

浙江省森林表层土壤基本化学性质和有机碳储量的空间变异

叶玲燕^{1,2}, 傅伟军^{1,2}, 姜培坤^{1,2}, 李永夫^{1,2}, 张国江³, 杜群³

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 采用地理信息系统(GIS)与地统计学相结合的方法, 对浙江省森林表层土壤(0~10 cm)有效磷、速效钾、碱解氮、有机碳和 pH 值的空间变异性进行研究。结果表明: 全省表层土壤基本化学性质和有机碳数据通过对数转换基本符合正态分布; 在空间分布研究上, 有效磷符合高斯模型, 碱解氮符合球状模型, 有机碳、速效钾、pH 值符合指数模型; 在全省表层土壤基本化学性质和有机碳的克里格插值结果中, 有机碳与碱解氮的空间分布图高值分布区在空间地理位置上较相似, 集中分布在海拔较高的淳安、丽水地区, 有效磷、速效钾、pH 值空间分布图高低值区域差异较大, 有机碳与碱解氮呈极显著正相关性($P < 0.01$)。图 3 表 5 参 25

关键词: 森林土壤学; 地统计学; 基本化学性质; 有机碳; 空间变异; 浙江省

中图分类号: S714.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)06-0803-08

Spatial variation of basic chemical properties and organic carbon storage for forest top-soil in Zhejiang Province

YE Ling-yan^{1,2}, FU Wei-jun^{1,2}, JIANG Pei-kun^{1,2}, LI Yong-fu^{1,2}, ZHANG Guo-jiang³, DU Qun³

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resources Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Resources Monitoring Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

Abstract: The paper is to study spatial distribution of forest soil pH, available phosphorus (AP), available potassium (AK), alkali-hydrolyzable nitrogen (AN), and organic carbon (OC) across Zhejiang Province using geographical information system (GIS) technology, geostatistical analysis methods, and a correlation analysis. Results indicated that, AP fit a Gaussian model; AN fit a spherical model; and OC, AK, and pH fit an exponential model. Geography spatial analysis distribution, the result maps of soil organic carbon (SOC) and AN revealed strong spatial similarity with high concentrations mainly located in Chun'an County and Lishui City. The correlation analysis further confirmed a highly significant correlation ($P < 0.01$) between SOC and AN. [Ch, 3 fig. 5 tab. 25 ref.]

Key words: forest soil science; geostatistics; basic chemical properties; organic carbon; spatial variation; Zhejiang Province

土壤作为历史自然体, 受气候、生物、母质、地形、成土时间等成土因素的影响, 具有复杂性和时空变异性^[1], 在特定范围内其属性特征变化是连续的^[2]。土壤变异性是普遍存在的, 其变异来源包括系统变异和随机变异 2 种^[3]。研究结果表明: 土壤中大量和微量元素的空间变异性, 取决于土壤的母质性

收稿日期: 2011-11-12; 修回日期: 2012-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31170567); 浙江省重点科技创新团队项目(2010R50030); 浙江省林业厅资助项目(20452000127)

作者简介: 叶玲燕, 从事土壤学研究。E-mail: yelingyan_5093@163.com。通信作者: 姜培坤, 教授, 从事土壤与环境科学研究。E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn

质和地形位置,并与气候、大气沉降、降水和农业措施等有关^[4]。作为复杂的自然综合体,难以对土壤形态和性质作定量化描述,尤其是对土壤过程的空间变异以及空间相关性和依赖性作定量描述相当困难。地统计和区域化变量的研究,以存在空间上连续变化的自然现象为前提,能反应出空间相近点与空间分散的点在理化性质上的相似程度^[5]。地统计学已被广大学者作为空间分析的一项有用工具,是分析土壤空间特性和研究其变异规律的有效方法之一^[6]。早在1982年,Yost等^[7]运用地统计学进行夏威夷岛土壤化学性质的大尺度土壤特性研究。国内地统计学在土壤科学上应用,最早用于土壤的颗粒组成、干容重、土壤水吸力、含水量和饱和导水率的空间变异性等地理特性上的分析^[8]。近年来,用于将土壤某一性质的变异与成土因子和成土过程联系起来探索其空间分布特征及其变异规律,或用克立格等方法对未采样区的区域化变量的值进行无偏最优估计^[5],也有对坡地土壤水分特性的空间变异进行研究^[9],在化学特性上也有相关研究^[10]。在土壤元素空间变异的研究上,对了解土壤元素和合理利用开发土地资源有重大意义^[11]。地统计学在土壤上的研究目前多集中于只具有少数样点数据的农业园区、实验小区^[12]。本研究基于浙江省范围内森林资源调查的样点,在省域大尺度范围下,对高密度采样点探讨森林土壤属性空间变异情况。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

