

森林土壤空间变异性及其样本容量的确定

杨清云, 曾 锋

(广东省生态公益林管理中心, 广州 510173)

摘 要: 在森林中多剖面多土层取土样测定结果表明, 土壤容重、非毛管孔隙度、渗透性能(稳渗率)、有机质、pH 值等都具有明显的空间变异性, 且垂直方向上的变异大于水平方向。由于各因子在垂直方向的变异规律不尽相同, 所以, 只有根据误差理论确定出每层所需的样品容量, 才能保证不同土层间的测定结果具有可比性。开展这一研究对指导合理取样和决定样品容量, 准确评价各因子在不同土层中的变化等具有一定参考价值。

关键词: 森林土壤; 空间变异性; 样本容量

中图分类号: S 714

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409( 2004) 03-0054-03

A Research on Spatial Variability of Forest Soil and  
Determining Number of Sample

YANG Qing-yun, ZENG Feng

( Non-commercial Forest Administration Office of Guangdong Province, Guangzhou 510173, China)

**Abstract:** By means of sampling and analyzing many soil sample's physical and chemical characteristic in different forest soil profiles, the results showed: forest soil bulk density, non-capillary porosity, infiltration capability(  $K_{10}$  ), soil organic matter content, soil pH value and so on, they have obvious roomage variability. And this roomage variability in vertical is more than that in horizontal. Therefore, we must base on the error theoretics to confirm the soil sample in different soil deepness. And this ensures the results correct and has relativity.

**Key words:** forest soil; spatial variability; sample content

土壤是一个时空变异连续体, 在测定土壤因子时, 一般都是抽样测定。样本容量越大, 抽样误差越小, 样本代表性就越强<sup>[1]</sup>。但样本容量过大, 需要消耗大量的人力和物力, 并且由于土壤各项因子存在空间变异性, 所以在一定精度要求和误差范围内, 在不同土层中测定同一因子的样本容量也不完全相同, 只有根据误差理论确定出每层所需的样本容量, 才能保证不同土层之间的测定结果具有相互可比性。本文以广东韶关始兴县罗坝镇上岗村的一片常绿阔叶林地土壤为例, 讨论土壤空间变异性及其样本容量的确定。

1 材料与方法

试验土壤为红壤。在研究区内的典型地段设置 9 个剖面。根据野外剖面特征, 在测定土壤物理性质时, 将剖面分为 5 层, 而测定化学性质时, 将其分为 6 层。所有试验均遵循国标的规定。

2 结果分析

2.1 土壤性状的空间变异性

利用经典统计分析方法, 分别计算土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙、非毛管孔隙、土壤稳渗性、有机质等项目的平均值(  $A$  ), 标准差(  $S$  ), 变异系数(  $CV$  ), 并按照反映离散程度变异系数的大小, 可粗略分为三级<sup>[2]</sup>, 弱变异性  $CV < 0. 01$ ; 中等

变异性  $CV = 0. 01 \sim 1$ ; 强变异性  $CV > 1$ 。结果如表 1、表 2、表 3、图 1、图 2。

表 1 土壤容重空间变异趋势

土层深 度/ cm	剖面1	剖面2	剖面3	剖面4	剖面5	剖面6	剖面7	剖面8	剖面9	A	S	CV
0~15	1.35	1.3	1.22	1.16	1.19	1.29	1.16	1.24	1.17	1.23	0.065	0.053
15~35	1.36	1.4	1.6	1.47	1.39	1.41	1.42	1.36	1.4	1.42	0.070	0.050
35~55	1.45	1.5	1.46	1.38	1.44	1.47	1.49	1.52	1.5	1.47	0.040	0.027
55~75	1.45	1.43	1.45	1.41	1.47	1.49	1.44	1.47	1.52	1.46	0.031	0.021
75~95	1.5	1.48	1.45	1.53	1.56	1.47	1.41	1.42	1.47	1.48	0.046	0.031
A	1.42	1.42	1.44	1.39	1.41	1.43	1.38	1.4	1.41			
S	0.058	0.071	0.122	0.126	0.123	0.073	0.115	0.097	0.128			
CV	0.041	0.050	0.085	0.091	0.087	0.051	0.083	0.069	0.090			

