

林地土壤性质空间变异性与土壤入渗过程的研究

王峰¹, 石辉²

(1. 四川省林业调查规划设计院, 四川 成都, 610081;

2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 教育部西北水资源与环境生态重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘要: 运用经典统计学和地统计学理论, 研究了缙云山马尾松林地土壤水分、电导率和 pH 值的空间变异性。结果表明, 各变量符合正态分布, 电导率与 pH 值呈正相关关系 ($r = 0.01$)。行内变异性分析表明, 各变量沿坡向各行变异系数的均值都大于垂直于坡向的均值。不同坡向对行间的差异分析表明, 含水量在沿坡向和垂直于坡向上均无显著差异, 在垂直于坡向上各行电导率和 pH 值存在显著差异 ($r = 0.01$)。地统计学分析结果显示, 含水量在沿坡向和垂直于坡向上的变异具有漂移特征, 电导率在垂直于坡向方向上具有空间结构性, 在沿坡向上随机变异过大, 不能体现出空间自相关的特点; pH 值在垂直于坡向上具有漂移特征, 沿坡向上为纯块金效应。典型植被下土壤水分入渗研究表明, 农耕地和阔叶林稳渗率为 4.81 mm/min 和 3.15 mm/min, 分别是针叶林的 14 倍和 9 倍; 1 h 入渗总量分别为 1365.58 mm 和 518.46 mm, 是针叶林的 37 倍和 14 倍。

关键词: 马尾松林; 空间变异; 半方差; 入渗过程

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)01-0015-05

中图分类号: S714.6, S157.5

Spatial Variability of Soil Characteristics on Woodland and Infiltration Processes for Different Vegetation Types

WANG Feng¹, SHI Hui²

(1. Sichuan Forest Inventory and Planning Institute, Chengdu Sichuan 610081, china

2. College of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, and Key Laboratory of Northwestern Water Resources and Environmental Ecology, Ministry of Education, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: For the sustainable development and ecological construction in the Jinyun Mountain, it is important to describe the spatial variability of soil properties on slope woodland and infiltration processes for different vegetation types. Soil moisture, electrical conductivity and pH for 80 soil samples were measured, and the spatial variability was studied on the grids of 2 m \times 2 m. Results showed that data of each variable fitted normal distribution, and there is a significant correlation between electrical conductivity and pH ($r = 0.01$). The mean of C_V % for each variable along the longitudinal slope was greater than that on the horizontal one. Soil moisture within different rows in both longitudinal and horizontal slope directions was not significantly influenced, whereas electrical conductivity and pH in the longitudinal slope direction were significantly influenced ($r = 0.01$). The data were then analyzed using theory of geostatistics. It was found that soil moisture had a floating feature in both slope directions, and pH not only had the floating feature in the horizontal direction, but also showed the pure nugget effect in the longitudinal direction. Electrical conductivity showed a spatial structure in the horizontal direction, but did not have spatial relativity for the larger stochastic variability. The experiments on infiltration process in five standard lands demonstrated that steady-state infiltration rates in cultivated land and broad-leaved forest were 4.81 mm/min and 3.15 mm/min, respectively, and were 14 times and 9 times higher than that in coniferous-leaved forest, respectively. The amounts of 1h cumulated infiltration in cultivated land and broad-leaved forest were 1365.58 mm and 518.46 mm, respectively, and were 37 times and 14 times higher than that in coniferous-leaved forest, respectively.

Key words: Pinus massoniana forest; spatial variability; semi-variogram; infiltration process

森林植被与人类的生存和发展密切相关, 自我国 “数字林业标准与规范” 提出以来, 森林的空间变异性

研究在国内已越来越受重视^[1-2]。土壤是森林空间变异性研究的重要部分^[3],认识其空间变异规律,不仅对森林生态系统的健康发展与治理修复有重要的理论意义,而且对营林方面也有积极的指导意义。

当前,国内外对森林土壤空间异质性的研究已逐渐增多。Fortin 等认为研究不同尺度上的土壤空间异质性^[4],对于了解土壤的形成过程、结构和功能具有重要的理论意义,而且对了解植物与土壤的关系,如更新过程、养分和水分对根系的影响以及植物的空间格局等也有重要的参考价值。Farley 等研究了英国北约克郡落叶林的土壤养分^[5],发现林分内可形成呈周期变化的养分浓度较高的土壤斑块,其峰值期可持续约 4 周,土壤 P、NH₄⁺ 和硝酸盐含量的 2 m 的空间尺度上有显著差异。王政权等^[6]对阔叶红松林土壤上层水分、容重、毛管持水量和孔隙度的空间异质性进行研究,表明这些因素影响着树木的根系,进而影响林分的生长。杨清云等^[7]采用多剖面多层次取样研究了红壤区常绿阔叶林地土壤容重、渗透性能、有机质和 pH 值的空间变异性,表明垂直方向的变异大于水平方向,并根据误差理论确定了合理取样容量。这些研究主要反映在土壤本身变异特点、对植被状况以及土壤形成过程的影响等方面。