浙江省位于中国东南沿海(27°06'~31°11'N, 118°01'~123°10'E),自西南向东北倾斜,呈梯级下降;东北部为冲积平原,中部以丘陵为主,西南部为平均海拔800 m的山区,全省最高海拔为1 929 m。全省陆域面积为10.18万km²,海域面积26.00万km²。

浙江属亚热带季风气候,地处南亚热带和北亚热带过渡地带,日照充足,四季分明,气候温和,年平均气温为17.0℃,雨水充沛,年平均降水量为1 319.7 mm。全省以丘陵山地红壤、黄壤等地带性土壤和海岛饱和红壤为主,植被类型有常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿落叶针叶混交林、山地矮林和山地草丛灌丛。有高等植物288科1 471属4 600余种,其中,木本植物107科423属1 407种^[13]。

根据浙江省林业勘察研究院2011年监测报告,2010年度的森林资源监测结果为:全省林地面积为661.85万hm²,森林面积601.90万hm²,森林覆盖率59.12%(按浙江省以前公布的同比计算口径为60.63%),活立木总蓄积2.54亿m³,森林蓄积2.28亿m³,毛竹总立竹量21.13亿株,乔木林蓄积量55.09 m³·hm⁻²^[14]。

1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 样品采集 研究数据主要来自2010年浙江省森林土壤碳储量和质量调查。按照系统抽样的方法,采用全球定位技术,结合地形图在全省林地的固定样地布设土壤样点,采用4 km×6 km网格布点法得到样点840个,全部样品在2010年6月1日至11月30日间采集,样品在野外采集后,邮寄至室内分析室,随即对样品进行晾干、研磨处理保存备用。

在每个样点设立典型土壤剖面,在采样点沿坡面方向垂直向下挖取,剖面挖掘深度100 cm,土层厚度不足100 cm时,挖至母岩层,剖面宽60~80 cm。剖面挖好后,再用小锄头或小刀进行修整,然后进行分层0~10, 10~30, 30~60, 60 cm以下,用小刀划一横线作为记号,再进行土壤剖面观察记载和剖面编号。每个土层采集土壤容重和土壤理化性质分析2个样品,装入塑料袋中并编号,带回实验室进行分析。土壤有机碳主要储存于表层土壤中,其储量一般随土层深度的加深而逐渐减少^[15],尤集中于表层土壤,因此取0~10 cm的表层土为研究对象。

1.2.2 样品处理与分析 土壤样品在室内晾摊自然风干,拣出石块、根系等异物,过2 mm筛,装瓶供土壤pH值、碱解氮、有效磷和速效钾质量分数分析测定用。再从上述样品中取出一部分,用玛瑙研钵

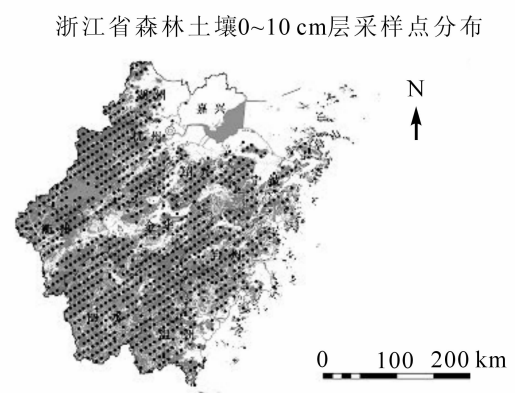


图1 采样点位图

Figure 1 Map of soil sampling locations

研磨过 0.149 mm 筛子，装瓶供土壤有机质分析测定用。分析方法如下：pH 值采用电位法，有机碳测定采用重铬酸钾外加热法，碱解氮采用碱解扩散法，有效磷采用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法，速效钾采用醋酸铵(NH₄OAc)浸提-火焰光度法^[16]。

