;地形因子

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

土壤有机质(Soil organic matter, SOM)是土壤的重要组成部分,是反映土壤肥力的重要指标,是全球碳循环的重要源和汇,目前已成为土壤学和环境学的研究热点之一[1]。土壤空间异质性是系统的某种属性在空间上的复杂性和变异性,是土壤重要的属性之一[2-6]。土壤有机质的空间分布具有空间变异性。土壤有机质的空间变异既是母质、生物、气候、时间和地形等五大自然成土因素综合作用的结果[7],又受人为因素如施肥、耕作措施、种植制度等影响[8-10]。它对土壤结构、养分水分的吸收利用和作物产量有重要的影响,在土壤肥力、环境保护、农业可持续发展等方面均有重要的作用和意义[11]。掌握土壤有机质的空间分布规律,可为土壤分析取样和农田养分精准管理提供合理的依据,揭示土壤有机质的空间变异规律及掌握其影响因子是实现土壤可持续利用和区域可持续发展的前提。关于土壤有机质空间变异性的研究是从 20 世纪 70 ~ 80 年代开始的[12-14]。研究表明,不论在大尺度上还是在小尺度上观测,土壤空间变异性均存在[15]。近年来,国内外学者对土壤有机质的空间变异性进行了深入的研究[16],其中在农田尺度上利用地统计学分析土壤有机质空间变异性一直是研究热点[11]。但已有的研究大都集中在平原区或丘陵区[17],而对山区小流域土壤有机质空间变异性及其影响因素进行研究分析的不多。本文以安徽大别山区霍山县江子河流域作为研究对象,运用 GIS 和地统计学方法,研究其土壤有机质的空间分布特征,分析土壤有机质的影响因素,为实现土壤肥力评价和养分资源精准管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江子河流域位于安徽省大别山区霍山县上土市镇,地处江淮分水岭,与湖北省英山县接壤,距霍山县城关 70 km。小流域总面积为 11.65 km^2,属北亚热带温湿季风区,年均太阳总辐射为 116.6 kcal cm^{-2},日照 2 084 h,年均气温 15℃,无霜期平均为 220 d,常年平均降雨量为 1 400 mm。境内群山环抱、沟壑纵横,雨量充沛,气候宜人,植被覆盖率达到 41%。地貌特征为“七山一水一分田,一分道路和庄园”。土壤类型主要为黄棕壤,少部分水

* 安徽省自然科学基金项目(090415212)、安徽高校省级自然科学研究重点项目(KJ2011A143)资助

† 通讯作者:程先富,教授,主要从事土壤资源与信息技术的研究与教学工作。E-mail: xianfucheng@sina.com

作者简介:韩 丹(1985—),女,硕士研究生,主要从事土壤资源与信息技术的研究。E-mail: hy6427@mail.ahnu.edu.cn

收稿日期:2011 - 02 - 19;收到修改稿日期:2011 - 05 - 30

稻土和石质初育土。海拔高度为 300 ~ 1 200 m,坡度变化范围为 0° ~ 70°。

1.2 样品采集与室内分析

在广泛收集相关资料的基础上,结合区域地形条件、植被类型和土地利用方式等因素在比例尺为 1∶10 000 地图上选择代表性地块进行布点,于 2009 年 11 月采用混合采样法采集 0 ~ 20 cm 土壤表层样品 111 个,用布袋封装,同时采用 GPS 精确定位。采样点分布如图 1 所示。

样品经自然风干后,挑拣出参杂的植物根系和残体杂物,然后进行碾磨,磨碎后过 10 目(2 mm)尼龙筛,再用四分法分别取部分,碾磨后过 60 目(0.25 mm)尼龙筛,装入封口袋中,以备化验分析使用。有机质的测定采用重铬酸钾氧化—外加热法。

