

地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究*

秦 松, 樊 燕, 刘洪斌, 王正银

(西南大学 资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要: 运用地统计学和 GIS 技术, 研究丘陵地区土壤养分的空间变异性, 探讨地形因子对土壤养分含量空间分布的影响。结果表明: N, K 的空间变异主要来自随机因素, 而 Mg 及其他养分的空间变异性在一定程度上受地形等结构性因素的影响。OM, N, P, K 几种大量元素与海拔呈显著正相关, Ca, Mg, S 与海拔呈负相关; N 与坡度呈显著正相关, Ca 与坡度呈显著负相关; OM, N, P 与坡向呈负相关, Ca, Mg 与坡向呈显著正相关关系; 而 K, S 与地形因子的相关性不显著。研究地形地貌与土壤养分之间的空间关系, 为进一步合理进行土地利用规划提供理论依据, 并且对土壤养分综合管理以及进行土壤改良和耕作都具有一定的指导作用。

关键词: 空间变异; 地统计学; 土壤养分; 地形因子

中图分类号: S153. 61 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2008)01-0046-04

Study on the Relations Between Topographical Factors and the Spatial Distributions of Soil Nutrients

QIN Song, FAN Yan, LIU Hong-bin, WANG Zhengyin

(Southwest University Recourses and Environment Institute, Chongqing 400716, China)

Abstract: Using Geostatistic and the technology of GIS to study the spatial variability of soil nutrients in the hilly area, and to discuss how topographical factors can impact the spatial distribution of soil nutrients. The results showed that the spatial variability of N, K came from random factors, but to some extent Mg and the other nutrients' spatial variability was affected by structural factors. The correlativity between OM, N, P, K and altitude were remarkably positive, and Ca, Mg, S were negatively correlated to altitude; the correlation of N and slop was notability positive, but Ca was negative; OM, N, P were negatively related to aspect too, and Ca, Mg were positive; However, the correlation between K, S and topographical factors was not remarkable. To study the spatial relations between topography and soil nutrients would provide academic bases for land use and programming reasonably, and also have works on the guidance of the soil nutrients management and soil improvement and cultivation.

Key words: spatial variability; Geostatistic; soil nutrients; topographical factors

土壤受成土母质、地形及人类活动等自然因素和人为因素的影响, 使得土壤成为不均一和变化的时空连续体, 并具有高度的空间变异性, 认识土壤的空间变异性对于评价和有效利用土壤都是十分重要的。20 世纪 70 年代, Burgess, Webster, Yost 等^[1-3]将地统计学的方法引入土壤科学研究领域, 克服了经典的 fisher 统计理论在研究土壤性质空间变异性规律方面的不足。近年来, 随着 GPS, GIS 和地统计学等方法应用于土壤领域, 土壤特性的空间变异越来越受人们的重视, 我国土壤学学者在 20 世纪 80 年代初开始从事土壤空间变异性研究, 目前在土壤养分空间变异性方面的研究非常活跃^[5-9]。由于地形因子与土壤中水分的运输及物质的运移有着紧密的联系^[4], 从而会影响土壤中养分的分布情况。该文拟在前人研究的基础上, 应用地统计学的基本原理和方法, 结合 GIS 技术, 对土壤养分的空间变异情况进行研究, 探讨试验区不同的地形因子与土壤养分空间分布的相关性, 这些地形因子主要包括海拔、坡度和坡向等, 从而为土地利用规划, 养分的管理及合理施肥提供科学依据。

1 研究区概况

重庆市位于中国西南部、长江上游, 地跨东经 105°11′ - 110°11′、北纬 28°10′ - 32°13′, 跨川中方山丘陵、川东平行岭谷和盆南边缘山地三大自然地理区, 总面积约 82 000 km²。其地貌类型以山地、丘陵为主, 石灰质地貌突出, 溶洞较多。正是由于重庆特殊的地理环境, 以及岩溶地貌脆弱的生态环境, 加之人类对土壤资源不合理的开发利用, 区域土壤养分之间存在很大的差异。所以该文选取具有典型山地丘陵地貌特征的江津吴滩(图 1)镇作为试验区来进行分析。