1.3 数据分析方法

采用 SPSS 18.0 进行各项指标的描述性统计分析、相关性分析；对各指标进行 Quantile-Quantile (Q-Q)作图、正态检验(K-S)。K-S 又称 Kolmogorov-Smirnov 单一样本检验，该方法是研究由样本资料算得的第 i 个点和第 $i - 1$ 个点上的经验累计分布函数与正态分布函数之间的最大偏差，进而根据最大偏差的分布规律作出统计推断。

用 Vesper 软件进行地统计分析，包括确定半方差函数各种特征参数，研究土壤性质指标的时空变异特性。采用澳大利亚精准农业中心(ACPA)开发的 Vesper 地统计软件，对研究区域土壤的基本化学性质和有机碳进行结构分析。Vesper 使用 SSE(sum of squared error)或 A_{1c} 道信准则(Akaike information criterion)来做为评价标准，SSEz 最小或 A_{1c} 最小模型拟合得最好以此对插值精度的评价^[17]。用 ArcGIS 9.2 在 1:30 万浙江省矢量化地图和浙江省森林资源分布图上采用内插法制作空间分布图。

函数结构分析是有效的方法。 $A_{1c} = n \ln(R) + 2p$ 。其中： R 是余差平方和； p 参数的数量。

土壤有机碳密度(SOC density, d_{soc})通常是指单位面积单位深度土体中土壤有机碳质量，单位为 $kg \cdot m^{-2}$ 。 $d_{soc} = C \times \theta \times D/100$ 可用来计算土壤有机碳密度，其中： C 为土壤有机碳的平均质量分数($g \cdot kg^{-1}$)， D 为土层厚度(cm)， θ 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$)。

土壤有机碳储量(SOC storage, S_{soc})采用 $S_{soc} = S \times d_{soc}$ 计算，其中 S 为研究区面积。

2 结果分析与讨论

2.1 土壤基本化学性质和有机碳描述性统计

研究区域中土壤各基本化学性质和有机碳的变异系数有较大差异，土壤有效磷的变异系数最大，土壤 pH 值的变异系数最小，分别为 238.70%和 11.70%(表 1)。变异系数的大小与该属性的质量分数受人活动影响的大小呈正相关，并且与土壤母质、环境气候等因素相关。土壤有机碳、碱解氮、速效钾的变异系数接近 50%，属中等变异范围，适合进行空间插值。

表 1 土壤表层各基本化学性质和有机碳的描述性统计

Table 1 Description statistics of soil basically chemical properties and organic carbon

项目	土壤有机碳/(t·hm ⁻²)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	土壤有效磷/(mg·kg ⁻¹)	土壤速效钾/(mg·kg ⁻¹)	pH 值
最小值	2.768	0.06	0.08	10.00	2.69
5%	11.825	0.41	1.00	40.00	3.88
25%	20.876	0.75	2.30	70.00	4.30
中位数	28.882	1.11	3.70	90.00	4.62
75%	41.694	1.55	6.25	130.00	4.96
95%	68.913	2.79	15.88	190.00	5.58
最大值	174.589	5.60	195.40	700.00	8.09
平均值	33.49	1.28	6.71	101.26	4.66
变异系数/%	57.70	59.20	238.70	51.00	11.70

区域化变量要求研究变量随机误差的均值为 0 且任意 2 个随机误差之间的协方差依赖于它们之间的距离和方向^[5]，一般采用研究对象的标准差、峰度、偏度、变异系数来判定数据是否趋于正态分布。标准差表示对均值的离散情况，该值越大表明离均值越远^[18]；峰度表示观测值的聚中程度，大于 0 时该值越大表明分布图越陡峭、越尖，小于 0 表明分布图比较扁平；偏度表明分布图是否对称的度量，该值为 0 时为正态分布，该值大于 0 时表示左支比右支延伸的更长，小于 0 则反之。原始数据的峰度、偏度都不接近 0，可能是由于原始数据存在比例效应，而掩盖其原本的空间性质^[19]，对数转换后，有机碳和碱

解氮 2 个土壤属性的峰度、偏度基本接近 0, 通过 *K-S* 检验, 其值大于 0.05 表明符合正态分布, 转换后的统计分析见表 2, 但是土壤有效磷和土壤速效钾的仍未通过正态检验。