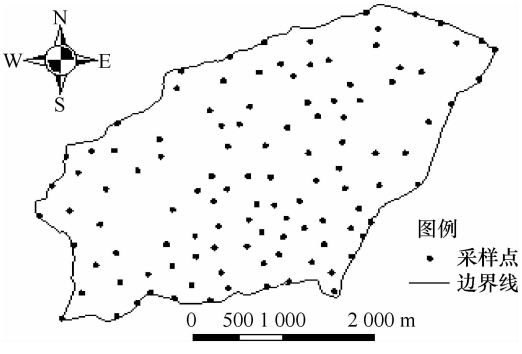

图 1 江子河流域采样点分布图

1.3 数据处理

由于特异值的存在会造成变量连续表面的中断,使得实验半方差函数发生畸变,甚至会掩盖变量固有的空间结构特征[18-20],因此采用域法识别特异值[21],对样本的各个有机质数据进行异常值处理。本文采用 SPSS17.0 进行描述性统计,同时使用非参数检验中的单样本 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 检验分析数据是否符合正态分布;地统计学分析采用 GS$^+$9.0 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质含量的一般统计特征

研究区土壤有机质含量在 3.30 ~ 63.16 g kg^{-1} 之间,平均值为 35.14 g kg^{-1}。中位数(33.12 g kg^{-1})与平均值接近,峰度为 2.42,偏度为 0.22。标准差和变异系数分别为 13.46 和 38.30%,土壤有机质含量的空间分布属于中等变异。经检验,样点有机质含量呈近似正态分布,满足地统计学分析的基本要求。

2.2 土壤有机质的空间变异性

2.2.1 土壤有机质变异的各向同性 经 GS$^+$9.0 软件拟合得土壤有机质的各向同性半方差函数图(图 2)。

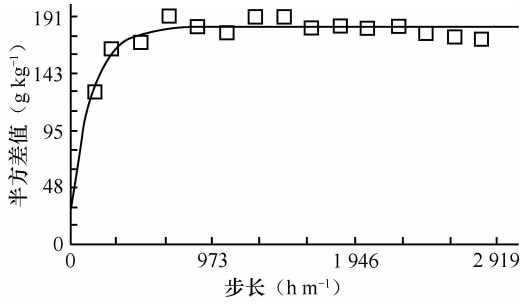

图 2 江子河流域土壤有机质的各向同性半方差函数

江子河小流域土壤有机质的最佳理论模型为指数模型,其块金值为 37.8,基台值为 181.3,$C_0/(C_0+C)$ 比值为 20.85%,决定系数为 0.847,表明研究区域具有较强的空间自相关格局,有机质的变异主要是受结构性因素影响,随机因素带来的影响较小。从图 2 可知,当步长大于 900 m 时,半方差处于波动变化,变化幅度较小,趋于稳定,变异程度不大,可能是其他方向性变异造成的。变程为 441 m,说明土壤有机质在一个较大的空间尺度范围内均相关,空间连续性较好,反映了区域因素(气候、地形、土壤母质等)对其含量的影响比较大。本研究布设的采样间距小于有机质的变程,说明采用此采样间距完全能够满足空间变异性评价的需要。

2.2.2 土壤有机质变异的各向异性 利用 GS$^+$9.0 软件绘出了 E-W (0°)、NE-SW (45°)、S-N (90°)、SE-NW(135°)4 个方向上的半变异函数(图 3),可以发现在不同方向上,空间变异函数存在差异,表现出明显的各向异性。