江津位于长江上游、重庆西南部边缘, 平行岭谷群纵区。界于东经 105°49′ - 106°36′和北纬 28°28′ - 29°28′。其总的土地面积为 3 219 km², 其中丘陵占 78. 2%, 低(中)山占 21. 8%, 江津为亚热带东南季风气候。其特点是: 四季分明, 无霜期平均为 341 d, 夏长冬短, 热量丰富, 全年平均气温为 13. 9~ 18. 4℃, 年活动积温为 4 966. 8~ 6 744. 3℃, ≥10℃的积温 4 105~ 5 987℃。年平均雨量为 1 030. 7 mm。江津

* 收稿日期: 2006 10 30
基金项目: PPI/PPIC 项目资助
作者简介: 秦松(1968-), 男, 副研究员, 博士研究生, 主要从事土壤与植物营养研究。
通信作者: 樊燕。

吴滩试验区,总面积 100 hm²。土壤以侏罗系紫色砂泥岩发育的中性紫色土为主。

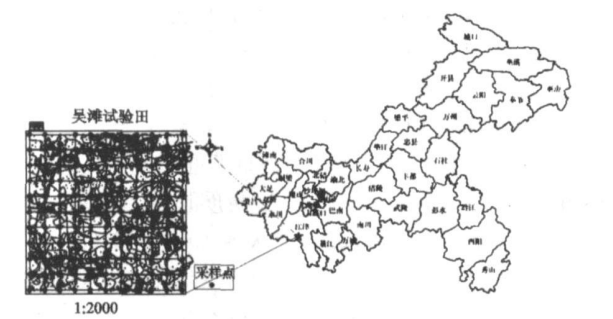


图 1 研究区域及样点分布

2 材料与方法

2.1 样品的采集与分析

在吴滩试验区取土壤样品 121 个,所有土壤样品的采集均采用网格法,网格距为 100 m,用 GPS 进行控制点精确定位,以罗盘和测绳确定网格节点后,以节点为圆心,在 10 m 范围内采集 10 钻 0–20 cm 的耕层土壤,均匀混合后作为该节点的混合样本。在采样的同时,记录采样点的坐标数据,生成研究区的样点分布图(图 1)。

采集样品之后用土壤养分状况系统研究法(ASI)^[10]分析土壤养分状况,本研究选取 OM, N(即 NH₄⁺–N), P, K, S, 速效 Ca, Mg 等几种养分进行分析。其中,速效 Ca, Mg 和 NH₄⁺–N 用 1 mol/L KCl 提取, Ca 和 Mg 用原子吸收分光光度计测定, NH₄⁺–N 用碱性苯酚+NaOCl 比色法测定; K, P 用 ASI 联合浸提剂(0.25 mol/L NaHCO₃+0.01 mol/L EDTA+0.01 mol/L NH₄F) 浸提, P 用钼锑抗比色法测定, K 元素用原子吸收分光光度计测定; S 用 0.08 mol/L Ca₃(PO₄)₂ 提取,用 BaCl₂ 比色法测定; 有机质(OM)用 0.2 mol/L NaOH+0.01 mol/L EDTA+2% 甲醇溶液提取,比色法测定。

2.2 研究方法

数据分析采用 Fisher 统计学和地统计学相结合的方法,涉及地统计学的主要包括半方差函数及其模型。并采用 GS+ 软件计算半方差函数、半方差模型等并进行半方差分析。另外,由于特异值的存在会造成变量的连续性中断,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,因此采用域法识别特异值,即样本均值 \bar{a} 加减 3 倍标准差 s , 在此区间($\bar{a} \pm 3s$) 以外的数据均定为特异值,然后分别用正常最大和最小代替特异值。

在对数据中的异常值进行处理之后,并采用 ArcGIS 8.3 软件中的空间分析模块进行分析,采用克里格插值法对各土壤肥力要素进行空间内插,生成各要素的空间分布图。用来估计变异的半方差函数式为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中: $\gamma(h)$ ——间距为 h 的半方差,在一定范围内,该值随 h 的增加而增加,当测定点间距大于最大相关距离时,该值趋于稳定。 N 为被 h 分隔的观测数据的成对数目, $Z(x_i)$ 、 $Z(x_i + h)$ 分别为空间点 x_i 和 $x_i + h$ 的测定值。另外还采用 SPSS 软件进行土壤养分与地形因子之间的相关性分析。