表 2 土壤表层各基本化学性质和有机碳 *K-S* 检验

Table 2 Shewness, Kurtoneess and *K-S* test values of soil basically chemical properties and organic carbon

项目	土壤有机碳	碱解氮	土壤有效磷	土壤速效钾	pH 值	
原始数据	偏度	2.147	1.718	8.481	2.788	0.851
	峰度	8.973	4.669	80.097	22.942	3.115
	<i>K-S</i> 检验 <i>P</i> 值	0	0	0	0	0
对数转换后数据	偏度	-0.293	-0.316	0.345	-0.361	
	峰度	0.977	0.874	3.129	0.998	
	<i>K-S</i> 检验 <i>P</i> 值	0.189	0.095	0.005	0	

从数据经过对数转换后的 *Q-Q* 图(图 2A, 图 2C)可以看出土壤有效磷存在离群数值, 对原始数据剔除偏离正态分布值, 并经对数转换后的数据做 *Q-Q* 图(图 2B, 图 2D)并再检验其正态性, *K-S* 检验 *P* 值大于 0.05, 符合正态分布要求, 检验结果见表 3。对比数据经适当转换前后的 *Q-Q* 图发现, 土壤有效磷较小值范围内较之前更符合预期正态分布, 在大值区域内与正态值仍有偏差; 而速效钾的原始数据变异系数为 51%, 但 *K-S* 检验 *P* 值为 0, 即使数据经去除异常值且对数进行对数转换仍未达到检验要求, 可能是由于速效钾的原始值集中于有限个整数值, 导致在 *Q-Q* 分布图上出现叠置效应, 以致 *K-S* 检验通不过要求^[20]。

表 3 有效磷速效钾剔除异常值后对数转换统计描述

Table 3 Statistics description of AP and AN after outliers removal

项目	m_p	$\ln m_p$	m_k	$\ln m_k$
最小值	0.50	-0.69	30.00	3.40
5%	1.10	0.10	40.00	3.69
25%	2.40	0.88	70.00	4.25
中位数	3.75	1.32	90.00	4.50
75%	6.13	1.81	120.00	4.79
95%	12.73	2.54	180.00	5.19
最大值	50.00	3.91	240.00	5.48
平均值	5.21	1.34	99.43	4.51
变异系数/%	107	57	42	10
<i>K-S</i> 检验 <i>P</i> 值	0	0.64	0	0

说明: m_p 和 m_k 分别表示有效磷和有效钾质量分数。

2.2 土壤中各基本化学性质的空间变异和相关性

将样点数据采用 Vesper 软件分析, 通过对不同模型及参数的试验、拟合和比较, 采用道信准则 (A_{IC}) 最低值确定了各自的最优半方差函数拟合模型及变异参数(表 4)。

空间变异函数的参数反映了土壤中各基本化学性质和有机碳的空间变异特征。块金值由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异, 较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不容忽视^[21]。基台值通常表示系统内的变异, 块金值与基台值的比值可以表明系统变量的空间相关程度。比值小于 25% 说明系统具有强烈的空间相关性; 比值 25%~75%, 表明系统具有中等空间相关性; 大于 75% 则表明空间相关性很弱^[22]。空间弱相关表明变异绝大部分是由人为随机因素引起, 较强的空间相关性表明变异受土壤本身的性质影响较大。一般认为, 土壤的母质、地理等因素会引起较强的空间相关性, 而人为施肥、耕作等因素导致空间相关性减弱^[23]。