本文在缙云山国家级自然保护区内,以马尾松针叶林地为研究对象,研究土壤含水量、pH 值和电导率的空间变异特征。同时,对缙云山几种典型植被下的土壤水分入渗过程做了分析,以期为进一步认识缙云山自然保护区的生态环境提供基本科学依据。

1 研究区概况

缙云山位于重庆市北碚区、沙坪坝区、璧山县境内,距市中心约 60 km。地理坐标为东经 106°17'43" — 106°24'50", 北纬 29°41'08" — 29°52'03", 海拔 200 ~ 952.2 m, 相对高差 752.2 m。土地总面积为 7 600 hm²。缙云山气候特征属于亚热带季风湿润性气候,地带性植被类型为常绿阔叶林,年平均气温 13.6℃, 大于 10℃ 年积温为 4 272.4℃; 年均相对湿度 87%, 年均降水量 1 611.8 mm, 最高年降水量 1 783.8 mm, 4—9 月降水量 1 243.8 mm, 占全年的 77.2%; 年平均蒸发量 777.1 mm, 雾日数年平均 89.8 d, 年平均日照时数低于 1 293 h。地质构造属川东褶皱带华莹山帚状弧形构造。山脊及两翼的土壤以三叠纪须家河组厚层石英砂岩、炭质页岩和泥质砂岩为母质风化而成的酸性黄壤及水稻土,地形平缓,土层深厚,土壤肥力高;山麓地区为侏罗纪由紫色页岩夹上层发育的中性或微石灰性的黄壤化紫色土。地带

性土壤为黄壤,保存较为完好,整个剖面呈黄色,普遍具有黏或砂、酸、瘦、缺磷及抗冲蚀能力弱等特性。

2 几种土壤性质的空间异质性

2.1 取样与测定方法

在马尾松林地坡面上,选取典型样方(16 m × 20 m)布点,林内郁闭度为 0.7,坡度 32°,坡向 SW30°,纵向向下依次布线 A, B, …… J; 横向依次布线 1, 2, …… 8; 交点为样点,间隔为 2 m,共设样点 80 个(见图 1)。在每一点上用土钻取表层 0—20 cm 土壤,带回室内进行土壤水分、电导率、pH 值的测定。土壤水分采用铝盒烘干法;pH 值用 pH 计测定,将通过 1 mm 筛的风干土样 10 g,放置在 50 mL 高型烧杯中,加入 25 mL 去 CO₂ 的水,搅动 1~2 min,使土体充分散开。放置 0.5 h 后用较正好的 pH 计测定。电导率是将通过 1 mm 的筛风干土样按土水比例为 1:5 混合,用电导仪测定澄清液的电导率值,然后换算成 25℃ 时的电导率。