3 结果与讨论

3.1 土壤养分的基本统计值特征

分析结果(表 1)表明,从土壤养分含量上看,该试验区普遍缺乏 N, P, K, 且微量元素 Mg, S 的含量也都低于临界值,说明研究区土壤对这两种微量元素也较为缺乏,而研究区域土壤 Ca 含量均比较丰富。从变异系数($C_v\%$)看,由于研究区 $0.1 < C_v < 1$, 所以其土壤养分的变异情况均为中等变异。这说明研究区的土壤养分差异很大,其中 P 的变异系数最高为 88.29%, 其次是 Ca, Mg, S, N 和 K, 变异系数 34.34%~49.36%, 而变异最小的为土壤有机质(22.06%)。总体来说, 试验区土壤养分变异较大,但均为中等变异。

表 1 土壤养分的统计特征值及临界值指标

项目	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 / %	低于临界值 的土样数/ %	分布状态
OM/ %	0.35	1.10	0.68	0.15	22.06		正态
N/(mg·L ⁻¹)	7.50	48.60	17.20	7.35	42.73	99.17	对数正态
P/(mg·L ⁻¹)	1.35	71.40	15.46	13.65	88.29	47.93	对数正态
K/(mg·L ⁻¹)	29.35	128.85	63.71	21.88	34.34	78.51	对数正态
Ca/(mg·L ⁻¹)	277.10	2753.10	1157.30	553.88	47.86	0.83	对数正态
Mg/(mg·L ⁻¹)	50.20	620.15	241.30	119.11	49.36	14.05	对数正态
S/(mg·L ⁻¹)	8.50	127.05	50.73	24.22	47.74	2.48	正态

注: 土壤养分临界值(mg/L): N 为 50, P 为 12, K 为 78.2, Ca 为 400.8, Mg 为 121.5, S 为 12。

3.2 土壤养分含量的空间变异特征

在选取各土壤养分的半方差函数模型时,首先要根据样本资料计算出 $r(h)$ – h 的散点图,然后分别用不同类型的模型来进行拟合,得到模型的参数值及离差平方和,选取离差平方和最小的模型类型,最后用交叉验证法来修正模型的参数,采用 ArcGIS 8.3 软件中的空间分析模块来进行分析。研究区各土壤养分的半方差分析结果见表 2。

表中 C_0 表示块金效应,通常表示由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异; C 为结构方差,代表了系统因素引起的变异; ($C_0 + C$) 为基台值,表示系统内总的变异, ($C_0 +$

C) 越大,则表示在土壤养分的空间变异中,结构方差(C)在基台值($C_0 + C$)中所占的比例越小,块金方差(C_0)在基台值中所占的比例越大,说明土壤养分受随机因素(非区域因素)或小尺度下的影响越大;若块金值/基台值($C_0 + C$) 越小,则结构方差(C)在基台值中所占的比例越大,说明土壤养分受自然因素(区域因素)的影响越大。变程是指变异函数达到基台值时所对应的距离,表示如果某种养分观测值之间的距离大于该值时,则说明它们之间是相互独立的;若小于该值时,则说明它们之间存在着一定的相关关系。块金值/基台值 $C_0/(C + C_0)$ 可以揭示变量的空间变异程度,如果比值小

于 25%, 说明土壤属性具有强烈的空间相关性; 如果比例在 25%~75% 之间, 表明土壤属性具有中等的空间相关性; 大于 75% 说明土壤属性空间相关性很弱^[11]。

表 2 土壤各养分元素的半方差分析

项目	理论模型	块金值	基台值	块金值/ 基台/%	变程/ m
OM/ %	Rational	0. 01 18	0. 02 57	45. 988	987. 77
	Quadratic				
N/(mg · L ⁻¹)	Spherical	0. 15 79	0. 15 79	100. 00	945. 97
P/(mg · L ⁻¹)	Pentaspherical	0. 65 47	0. 99 74	65. 637	987. 77
K/(mg · L ⁻¹)	Exponential	0. 12 57	0. 13 66	92. 041	987. 77
Ca/(mg · L ⁻¹)	Rational	0. 09 16	0. 25 43	36. 013	987. 77
	Quadratic				
Mg/(mg · L ⁻¹)	Exponential	0. 05 71	0. 32 1	17. 789	987. 77
S/(mg · L ⁻¹)	Peentaspherical	494. 38	727. 09	67. 994	987. 77