从表 4 可以看出: 浙江省森林表层土壤的各基本化学性质和有机碳, 只有有机碳和经过数据转换的

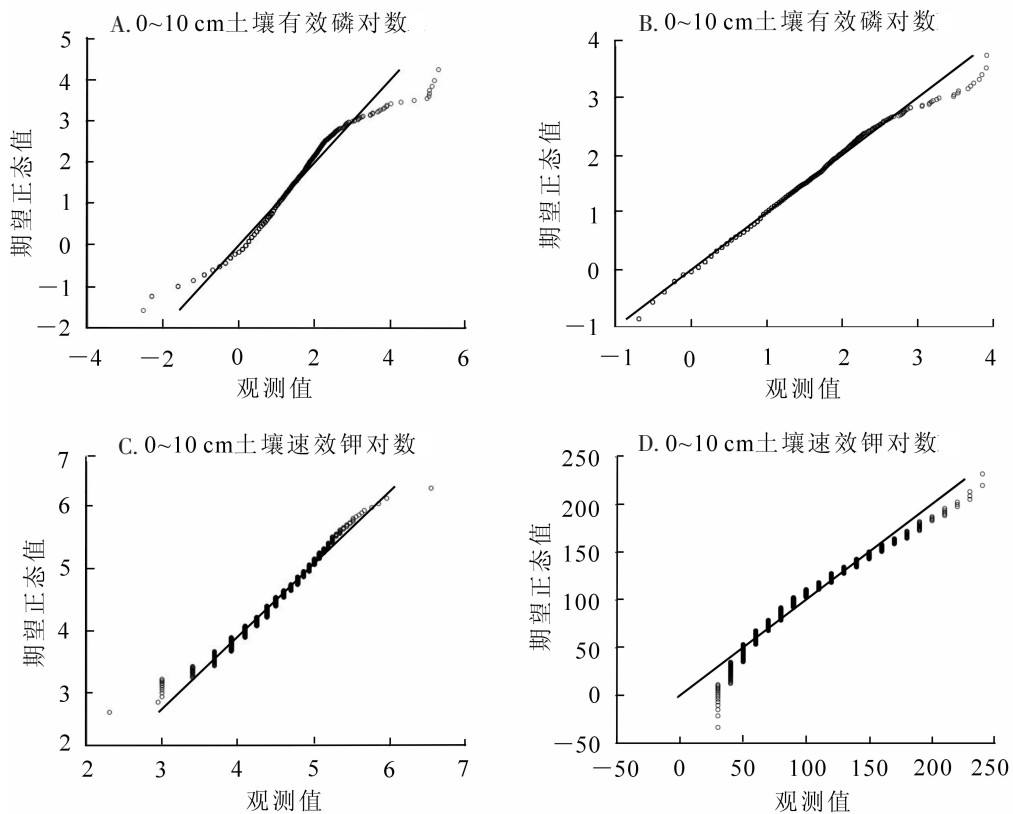


图 2 土壤表层有效磷和速效钾数据经过去除异常值前(A 和 C)后(B 和 D)的 Q-Q
Figure 2 Q-Q maps of available P and available K before (A and C) and after outliers removal (B and D)

表 4 土壤表层理化性质半方差函数拟合参数

Table 4 Parameters of semivariogram models fitted for soil physical-chemical properties

项目	块金值 C_0	偏基台值 C_1	道信准则 A_{IC}	变程 A/m	模型	均方根误差	块金效应 $C_0/(C_0+C_1)$
$\ln m_{SOC}$	0.199 00	0.114 50	-200.0	23 645	Exponential(指数)	0.006 475	0.634 768740
$\ln m_N$	0.273 10	0.070 77	-182.9	47 158	Spherical(球状)	0.008 529	0.794 195 481
pH	0.010 66	0.002 76	-429.1	35 861	Exponential(指数)	0.000 161	0.794 514 422
$\ln m_P$	0.482 90	0.104 10	-180.5	41 710	Gaussian(高斯)	0.008 869	0.822 657 581
$\ln m_K$	0.164 00	0.056 50	-258.8	15 140	Generalised cauchy(柯西)	0.002 429	0.743 764 172

说明：表中 m_{SOC} 为土壤有机碳， m_N 为碱解氮， m_P 为有效磷， m_K 为速效钾。

速效钾有中等空间相关性，碱解氮、pH 值较之于速效钾空间相关稍强，但三者都属于空间弱相关。

2.3 土壤基本化学性质及有机碳的空间模拟

应用 ArcGIS 9.2 的地统计分析模块，采用克里格空间插值法，对土壤的基本化学化性质和有机碳进行空间插值，结果见图 3。

碱解氮、有效磷、速效钾、pH 值和有机碳在全省范围内的分布具有空间差异的，碱解氮和有机碳在全省克里格插值图上的图形较为相似，而有效磷、速效钾、pH 值的插值图差异较大，反映出浙江省表层土壤各基本化学性质和有机碳在空间上的分布受不同因素的影响。有机碳和碱解氮的空间插值图上在浙西北千岛湖附近、浙西南衢州丽水区域等海拔相对较高区，有较大面积高值分布。有研究表明海拔较高地区，大量的草根及凋落物在地表累积，分解甚为缓慢，有机质质量分数高^[24]。