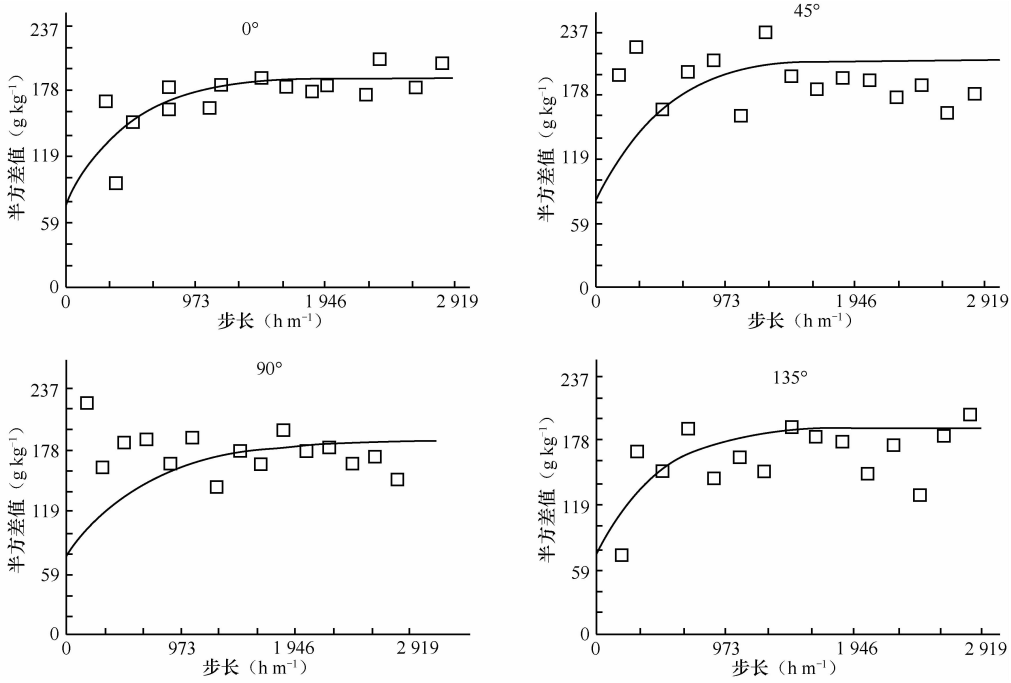

图 3　江子河流域土壤有机质的各向异性半方差函数

表 1　土壤有机质各向异性半方差函数理论模型及相关参数

土壤属性	方向	模型	块金值 C_0	基台值 (C_0+C)	块金效应 $C_0/(C_0+C)$(%)	变程	决定系数 R^2
有机质	0°	指数	80.5	208.4	38.63	644	0.565
	45°	指数	85.9	226.8	37.87	448	0.519
	90°	指数	84.8	210.7	40.25	686	0.508
	135°	指数	80.9	210.1	38.51	646	0.470

由表 1 知,四个方向的模型均为指数模型,块金值、基台值各不相同,$C_0/(C_0+C)$ 比值大于 25%,而小于 75%,属于中等程度上的变异。各向异性比 K 为长轴与短轴之比(长轴、短轴分别表示半方差在该轴方向上达到基台值时的样本间距),在长轴方向上距离为 H 的两点间的平均变异程度与短轴方向上距离为 K · H 的两点间的平均变异程度相同。两个垂直方向上的异性比,K0°/90°为 1.07,K45°/135°为 1.44,表明有机质各向异性特征较为显著[6],在 45°方向的变异明显大于 135°方向上,主要原因在于该区 135°方向上靠近山区,地形及母质影响较大,而 135°方向基本上位于山谷,地势起伏较小,加之长期受人为因素影响较大,造成该方向上的变异性明显小于 45°方向上;0°方向的变异较 90°方向的变异大,但相差不多,主要是因为 0°方向上受地形影响,以及耕种施肥等随机因素的影响,使得两个方向上 SOM 变异情况向各向同性发展。总体而言,江子河小流域 SOM 具有较为明显的空间异质性,适于进一步的插值分析。

2.3　土壤有机质的空间分布格局

基于半方差函数模型,利用普通 Kriging 内插法,绘制了土壤有机质含量的空间分布图(图 4)。

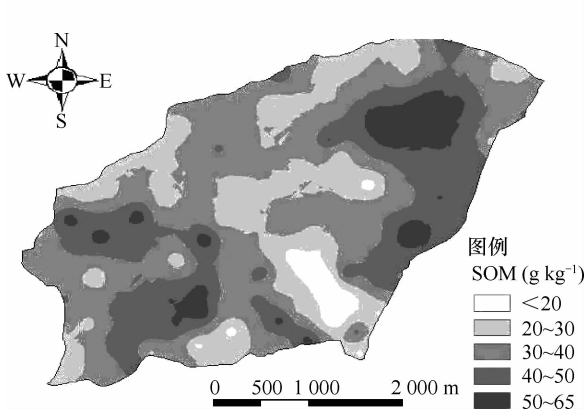

图 4　江子河流域土壤有机质含量的空间分布

图 4 表明:土壤有机质含量呈东西高,中间低,由外向内逐渐降低的分布格局。其中有机质含量大于 50.00 g kg^{-1}的,面积约为 0.423 km^2,占总面积的 3.6%;含量在 40.00 ~ 50.00 g kg^{-1}之间的,面积为 2.733 km^2,占总面积的 23.4%;含量在 30.00 ~ 40.00 g kg^{-1}之间的,面积为 5.822 km^2,占总面积的 50.0%;含量在 20.00 ~ 30.00 g kg^{-1}之间的,面积为 2.514 km^2,占总面积的 21.6%;含量小于 20.00 g kg^{-1}的,面积为 0.162 km^2,占总面积的 1.4%。