注: $r_{0.05} = 0. 174$, $r_{0.01} = 0. 228$, $df = 119$ 。

表 2 表明, 研究区域土壤 N、P、K 和有机质等主要养分含量的空间变异性存在着半方差结构, 而不同养分之间的空间变异性不同, 其变程范围在 945. 97~987. 77 m。土壤养分各指标的块金值与基台值的比值小于 25% 的只有 Mg, 表明具有强烈的空间相关性, 空间变异主要来自结构性因素; N、K 的比值大于 75%, 尤其是 N, 块金比值达到 100%, 表明具有很弱的空间相关性, 空间变异主要来自随机因素; 其余则表现为中等空间相关性, 这是由结构性和随机性因素共同作用的结果。结构性因素, 如气候、母质、地形、土壤类型等可以导致土壤养分具有较强的空间自相关性, 这说明各种土壤养分含量的空间分布在一定程度上可能受地形因素的影响, 它们之间可能具有一定的相关性。

根据上述所得到的半方差函数模型, 利用 Kriging 最优内插法, 绘制土壤各养分含量的等值线图, 然后与研究区的三维地貌图叠加, 得到吴滩试验区土壤养分含量的空间分布图(图 3)。

3.3 地形地貌特征及其与土壤养分空间分布的相关性

利用 ArcGIS 可得到研究区的三维地貌图(图 2), 从图上可以直观地看到研究区总体的地形地貌情况。由图可知, 两研究区域在地形地貌上有很大的差异, 试验区为典型的山地丘陵地貌, 由于研究区的相对高差较小, 所以研究区以低山为主, 且地区起伏较大, 尤其在试验区的边缘地带, 起伏更为明显。

在三维地貌的基础上, 还通过 ArcGIS 8. 3 中的空间分析模块对土壤养分因子进行分析, 首先确定其合适的半方差函数模型, 然后对各养分进行空间内插, 得到各因子的 Kriging 空间插值图, 并将其叠加到三维地貌图上(图 3)。从图中可以看出, 该试验区, 地势较低, 有机质与速效 P 的含量明显较低, Ca 和 Mg 的含量明显较高; 地势较高, OM 和速效 P 的含量较高, Ca 和 Mg 含量明显较低; 而土壤养分 N、S 和速效 K 与海拔之间的相关性在图上的表现不明显。以上分析说明土壤养分与地形地貌在一定程度上存在很强的相关性, 可以对其相关性进行进一步的分析。

3.4 土壤养分与地形因子的相关关系

通过 ArcGIS 提取出研究区海拔、坡度和坡向数据, 并利用 SPSS 计算这些地形因子与 N、P、K 和有机质等土壤养分的 pearson 简单相关系数, 其计算结果见表 3。从表中可

知, 土壤养分变量和地形变量之间存在着显著的相关关系, 尤其是 OM、N、P、Ca 和 Mg 与海拔、坡度和坡向之间存在着显著相关关系, 只有 K 和 S 与这些地形变量之间的相关性不明显。其中, 就海拔而言, 有机质和 P 与海拔呈极显著正相关, 即研究区地势越高, OM 和 P 的含量也越高, 反之越低; 而 Ca 则相反, 与海拔呈显著负相关关系; 结果还表明, OM、N、P、K 几种大量元素与海拔呈正相关, 而 Ca、Mg、S 这 3 种中量元素与海拔呈负相关。就坡度而言, N 与坡度为正相关, 相关系数为 0. 193, 达显著水平, Ca 与坡度为负相关, 相关系数为-0. 199, 也达显著水平。就坡向而言, OM、N、P 与坡向的相关性与海拔相反, 为负相关; 且 OM 与坡向的相关系数为-0. 232, 达显著水平; 而 Ca、Mg 与坡向呈显著正相关关系, 其中, Ca 与坡向的相关系数为 0. 257, 达极显著水平, Mg 与坡向的相关系数为 0. 222, 也达显著水平。总的来说, OM、N、P 与海拔、坡度呈显著正相关, 与坡向呈负相关, 而 Ca、Mg 与海拔、坡度呈负相关, 与坡向呈显著正相关, 然而 K 和 S 与这些地形因子之间的相关性不明显。这与前面通过 Kriging 插值所得到的预测结果是一致的, 证实土壤养分与地形地貌之间的确存在很强的相关性。