由表 1 可见, 9 个剖面 5 个不同层次土壤样品的容重无论是垂直方向还是水平方向都存在弱变异性。因土壤容重主要受土壤质地、结构、松紧度影响, 这些因素在垂直方向变化明显, 所以同一剖面在不同土层中的土壤容重反映的垂直方向上的变异性相比在同一土层不同剖面的土壤容重反映的水平方向上的变异性要大一点。在垂直方向上, 根据野外观察表明, 0~15 cm 土层因林下植物生长良好, 根系纵横交错, 土质疏松, 孔隙多且枯枝落叶较厚, 腐殖质丰富, 因而容重较小, 明显低于心土层。随着深度增加, 土壤黏性、紧实度

① 收稿日期: 2004-02-18

作者简介: 杨清云( 1955- ), 男, 大专, 广东省生态公益林管理中心副主任, 主要从事森林生态学和环境生态学研究。

迅速增加, 容重变化明显。但由于土层中石块含量、树根生长腐烂的原因, 造成土壤疏松程度、孔隙含量不同, 使土壤容重并没有随着深度增加而增加。在水平方向上, 土壤容重变异也不大。

由表 1 还可以看出, 不同土层深度的变异有所不同, 表层和底层变异较大, 中间层次变异较小, 这主要是表层受外界环境影响很大, 引起较大变异。

由表 2 可见, 非毛管孔隙度无论是垂直方向还是水平方向变异都很大, 垂直方向上变异系数  $CV$  为 0.31~0.50, 而水平方向上最大的变异系数在各土层中不尽相同, 在 75~95 cm 土层高达 0.52, 表层最小, 为 0.15。

表 2 土壤非毛管孔隙度变异趋势表													
土层深度/cm	剖面 1	剖面 2	剖面 3	剖面 4	剖面 5	剖面 6	剖面 7	剖面 8	剖面 9	A	S	CV	
0~15	9.03	8.06	11.26	10.92	8.98	8.94	7.66	11.7	8.23	9.42	1.406	0.149	
15~35	1.87	6.85	6.43	13.62	6.45	5.5	5.64	7.96	5.8	6.68	2.912	0.436	
35~55	7.77	7.24	6.22	6.72	6.58	5.61	6.23	11.8	4.74	6.99	1.892	0.271	
55~75	5.23	7.23	5.49	5.08	4.9	5.35	6.51	2.82	0.46	4.79	1.902	0.398	
75~95	1.89	5.66	2.87	2.19	0.36	2.84	1.68	3.14	4.33	2.77	1.455	0.525	
A	5.16	7.01	6.45	7.71	5.45	5.65	5.54	7.49	4.71				
S	2.686	0.713	2.479	3.731	2.615	1.774	1.862	3.589	2.300				
CV	0.521	0.102	0.384	0.484	0.480	0.314	0.336	0.480	0.488				

表 3 土壤稳渗率( $K_{10}$ )的变异趋势表													
土层深度/cm	剖面 1	剖面 2	剖面 3	剖面 4	剖面 5	剖面 6	剖面 7	剖面 8	剖面 9	A	S	CV	
0~15	0.127	0.087	0.166	0.138	0.108	0.126	0.048	0.037	0.088	0.10	0.040	0.386	
15~35	0.08	0.037	0.002	0.2	0.04	0.055	0.305	0.11	0.01	0.09	0.094	1.008	
35~55	0.047	0	0.062	0.103	0.032	0.029	0.01	0.172	0.002	0.05	0.053	1.038	
55~75	0.003	0.104	0.021	0.011	0.006	0.098	0.028	0.183	0	0.05	0.060	1.189	
75~95	0	0.004	0.028	0	0.029	0.005	0.008	0.124	0.02	0.02	0.037	1.522	
A	0.05	0.05	0.06	0.09	0.04	0.06	0.08	0.13	0.02				
S	0.048	0.042	0.058	0.076	0.034	0.044	0.114	0.052	0.033				
CV	0.935	0.915	1.047	0.841	0.800	0.706	1.423	0.416	1.365				