2.4 土壤有机质与环境因子的关系

2.4.1 土壤有机质与地形的关系 利用 DEM 数据将研究区分成 7 个海拔高程带,并与图 4 SOM 空间分布图进行叠加分析,得到不同海拔高程带上各等级 SOM 面积分布图(图 5)。结果显示不同海拔高度上各等级土壤有机质分布不同。由图 5 可知,SOM 含量在 20 ~ 50 g kg^{-1}之间的 3 个等级集中分布在 500 ~ 800 m,自 600 ~ 700 m 高程带向两侧递减,呈中间大两头小的趋势。此外,SOM 含量 < 20 g kg^{-1}的土壤分布在海拔较低的地方,而 SOM 含量在 50 ~ 65 g kg^{-1}之间的土壤主要分布在 600 ~ 800 m 高程带上。这是由于海拔较低处人类活动频繁,长期的不合理耕作,导致土壤有机质含量较低;而在 600 ~ 800 m 高程带,海拔较高,植被较好,人为干扰较小,有机质含量较高。

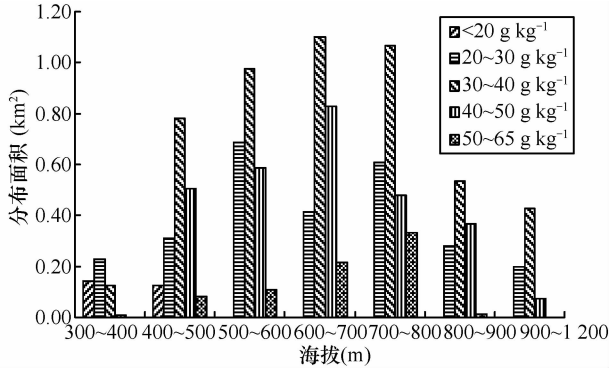

图 5 江子河流域不同海拔下的土壤有机质分布面积

利用研究区 DEM 数据生成坡度图,并与图 4 SOM 空间分布图进行叠加,得到不同坡度带上各个等级 SOM 面积分布图(图 6)。图 6 显示,研究区 SOM 含量的空间分布和坡度大小密切相关。从分布面积上看,10° ~ 20°坡度带上各个等级 SOM 分布面积均较大,各等级总面积占研究区面积的 37.56%,其次为 20° ~ 30°坡度带,二者之和占研究区总面积的 71.07%。坡度在 40°以上的地带各等级 SOM 分布面积均较小。此外,SOM 含量较低的土壤多分布在坡度较小的地方,而 SOM 含量较高的土壤主要分布在 20° ~ 30°坡度带上,这主要是因为坡度较小的地方受人类活动影响较大,水土流失现象严重,造成 SOM 含量偏低,而坡度较大的地方人为干扰较小,植被茂盛,SOM 含量偏高。

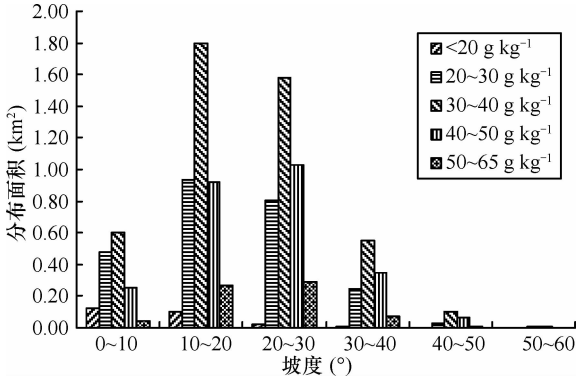

图 6 江子河流域不同坡度下的土壤有机质分布面积

2.4.2 土壤有机质与植被的关系 植被对土壤有机质的含量有较大的影响。图 7 所示:在 0 ~ 20 cm 深度内,土壤有机质含量由竹林、杉木林、马尾松林、针阔混交林、灌木丛至阔叶林,依次增加。其中,竹林下土壤有机质含量最低,为 19.83 g kg^{-1};阔叶林下最高,为 50.12 g kg^{-1}。这是因为,在低山丘陵地区,只有稀疏的竹子,长势较差,植被的覆盖度低,水土流失严重,土壤有机质流失量大。而阔叶林多为人工林,分布在沟谷和坡脚,地势较低,土壤养分保蓄较好,同时因其靠近居民点,受人为干扰活动的影响较大,所以阔叶林下土壤的有机质含量较高。