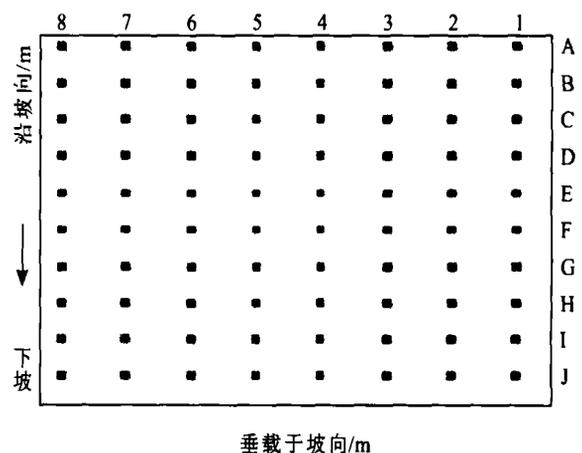


图 1 缙云山马尾松林土壤取样点示意图

2.2 土壤性质的统计特征

对所测定的 80 个样本进行了统计分析,土壤 pH 值在 5.9~4.4 之间,均值为 5.3,峰值和偏度分别为 0.369 和 -0.012,变异系数为 5.2%。由于南方降雨充沛,气候湿润,盐基离子易淋失,使得土壤胶体上交换性 H⁺ 离子不断增加,并随之出现交换性铝,形成酸性土壤,使得 pH 值的变异程度最小。含水量在 7.5%~23% 之间,均值为 16.5,电导率在 176.20~330.00 μs/cm² 之间,均值为 255.63 μs/cm²。含水量的均值和中值相等,电导率和 pH 值的两值差异也很小,说明特异值对样本数值的影响不大。变异系数是反映数值离散程度的量,含水量变异系数为 15%,属中等程度变异,电导率和 pH 值的变异系数均小于

10%,属弱等程度的变异^[8]。样本的偏度与峰值检验表明,这 3 种土壤性质均符合正态分布(表 1)。

表 1 土壤特性的统计特征描述

测定项目	均值	中值	最大值	最小值	标准差	变异系数	偏度	峰值
重量含水量/%	16.5	16.5	23.0	7.5	2.5	15%	-0.198	2.249
电导率/($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-2}$)	255.53	255.00	330.00	176.20	25.152	9.8%	-0.049	0.903
pH 值	5.3	5.2	5.9	4.4	0.276	5.2%	-0.012	0.369

土壤性质的 person 相关系数表明,电导率和 pH 值的相关系数为 0.409,达到 0.01 的极显著水平,而含水量和电导率、pH 值没有明显的相关性,这主要是由于含水量的变化受到多种因素的影响,诸如降水、坡面状况以及植被生长情况对水分的影响较大^[9],而土壤电导率和 pH 值则表现出相对的稳定性。

2.3 土壤性质随坡向的变异规律

坡面土壤含水量、电导率与 pH 值在沿着坡向变化和垂直于坡向变化方面上呈现出不同的趋势(图 2),土壤水分沿着坡向变化的均值呈现出较快的增大后又减小或持平,垂直于坡向变化的均值向下呈现出缓慢增长后减小或持平,但又波动不稳定(见图 2 a),通过对各行变异系数的统计,发现沿着坡向各行变异系数的均值略大于垂直于坡向的变异系数均值(13.83% > 13.76%)。

由图 2 b 可以看出,沿坡向各行电导率的值先增大,在第 3 行达到峰值 273 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ 后又减小,垂直于坡向各行电导率的均值沿坡向下,先减小后增大,在第 7 行达到峰值 294 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ 后又减小,表现出一定的波动性,这是否与盐基离子在沿坡向上周期性富集有关,还有待进一步讨论。

与电导率的变化趋势相比较,pH 值的变化与其呈现出某些程度上的一致性规律,沿坡向的均值先增大后减小,分析原因可能是电导率与 H^+ 和 OH^- 的消涨变化有一定关系,垂直于坡向 pH 值沿坡向下也呈周期性变化,在第 3,7 和第 9 行出现峰值。对电导率和 pH 值沿坡向方向与垂直于坡向方向的变异系数均值统计发现,沿坡向各行变异系数的均值(10.3% 和 5.1%)都大于垂直于坡向(9.1% 和 4.5%)的均值,表明沿坡向方向样品的变异性较垂直于坡向的大(图 2c)。

对于不同的坡位,土壤性质各行之间的差异性也应有差别。表 2 是分别对沿坡向和垂直于坡向土壤性质进行方差分析的结果,沿坡向各行之间的土壤含水量、pH 值和电导率的 F 值为 1.622,0.888 和 1.812,相伴概率分别为 0.143,0.52 和 0.098,均大于 0.05,表明沿坡向各行之间不存在显著性差异,说明水平方向对土壤 3 种性质均没有造成明显的影响;

在垂直于坡向各行之间,土壤含水量相伴概率为 0.364 > 0.05,表明垂直于坡向各行之间的含水量不存在显著性差异,说明顺坡方向对含水量没有造成明显影响,其原因可能是由于冬季气候阴冷湿润消弱了顺坡方向对土壤含水量影响;垂直于坡向各行之间 pH 值和电导率的 F 值为 3.302 和 3.504,相伴概率为 0.002 和 0.001 小于 0.01,表明垂直于坡向各行之间的 pH 值和电导率存在着极显著性差异,说明顺坡对土壤 pH 值和电导率造成了明显的差异,这一点与上述分析表现出一致性。