由表 3 可以看出, 水平方向同一层次不同剖面的渗透系数变异巨大, 35~55 cm, 55~75 cm, 75~95 cm 各层次变异系数甚至超过了 1, 这主要是因为有的土层土壤紧实, 黏性大, 孔隙小, 透水性差, 稳渗系数小, 而有的则因存在根孔或动物孔穴, 其透水性好, 稳渗系数大所致。由于偶然性较大, 引起了水平方向差异大。而在垂直方向, 同一剖面不同层次随土层深度增加, 紧实度增加, 少数孔穴的存在造成其变异性也很大。

图 1 表明, 土壤有机质在水平方向变异较小, 不同剖面同一土层深度的有机质都比较接近, 只有 15~35 cm 土层相差较大, 主要是由于不同剖面在同一区域植被类型, 残体凋落物相对单一, 从而造成有机质含量相差不大。极个别变化较大可能由于土层中动物残体或分泌物的影响。在垂直方向上, 不同土层之间, 有机质都存在随土层深度加大而明显降低的趋势(图 1), 因而变异也很大,  $CV$  都在 80%~100% 以上, 分析其原因, 认为表层由于植物凋落物较丰富, 有机质含量高, 但随着土层加深, 加上土壤较为致密, 有机质不容易转移到下层, 下层动物又少, 从而有机质含量逐渐降低, 故造成变异很大, 并存在下降趋势。

由图 2 可见, 垂直方向和水平方向 pH 值变异都很小。在垂直方向上, 不同土层的 pH 值变化趋势都比较相近, 表

层和底层土壤 pH 值都较高, 从 5~15 cm 层开始到底层 75~95 cm, 土壤 pH 值都呈从低到高的上升趋势, 从总体上看垂直方向上变化呈 V 字形, 研究分析认为, 出现这种情况是因为表层较为疏松, 非毛管孔隙都较大, 渗透性能好, 酸性离子随降水迅速下渗, 表层保留相对要少, 故 pH 值较高, 而到了 35~55 cm 土层以下, 土壤黏性都较大紧实度越来越高, 渗透性能变差, 酸性离子难以下渗, 在 35~55 cm 之间形成淀积层, 致使 pH 值下降, 而 55 cm 以下土层酸性离子少, pH 值相对就高, 或者土壤碱性离子含量高, 并都沉积在土壤底部, 引起 pH 值上升, 变异较大。