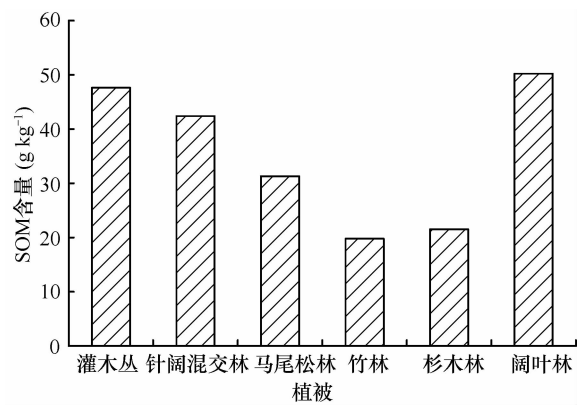

图 7 江子河流域不同植被下土壤有机质的含量

2.4.3 土壤有机质与环境因子的相关关系 首先利用 DEM 提取出坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率四个地形因子,其次,由研究区的 SPOT 遥感影像图提取植被信息图,得到各采样点的植被指数,最后

通过 SPSS 软件计算出 SOM 含量与各个环境因子之间的线性相关系数(表 2)。由表 2 知:在整个研究区,坡度、海拔、平面曲率、黏粒含量与 SOM 含量的关系密切,呈显著的正相关关系;坡向、剖面曲率、植被指数与 SOM 含量的关系不明显。

表 2　江子河流域土壤有机质含量和环境因子的相关关系($n = 111$)

因子	坡度	坡向	剖面曲率	平面曲率	海拔	黏粒含量	植被指数
相关系数	0.188	-0.029	0.097	-0.224	0.245	0.333	0.081
p	<0.05	n.s	n.s	<0.05	<0.01	<0.01	n.s

注:"n.s"表示显著性不明显

2.4.4　多元线性回归模型　　为了进一步说明研究区的环境因子对土壤有机质空间变异的影响,根据所计算的相关系数,可以获得 SOM 含量的线性回归模型。在研究区,SOM 含量与海拔、坡度、剖面曲率、植被指数及黏粒含量显著相关,显著性水平为 $p < 0.01$,其多元回归公式为:

$$SOM = 0.823 + 0.201 \times 海拔 + 0.164 \times 坡度 + 0.097 \times 平面曲率 + 0.068 \times NDVI + 0.359 \times 黏粒含量 \quad (1)$$

式中,SOM 为土壤有机质含量,NDVI 为植被指数,$R^2 = 0.685$。

3　结　论

1)江子河流域土壤有机质含量基本服从正态分布,平均含量为 35.14 g kg^{-1},属中等偏上水平。有机质的空间变异系数为 0.38,属中等变异程度,空间结构采用指数型模型拟合较好。该区土壤有机质的空间自相关距离为 441 m,有机质的 $C_0/(C_0 + C)$ 比值为 0.21,表明土壤有机质具有强烈的空间自相关格局,其空间变异性受结构性因素影响较大。

2)土壤有机质含量的空间分布呈现中部低、东部和西部高的趋势。在整个研究区范围内,土壤有机质含量最大分布面积在 30.00 ~ 40.00 g kg^{-1} 之间,所占比例为 50%。

3)土壤有机质含量与环境因子间的关系密切。不同海拔高程上各等级土壤有机质分布不同,SOM 含量在 20 ~ 50 g kg^{-1} 之间的 3 个等级集中分布在 500 ~ 800 m,SOM 含量 <20 g kg^{-1} 的土壤分布在海拔较低的地方,而 SOM 含量在 50 ~ 65 g kg^{-1} 之间的土壤主要分布在 600 ~ 800 m 高程带上。SOM 的空间分布与坡度大小密切相关,从分布面积上看,10° ~ 20° 坡度带上各个等级 SOM 分布面积均较大,其次为 20° ~ 30° 坡度带,二者之和占研究区总面积的 71.07%。坡度在 40° 以上的地带各等级 SOM 分布面积均较小。不同植被下,土壤有机质含量由竹林、杉木林、马尾松林、针阔混交林、灌木丛至阔叶林,依次增加。近年来由于生产力水平的提高,在各种环境因素中人为因素对土壤有机质含量的影响日益增大。若要提高流域土壤肥力,则需要进行分区管理,结合对其他土壤属性的空间变异特征分析,综合评价该流域土壤肥力状况,科学合理地指导农业生产。