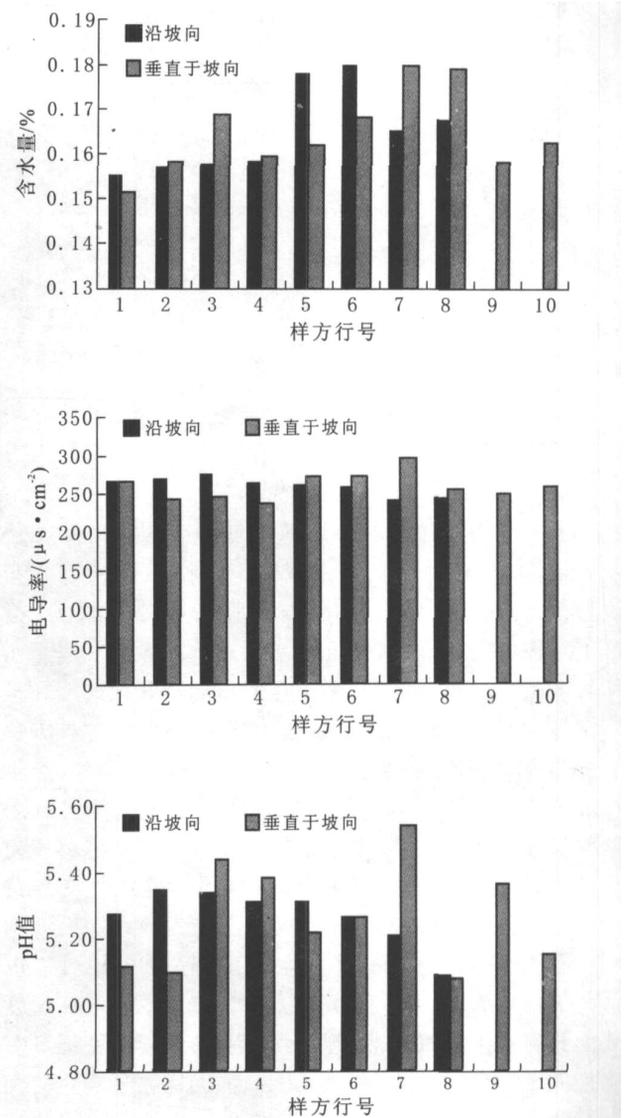


图 2 土壤性质沿坡向和垂直于坡向的均值分布

为进一步了解其差异来源,应用最小显著差数法对垂直于坡向各行土壤 pH 值和电导率做了多重比较(表 3)。其最大值均在 G 行,对于 pH 值, G 行与 C、D、I 行无显著差异,与其它行有显著差异,其最小值为 H 行;对于电导率, G 行除与 E、F 行无显著差异外,与其它均有显著差异,其最小值为 D 行。

表 2 沿坡向与垂直于坡向土壤性质方差分析

方向	差异类型	含水量	pH 值	电导率
沿坡向	F	1.622	0.888	1.812
	Sig.	0.143	0.520	0.098
垂直于坡向	F	1.114	3.302	3.504
	Sig.	0.364	0.002	0.001

注: Sig. 为相伴概率, Sig. < 0.01 为极显著差异。

表 3 垂直于坡向上土壤 pH 值与电导率多重比较(LSD)

pH 值			电导率		
行号	均值	差异显著度(5%)	行号	均值	差异显著度(5%)
G	5.5	a	G	294.00	a
C	5.4	ab	E	272.00	ab
D	5.4	abc	F	271.13	ab
I	5.4	abc	A	264.88	bc
F	5.3	bcde	J	256.25	bcd
E	5.2	bcde	H	251.88	bcd
J	5.2	cde	I	247.88	bcd
A	5.1	de	C	244.53	cd
B	5.1	e	B	242.75	cd
H	5.1	e	D	235.00	d

2.4 土壤性质的空间变异性分析

半方差变化反映了区域变量随空间结构的变化特征,大量的研究表明土壤的一些性质是区域化变量。计算出的马尾松林土壤含水量、电导率及 pH 值的半方差见图 3。图 3 a 是土壤水分沿坡向和垂直于坡向的半方差趋势图,半方差的值均随间距的增大呈单调增长的凹型曲线。根据地统计学理论,此种现象称为漂移现象,说明含水量不符合二阶平稳性,产生漂移现象的原因可能是由于林内土壤湿度均匀和采样尺度过小引起,需增大采样尺度才可避免漂移现象产生^[10]。从这里可以看出,在当地研究水分变异是可以采用 100 m² 左右大小的样方作为单元。沿坡向和垂直于坡向电导率半方差变化的趋势见图 3 b。由图 3 可以看出,垂直于坡向方向半方差值在取样尺度内具有有限增量和曲线凸形的特点,其变异特征具有空间结构性,可以在此尺度上沿横向增大采样点对实验半方差值进行理论拟合。沿坡向半方差随间距增大后急剧减小,而后又增大,反映出土壤电导率在纵