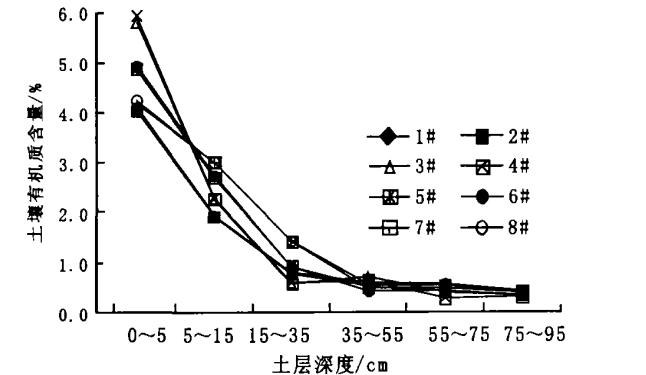


图 1 土壤有机质含量变化趋势

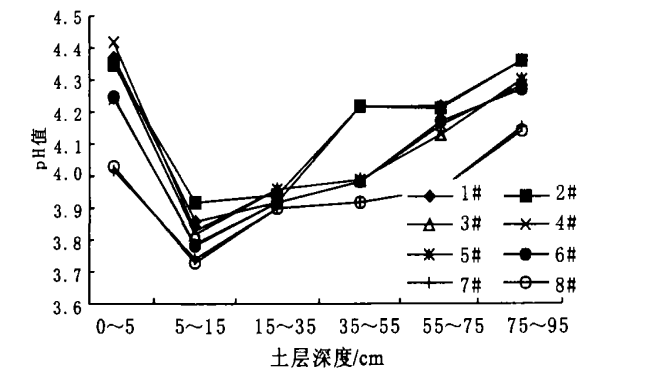


图 2 土壤 pH 值变化趋势

## 2.2 样本容量的确定<sup>[1,3]</sup>

为了用有限的观测值去估计各参数的均值(或期望值), 并有足够的可靠性和精度, 则必须合理确定取样数或观测数目。若认为取样是独立的, 并当取样数足够时, 极限定理成立, 则可由置信区间确定取样数目。设某随机变量  $X$  总体的均值为  $\mu$ , 方差为  $\sigma^2$ , 容量为  $N$  的样本平均值记为  $A$ , 则取样数目以下式表达:

$$P\{|A - \mu| \leq \Delta\} = P_i \quad (1)$$

式中:  $P_i$ ——置信水平, 这里取为 95%,  $\Delta$ ——根据要求所确定的估计精度,  $A$ ——本身也是一个随机变量, 根据极限定理, 随机变量  $t = (A - \mu) / (\sigma^2/N)^{0.5}$  服从标准正态分布, 因此。

$$P\{|A - \mu| \leq 1.96(\sigma^2/N)^{0.5}\} = 95\% \quad (2)$$

由(1)和(2)可知, 取样数  $N$  为

$$N = 3.84(\sigma^2/N)^2 \quad (3)$$

若取  $\Delta = Ku$ , 并在实际应用中, 总体的  $\sigma^2$  和  $CV$  均未知, 只能用样本的方差  $S^2$  去代替  $\sigma^2$ , 则(3)式可改写成

$$N = 3.84(CV/K)^2 \quad (4)$$

然后由统计分析原理可知, 随机变量  $t = (A - \mu) / (S^2/N)^{0.5}$

服从  $t$  分布, 因而

$$P\{|A \sim u| / (\delta^2/N)^{0.5} \quad t_{\alpha/2}(df)\} = P_i \quad (5)$$

式中:  $t_{\alpha/2}(df)$  为  $t$  分布的特征值, 由显著水平  $\alpha = 1 - P_i$  和自由度  $df = N - 1$  分布查  $t$  表确定。

由 (5) 式可知, 满足 (1) 式的取样数为

$$N = t_{\alpha/2}^2(df) \times (S/\Delta)^2 \quad (6)$$

若令  $\Delta = KA$ , 则

$$N = t_{\alpha/2}^2(df) \times (CV/K)^2 \quad (7)$$

$K$  是与测定值和期望值之差有关的系数,  $K$  值越小, 则测定值准确值越高。例如  $K = 10\%$  时, 就表明估计值和期望值之差小于期望值的  $10\%$ 。在置信区间估计中,  $t_{\alpha/2}^2(df) \times S/N^{0.5}$  代表着估计误差, 它与  $A$  的比值即可看作  $K$  值。计算表明,  $K$  的取值基本上由  $CV$  决定。当  $CV < 10\%$ ,  $CV = 10\% \sim 20\%$ ,  $CV = 20\% \sim 30\%$  和  $CV > 30\%$  时,  $K$  值分别取  $5\%$ ,  $10\%$ ,  $20\%$  和  $30\%$ 。