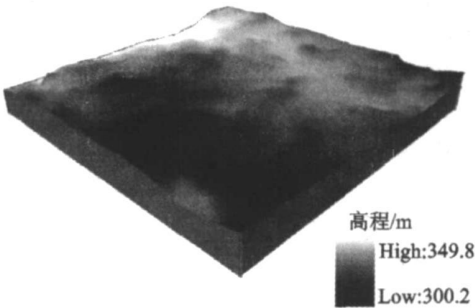


图 2 研究区域三维地貌图

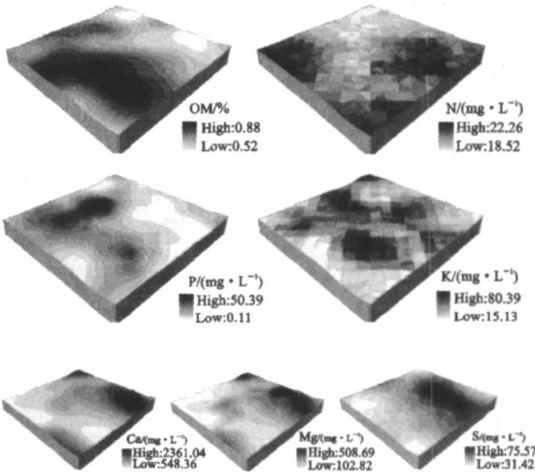


图 3 地形地貌与土壤养分分布的相关性

3.5 不同坡向、坡度及海拔等级的土壤养分差异

不同坡向、坡度及海拔高度具有不同的水分分配条件和物质移动堆积的特点, 地貌差异对土壤养分元素的分布有明显的影响^[12-14]。随着地形地貌条件的变化, 土壤养分含量也大不一样。该研究通过将坡向、坡度和海拔这 3 个地形因子进行分级^[15], 并计算不同等级的土壤养分含量的平均值, 得到的结果(表 4)与计算得到的结果是一致的。

表 4 表明: 采样点大多分布在坡度为 0~10°, 海拔 310

~ 340 m 的阴坡和半阴坡上, 且土壤养分同坡度、坡向、海拔等具有一定的关系。就坡向而言, 在阳坡的土壤中 Ca, Mg, S 的含量高, 而 N, P, K 的含量低; 在半阴坡的土壤中, OM, P, K 的含量高, 而 Ca, Mg, S 的含量低。这是由于阳坡气温较高, 土壤湿度小, 蒸发量较大, 使 N, P, K 的含量低, 而由于阳坡的这些条件又促进了岩石的风化, 从而使 Ca, Mg, S 的含量高。就坡度来说, 除 P 之外的所有养分元素都在< 2° 的

平地面上含量较高, 而且一般来讲, 坡度越陡, 养分含量越低。这是因为坡度越大, 土壤养分更容易流失的原因造成的。而就海拔而言, 海拔越高的区域, 气温越低, 蒸发量越小, 湿度越大, 有机质的输入量可能越大, 物质的分解率越小, 所以 OM, N, P, K 等养分比较富集, 而正是由于分解率小, 又导致高海拔区的土壤中有效态的 Ca, Mg, S 元素含量较低。

表 3 土壤养分与地形因子之间的相关关系

地形因子	OM / %	N / (mg • L ⁻¹)	P / (mg • L ⁻¹)	K / (mg • L ⁻¹)	Ca / (mg • L ⁻¹)	Mg / (mg • L ⁻¹)	S / (mg • L ⁻¹)
海拔高度	0.283* *	0.150*	0.309* *	0.081	- 0.191*	- 0.177	- 0.269
坡度	0.002	0.193*	0.129	- 0.099	- 0.199*	- 0.156	- 0.153
坡向	- 0.232*	- 0.062	- 0.035	0.004	0.257* *	0.222*	- 0.051