向的随机性变异占总变异比重较大,这可能是由于取样间距过大引起,说明在 2 m 尺度上,其空间自相关性不能体现出来,这一点与上文分析的变异性大的结果相一致。图 3 c 是不同坡向上土壤 pH 值的半方差趋势图,在垂直于坡向上,土壤 pH 值的半方差为先减小后增大的凹形曲线,具有漂移特征;在沿坡方向上,半方差值在 0.000 18 处上下波动,此种无趋势的变化在地统计学上称为纯块金效应,说明沿坡向上大于或等于 2 m 时变量就完全缺失空间相关性,在采样间隔内有可能存在更小尺度的空间变异^[11]。

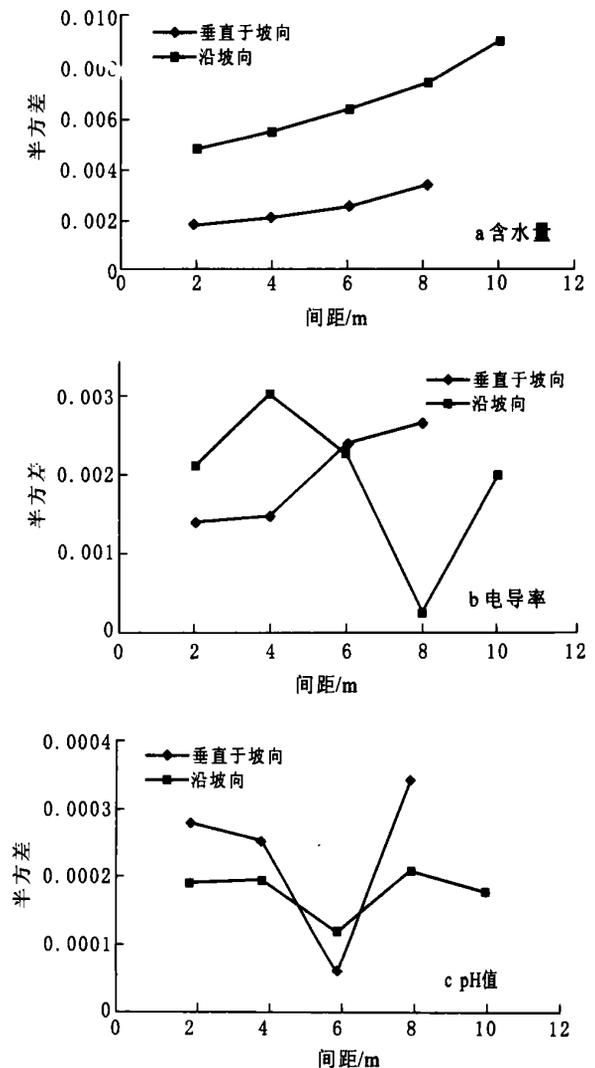


图 3 土壤性质沿坡向与垂直于坡向的半方差趋势

3 不同植被下土壤水分入渗过程

土壤水分的入渗过程和渗透性能决定了降水再分配中的地表径流和土壤贮水能力,是土壤特征的重要部分^[12]。利用双环入渗法,研究了同一海拔处,坡度较为一致的马尾松、大头茶、毛竹以及灌木和农耕地土壤的入渗过程(图 4),其初渗速率、稳渗速率、稳

渗历时和 1 h 入渗总量见表 4。初渗速率从大到小的顺序为:灌木林、农耕地、阔叶林、竹林和针叶林;稳渗率的大小依次为:农耕地、阔叶林、竹林、灌木林、针叶林。农耕地和阔叶林稳渗率分别为 4.81 和 3.15 mm/min,是针叶林的 14 倍和 9 倍。灌木林地覆盖度高,植物根系比较发达,尤其是须根较多,而且多分布于土壤表层,因而其初渗较快稳渗较小。针叶林地坡度较大,且地被物较少,土壤结构紧实,使得其初渗与稳渗速率均最小,且达到稳渗的历时也最短,仅为灌木林的一半。农耕地的稳渗历时最长为 174 min,这主要是由于人为扰动破坏了原来的土壤结构,增加了土壤非毛管孔隙,水流在重力作用下带动土壤颗粒重塑土体构型,致使达到稳渗的历时增长。累积入渗量反映了土壤的贮水能力,5 种样地 1 h 累积入渗量大小依次为:农耕地、阔叶林、竹林、灌木林、针叶林,农耕地和阔叶林为 1365.58 和 518.46 mm,分别为针叶林的 37 倍和 14 倍。