森林土壤中的碳，由植被吸收大气中的二氧化碳，通过光合作用形成有机碳，植物枯死之后落于土壤表面，形成凋落物层，经腐殖质化作用，形成土壤有机碳^[25]，导致这 2 个森林覆盖较密区域碳储量较高。而速效钾、有效磷、pH 值的空间分布图各不相同，高值与低值区域分布在省域内不同地区，可能

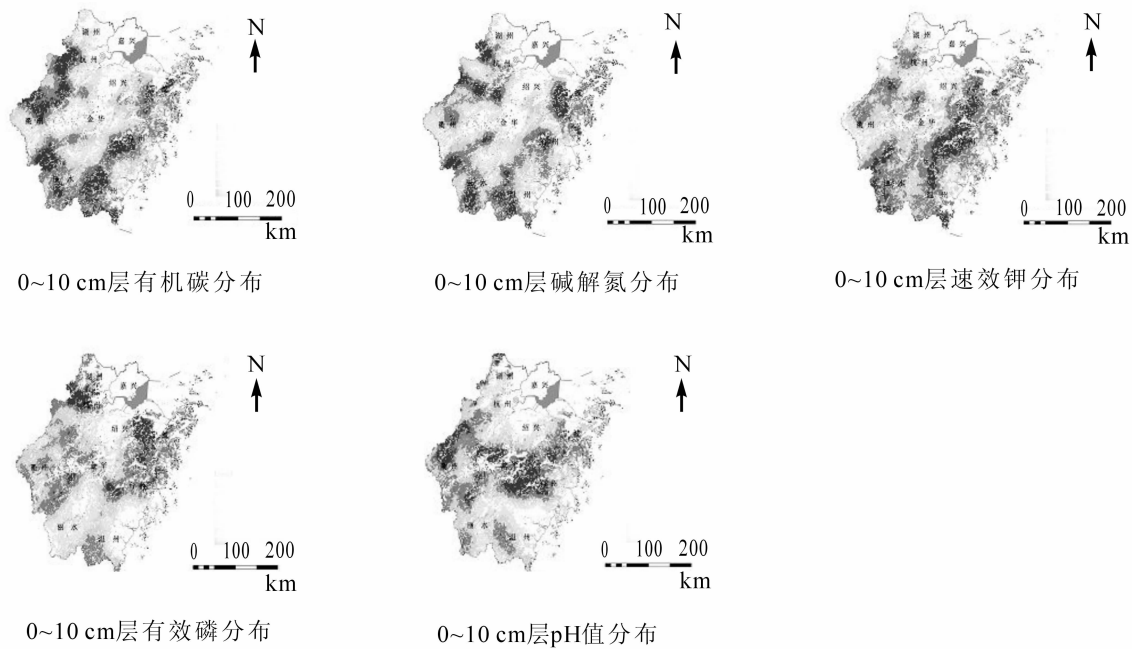


图3 浙江省表层土壤基本化学性质和有机碳 Kriging 插值结果图

Figure 3 Interpolation results maps of soil basically chemical and organic carbon properties in Zhejiang Province

与这些采样点包括经济林有关。经济林中人为施加化肥、有机肥导致磷、钾、pH 值的值在空间分布呈现出不同的规律。速效钾在东南沿海地带具有高值分布区，土壤有效磷在浙东北部分布较高，而 pH 值在浙中部地区程明显带状分布。

插值结果与 SPSS 相关分析结果相吻合，SPSS 相关性分析结果表明，0~10 cm 土壤层的有机碳和碱解氮呈极显著相关。

3 结论

通过 $Q-Q$ 图和 $K-S$ 检验分析，用自然对数转换、剔除异常值等方法对数据进行适当的转换是其符合正态分布有效手段。利用 Vesper 软件对不同土壤养分的空间变异特征分析发现，有效磷符合高斯模型，碱解氮符合球状模型，有机碳、速效钾、pH 值符合指数模型，与其他变量相比，有机碳的块金效应 $C_0/(C_0+C_1)$ 较小，空间自相关性较强。