注: * 表示 $P < 0.05$; * * 表示 $P < 0.01$ 。

表 4 不同坡向、坡度及海拔等级的土壤养分含量特征

项目	分类	样品数	OM / %	N / (mg • L ⁻¹)	P / (mg • L ⁻¹)	K / (mg • L ⁻¹)	Ca / (mg • L ⁻¹)	Mg / (mg • L ⁻¹)	S / (mg • L ⁻¹)
坡向	阴坡 (0~ 45°, 315~ 360°)	40	0.67	17.77	18.33	66.13	1223.33	251.79	47.41
	半阴坡 (45~ 90°, 270~ 315°)	47	0.72	17.54	20.52	68.28	1076.55	224.52	48.46
	阳坡 (135~ 225°)	17	0.67	15.91	12.04	58.61	1578.49	316.44	63.33
	半阳坡 (90~ 135°, 225~ 270°)	17	0.66	19.93	18.46	68.00	1127.14	233.79	55.70
坡度	0 级(< 2°)	32	0.68	18.42	19.73	73.72	1381.93	280.15	55.16
	1 级(2~ 6°)	70	0.68	17.50	15.82	62.86	1192.89	246.61	51.26
	2 级(6~ 10°)	15	0.67	16.10	27.64	67.30	936.91	188.44	45.98
	3 级(10~ 15°)	3	0.67	17.48	17.47	65.10	1012.43	249.52	35.40
	4 级(15~ 25°)	1	0.70	36.15	10.45	42.60	711.75	175.30	48.10
	5 级(> 25°)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
海拔 / m	< 310	3	0.62	16.42	7.40	66.67	1301.98	249.90	49.47
	310~ 320	25	0.63	15.02	12.87	67.78	1220.87	226.51	56.12
	320~ 330	55	0.67	17.23	15.07	59.35	1368.45	276.76	55.07
	330~ 340	30	0.75	20.31	25.10	77.39	946.75	216.66	47.03
	> 340	8	0.78	20.07	36.03	66.84	928.98	230.49	25.79

4 结 语

对研究区 121 个采样点的分析结果表明, 该研究区土壤养分含量变异较大, 其变异系数为 22.06%~ 88.29%。研究区的地形因子与各种土壤养分含量的空间分布存在显著的相关性。有机质、N、P 与海拔和坡度呈显著正相关关系, 而与坡向呈显著负相关关系, Ca、Mg 与坡度和海拔呈显著负相关关系, 与坡向呈显著正相关, K 和 S 与这些地形因素的相关性不明显。还对研究区的地形变量进行了分级, 探讨了不同坡向、坡度及海拔等级的土壤养分差异, 其养分随地形因子的变异情况与相关系数的计算结果是一致的。通过对土壤养分和地形因子之间相关性的研究, 其研究结果可以为养分管理和合理施肥提供科学依据。所以该试验区, 在进行养分管理时, 管理者应考虑地形因素对养分分布的影响, 且在作物种植上也可指导农民进行合理的施肥。例如, 在坡度较大, 海拔较低的阳坡上, 一般 OM, N, P, K 等主要的养分元素含量较低, 在施肥时应加大这几种养分的施入量。

由于研究区域较小, 其研究仅针对一个小尺度的区域, 对于大尺度上的地形因子与土壤养分的相关性尚待进一步

的研究。

参考文献:

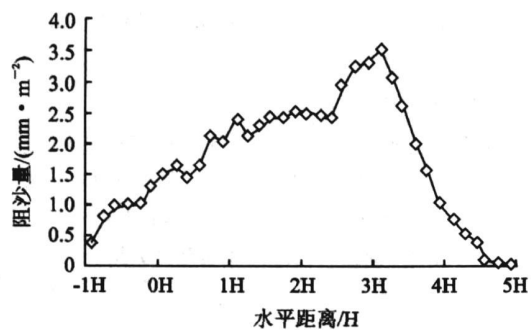
[1] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I The semivariogram and punctual Kriging[J]. Soil Sci., 1980, 31: 315-341.

[2] Webster R, Burgess T M. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III. Changing drift and universal Kriging[J]. Soil Sci., 1980, 31: 505-524.

[3] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas I. Semivariogram[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1982, 46: 1028-1032.

[4] Florinsky I V, McMahon S, Burton D L. Topographic control of soil microbial activity: a case study of denitrifiers[J]. Geoderma, 2004, 119: 33-53.

[5] 区美美, 王建武. 土壤空间变异研究进展[J]. 土壤, 2003, 35(1): 30-33.