一般确定取样数目时, 首先用样本的单次标准差  $S^2$  代替  $\delta^2$ , 由 (3) 或 (4) 可确定出  $N_1$ , 再由  $N_1 - 1$  和显著水平  $\alpha$  在  $t$  值是查到  $t$  值, 代入公式 (7), 计算出  $N_2$ , 再由  $N_2 - 1$  查  $t$

参考文献:

[1] 朱仁海, 杨琪瑜, 沈文瑛. 林业数学方法丛书——统计分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990. 30- 135.  
[2] 李世清, 高亚军, 李生秀. 土壤养分的空间变异性及确定样本容量的研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 56- 59.  
[3] 唐守正. 多元统计分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986. 73- 111.

(上接第 13 页)

危害着历史文化名城的生活和发展, 威胁着文物的保护, 这些都是亟待解决的问题。

### 8 总结: 雏形体系的困难和趋势

通过对我国风景资源现状和问题的梳理, 可以看出, 我国保护性用地体系已经初具雏形, 存在以下一些共同的症结: ①观念与认识方面, 人们对资源保护认识不够, 对风景资源的价值认识不全面, 仅仅看到经济价值。这是保护性用地产生诸多问题的总根源; ②行政与管理体制是许多问题产生的温床, 部门利益冲突的根源。我国出现了自然保护区、风景名胜区和森林公园鼎立的局面, 例如国家级森林公园已达 439 处, 和其他保护地如风景名胜区在空间上重叠, 多种经营方式有待探讨, 但是一个统一的管理部门急需建立, 尽快建立国家公园体系; ③立法方面, 各有关部门立法丰富, 风景名胜区、自然保护区、森林公园、文物等各有立法, 但是未形成体系, 仍是各自为战, 缺乏协调的一体的法律体系; ④技术方面, 风景资源保护和利用的相关科研仍然缺乏, 相应的保护技术研究明显不足, 导致科研总体水平不高, 限制风景

参考文献:

[1] 楚汉. 关爱风景名胜区[J]. 长江建设, 2002, (4): 4- 5.  
[2] 国家环境保护总局自然生态保护司. 2001 年全国自然保护区统计分析报告[R]. 2002. 3- 6, 18- 26.  
[3] 孙克南, 赵小宇. 森林公园建设存在的问题及对策[J]. 河北林业科技, 2000, (5): 50- 51.  
[4] 王长安. 我国森林公园建设和森林旅游业发展中存在的主要问题及对策[J]. 林业资源管理, 1998, (3): 38- 43.  
[5] 傅振国, 钟嘉报. 我国世界生物圈保护区增至二十一个[N]. 人民日报海外版, 2001- 12- 06(1 版).  
[6] 胡涌, 张启翔. 森林公园一些基本理论问题的探讨——兼谈自然保护区、风景名胜区和森林公园的关系[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 49- 57.

值表, 计算出  $N_3$ , 反复计算直至所求  $N$  与所用的  $t$  值出现基本相对反复为止, 见表 4。

表 4 土壤样本容量的确定					
土层深度/cm	0~15	15~35	35~55	55~75	75~95
土壤容重	5	5	1	1	2
非毛管孔隙度	9	10	5	9	14
稳渗率	8	46	48	63	101
有机质	10/12*	6	9	16	17
pH 值	3/1*	1	2	2	3

注: 在 0~15 cm 处, 有机质和 pH 值的样本容量分别为 0~5 cm 深处为 10, 3 个; 5~15 cm 深处为 12, 1 个。

### 3 结 论

- (1) 森林土壤存在明显的空间变异性。总体上讲, 其垂直方向变异性大于水平方向变异性。
- (2) 根据误差理论, 测定各项土壤理化指标时, 每层所需样本容量有很大差异, 一般变异系数越大, 取样数目即样本容量也越大, 容重、总孔隙度、pH 值变异不大, 样本容量较小, 而稳渗率、有机质、非毛管孔隙变异很大, 其样本容量很大。