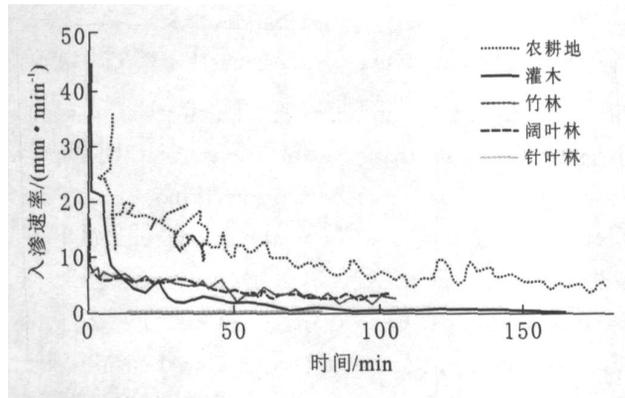


图 4 不同植被类型的土壤水分入渗过程线

表 4 不同植被类型的土壤入渗指标对比

植被类型	针叶林	阔叶林	竹林	灌木林	农耕地
初渗速率/ (mm·min ⁻¹)	0.59	10.34	9.99	59.06	43.93
稳渗速率/ (mm·min ⁻¹)	0.35	3.15	2.62	0.50	4.81
稳渗历时/min	73	97	102	150	174
1 h 入渗总量/ mm	36.83	518.46	466.65	459.42	1365.58

4 结 论

通过对缙云山马尾松林地土壤含水量、pH 值及电导率的分析发现,其值均符合正态分布。行内变异

性分析显示,各变量沿坡向各行变异系数的均值都大于垂直于坡向的同类值。不同坡向对行间的差异分析表明,含水量在沿坡向和垂直于坡向上均无显著差异,在垂直于坡向上各行电导率和 pH 值存在显著差异($\alpha=0.01$)。地统计学分析结果显示,含水量在沿坡向和垂直于坡向上的变异具有漂移特征,电导率在垂直于坡向方向上具有空间结构性,在沿坡向上随机变异过大,不能体现出空间自相关的特点;pH 值在垂直于坡向上具有漂移特征,沿坡向上为纯块金效应。典型植被下土壤水分入渗研究表明,农耕地和阔叶林稳渗率为 4.81 和 3.15 mm/min,分别是针叶林的 14 倍和 9 倍;农耕地和阔叶林 1 h 入渗总量为 1365.58 和 518.46 mm,分别为针叶林的 37 倍和 14 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 李增光,张怀清,陆元昌. 数字林业建设与进展[J]. 中国农业科技导报,2003,5(2):7—9.
- [2] 冯益民,唐守正,李增元. 空间统计分析在林业中的应用[J]. 林业科学,2004,40(3):149—155.
- [3] 韩有志,王政权. 森林更新与空间异质性[J]. 应用生态学报,2002,13(5):615—619.
- [4] Fortin M, Drapeau P, Legendre P. Spatial autocorrelation and sampling design in plant ecology[J]. Vegetation, 1989, 83:209—222.
- [5] Farley R A, Fitter A H. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland[J]. Journal of Ecology, 1999, 87:668—696.
- [6] 王政权,王庆成. 森林土壤性质的空间异质性研究[J]. 生态学报,2000,20(6):945—950.
- [7] 杨清云,曾锋. 森林土壤空间变异性及其样本容量的确定[J]. 水土保持研究,2004,11(3):54—56.
- [8] Shukla M K, Slater B K, Lal R, et al. Spatial variability of soil properties and potential management classification of a chernozemic field in lower Austria[J]. Soil Science, 2004, 169(12):852—860.
- [9] 潘成忠,上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):5—9.
- [10] 侯景儒,黄竞选. 地统计学及其在矿产储量计算中的应用[M]. 北京:地质出版社,1982.
- [11] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报,2004,18(3):53—56.
- [12] 陈风琴,石辉. 缙云山常绿阔叶林土壤大孔隙与入渗性能关系初探[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2005,30(2):351—353.