- H: 迎风面距迎风缘的距离; H: 林内距迎风林缘距离

图 1 农田防护林带阻沙量分布特征

图 1, 2 是 2 种人工植被的阻沙量分布特征图。可以看出, 农田防护林带阻沙作用主要在林带背风面, 而杨树片林的阻沙作用主要在林内。农田防护林带中, 风沙流在林带迎风面 10H 的范围内由于受到林冠层的阻挡而在迎风面林缘风速降低, 气流相应的挟沙能力也减低, 促使一部分风沙发生沉降堆积。因此在林带的迎风面 1H 处开始出现沉降且沉降量仅占总量的 6.9%, 越靠近林带积沙量呈增加的趋势。但由于其枝叶较少, 林带内阻沙量较少, 仅为总量的 10.8%, 在林带的背风面 3H 处出现积沙量最大值, 占总量的 82.3% 左右。片林有紧密结构的特点, 具有连续的防护效益, 而且林下部通风较大, 风速在不同水平距离风速降低大小不同会导致风沙流在水平空间上沉积量与沉积沙的分布不均匀现象。在迎风面 1H 处开始出现阻沙现象, 迎风面 1H-10H 范围内沉降量占总沉积量的 12.9% 左右, 而且越接近林缘沉积量越大。在进入林缘内部 1H 的范围内出现沉降量最大的区域。在片林内部距林缘 1H-8H 处, 积沙量的分布随着风速的降低也逐步减低, 占总量的 87%。

2 种人工植被的阻沙效益大小次序为: 片林> 林带。这与植被的类型、结构和防风性能有密切的关系。各植被阻沙效率的大小与观测范围内防风效能大小的次序一致。

4 结 论

(1) 农田防护林带风速在林带后 7H 处降低最大, 比林外降低 56.1%, 防风效能最大, 为 56.3%; 杨树片林风速在 9H 处最小, 比林外降低 30.5%, 防风效能最大, 为 30.33%。

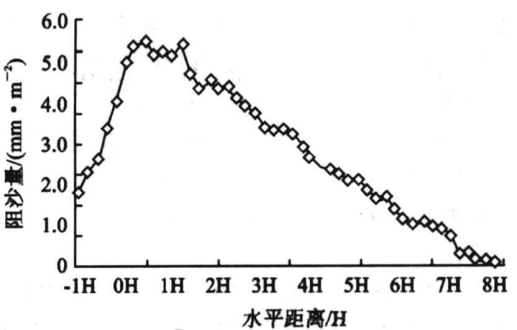


图 2 杨树片林阻沙量分布特征

(2) 不同类型的人工植被, 粗糙度各不相同, 杨树片林的粗糙度最大, 农田防护林的粗糙度较小, 片林的粗糙度比林带道路提高了 1.65 倍, 比裸地提高了 4.81 倍。

(3) 片林主要为迎风面和林内阻沙, 而林带则在迎风面、林内及背风面都有阻沙作用。农田防护林带阻沙作用主要在林带背风面, 占总阻沙量的 82.3%, 而杨树片林的阻沙作用主要在林内, 占总阻沙量的 87.1%。平均阻沙量片林> 林带防护林。

参考文献:

[1] 朱海丽. 退化生态系统植被恢复研究进展[J]. 现代农业科技, 2006, 22(6): 100-102.

[2] 肖辉杰, 丁国栋, 贾瑞燕, 等. 京郊荒滩生态恢复初期植被与土壤环境的变化: 以延庆县为例[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 202-206.

[3] 岳德鹏, 刘永兵, 徐伟, 等. 北京市永定河沙地人工植被防风阻沙效益分析[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(2): 21-24.

[4] 周广胜, 朱廷曜. 林带阻力系数与透风系数关系的理论分析[J]. 应用生态学报, 1994, 5(1): 43-45.

[5] 曹新孙. 农田防护林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983.

[6] 黄富祥, 高群. 毛乌素沙地不同防风材料降低风速效应的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 27-30.

(上接第 49 页)

[6] 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.

[7] 刘付程, 史学正, 王洪杰, 等. 苏南典型地区土壤锌的空间分布特征及其与土壤颗粒组成的关系[J]. 土壤, 2003, 35(4): 330-333.

[8] 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[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64-67.

[9] 王宏庭, 金继运, 王斌, 等. 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.

[10] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研

究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.

[11] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field scale variability of soil properties in central low a soils[J]. J. Soil Sci. 1994, 58: 1501-1511.

[12] 刘秀娣, 李建云. 土壤有效微量元素含量与不同地貌单元关系研究: 以河南省新乡地区卫辉市和辉县市为例[J]. 环境科学, 1994, 15(5): 17-22.

[13] 李永华, 王五一, 雒昆利, 等. 大巴山区土壤中硒和氟[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 61-67.

[14] 唐将, 李勇, 邓富银, 等. 三峡库区土壤营养元素分布特征研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 473-478.

[15] 邱道持, 土地资源学[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2005: 84-85.