土壤属性空间变异性的研究是近年土壤学研究热点,尤其是小尺度范围,能为精准农业合理施肥提供依据。块金值与基台值之比 $C_0/(C_0 + C)$ 可用来反映块金方差占总空间异质性变异的大小。如果该值较大,说明随机部分引起的空间异质性起主要作用;如果该值较小,说明结构性因素引起的空间异质性起主要作用;如果比值接近于 1,则所研究的变量在整个尺度上具有恒定的变异,是研究区子空间自相关程度的度量。江子河小流域各向同性为 0.21,而各向异性明显增大,属于中等程度的变异,说明江子河小流域的空间自相关性在具体某一方向上有所减弱,朝均一化方向发展,同时也说明了人为等随机性因素影响有所增强。

此外,变程反映了人为活动在空间上的相关性,这种相关性受到多种因素的影响,近年来随着人类活动的加剧,尤其受到不同土地利用方式分布差异的强烈约束。在自然环境较好的某一方向,相关性的范围呈明显的增大趋势。本文仅以江子河小流域为例初步对其探讨,还有待于更深入的研究。

参 考 文 献

[1] 李文芳,杨世俊,文池夫. 土壤有机质的环境效应. 环境科学动态,2004(4):31—33

[2] 李从娟,李彦,马健. 古尔班通古特沙漠土壤化学性质空间异质性的尺度特征. 土壤学报,2011, 48(2):302—310

[3] 曾绮微,薛剑锋,陈桂珠. 土壤养分空间分析的局部随机法研

究. 土壤学报,2009,46(6):1 155—1 161
[4] 牛灵安,郝晋珉,覃莉,等. 盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究. 土壤学报,2005,42(1):84—90
[5] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京:科学出版社,1999
[6] Gallardo A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in northwest Spain. Ecosystems,2003,6:564—576
[7] Mzuku M, Khosla R, Reich R, et al. Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones. Soil Sci Soc Am J, 2005,69: 1 572—1 579
[8] 刘付程,史学正,潘贤章,等. 太湖流域典型地区土壤磷素含量的空间变异特征. 地理科学, 2007,27(3):348—353
[9] 李翔,潘瑜春,赵春江,等. 利用不同方法估测土壤有机质及其对采样数的敏感性分析. 地理科学, 2007, 27(5): 689—694
[10] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等. 基于环境相关法的土壤属性空间分布特征研究——以黄土丘陵沟壑区小流域为例. 地理科学, 2008,28(4): 554—558
[11] 张发升,刘作新,张颖,等. 农田土壤有机质空间变异的尺度效应. 中国科学院研究生学报,2009,26(3):350—356
[12] Warrick A W. Analytical solutions to the one-dimensional linarized moisture flow equation for arbitrary input. Soil Science, 1975,120: 79—84
[13] Susan J R, Bruce R J, Gail P S, et al. Spatial variability of soil pH and organic matter in forest plantations. Soil Sci Soc Am J, 1986,50(5):1 347—1 352
[14] 王学锋,章衡. 土壤有机质的空间变异性. 土壤,1995,27(2): 85—89
[15] 程先富, 史学正,于东升,等. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局. 应用与环境生物学报,2004,10(1):64—67
[16] 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. 中国农业科学,2006,39(4):764—771
[17] 张建杰,张强,杨冶平,等. 山西临汾盆地土壤有机质和全氮的空间变异特征及其影响因素. 土壤通报,2010,41(4): 839—844
[18] 张朝生,章申,何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究——地统计学方法. 地理学报, 1997, 52(2): 185—192
[19] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数和 Kriging 插值分析. 地理学报, 2000,55(5):555—566
[20] 王绍强,朱松丽,周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异特征. 地理研究,2001,20(2):161—169
[21] 李海滨,林忠辉,刘苏峡. Kriging 法在区域土壤水分估值中的应用. 地理研究,2001,20(4):446—452