各理化性质的空间分布图揭示有机碳与碱解氮的空间分布图高值区较相似，对于有效磷、速效钾、pH 值的空间分布差异较大，可能是在本次森林资源调查中，调查样地包含经济林种，有部分采样点落在人为干扰较大的经济林区，导致全省的磷、钾、pH 值分布差异显著，有机碳与碱解氮、速效钾呈显著正相关性。

参考文献：

- [1] 李亮亮, 依艳丽, 凌国鑫, 等. 地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J]. 土壤通报, 2005, **29** (2): 265 - 269.
LI Liangliang, YI Yanli, LING Guoxin, *et al.* Utilization of geostatistics in soil spation variability [J]. *Chin J Soil Sci*, 2005, **29** (2): 265 - 269.
- [2] 王永东, 冯娜娜, 李廷轩, 等. 在不同尺度下低山茶园土壤阳离子交换量空间变异性研究[J]. 中国农业科学, 2007, **20** (9): 1980 - 1988.
WANG Yondong, FENG Nana, LI Tingxuan, *et al.* Study on the spatial variability of the soil cation exchange capaci-

表5 土壤表层基本化学性质和有机碳相关性分析

Table 5 Correlation analyze of basically chemical properties and organic carbon in soil

项目	有机碳	碱解氮	pH 值	有效磷
碱解氮	0.459**			
pH 值	-0.051	0.022		
有效磷	-0.008	0.012	-0.019	
速效钾	0.226**	0.332**	0.177**	0.172**

说明：**表示极显著相关($P < 0.01$)。

- ty in hilly tea plantation soils with different sampling scales [J]. *Sci Agric Sin*, 2007, **20** (9): 1980 – 1988.
- [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 – 15.
HUANG Shaowen, JIN Jiyun. Advance in study on spatial variability of soil properties [J]. *Soil & Fert*, 2002 (1): 8 – 15.
- [4] 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.
- [5] 李艳, 史舟, 徐建明, 等. 地统计学在土壤科学中的应用及展望[J]. 水土保持学报, 2003, **17** (1): 178 – 183.
LI Yan, SHI Zhou, XU Jianming, *et al.* Utilization and perspective of geostatics in soil sciences [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, **17** (1): 178 – 183.
- [6] WEBSTER R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. *Adv Soil Sci*, 1985, **27** (3): 1 – 70.
- [7] YOST R S, UEHARA G, FOX R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas (I) Semi-variograms [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1982, **46**: 1028 – 1032.
- [8] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣. 土壤特性变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985, **1** (9): 10 – 20.
LEI Zhidong, YANG Shixiu, XU Zhirong. Preliminary investigation of the spatial variability of soil properties [J]. *J Hydraulic Eng*, 1985, **1** (9): 10 – 20.
- [9] 熊亚兰. 丘陵区土壤水分特性的空间变异及其水库贮量[D]. 重庆: 西南农业大学, 2004.
XION Yalan. *Spatial Variability of Soil Water Properties and Its Volumetric Capacity in Hill slope* [D]. Chongqing: Agricultural University of Southeast, 2004.
- [10] 孙波, 赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. 地理科学进展, 1999, **18** (2): 119 – 120.
SUN Bo, ZHAO Qiguo. Valuation indexes and methods of soil quality concerning red soil degradation [J]. *Prog Geogr*, 1999, **18** (2): 119 – 120.
- [11] 姜秋香, 付强, 王子龙. 空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展[J]. 水土保持研究, 2008, **15** (1): 250 – 254.
JIANG Qiuxiang, FU Qiang, WANG Zilong. Research progress of spatial variability theory in application to soil characteristic analysis [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2008, **15** (1): 250 – 254.
- [12] 常瑞英, 刘国华, 傅伯杰. 区域尺度土壤固碳量估算方法评述[J]. 地理研究, 2010, **29** (9): 1616 – 1629.
CHANG Ruiying, LIU Guohua, FU Bojie. Review on the methods for soil carbon sequestration at regional scale [J]. *Geogr Res*, 2010, **29** (9): 1616 – 1629.
- [13] 张茂震, 王广兴, 刘安兴. 基于森林资源连续清查资料估算的浙江省森林生物量及生产力[J]. 林业科学, 2009, **45** (9): 13 – 18.
ZHANG Maozhen, WANG Guangxing, LIU Anxing. Estimation of forest biomass and net primary for Zhejiang Province based on continuations forest resources inventory [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (9): 13 – 18.
- [14] 浙江省森林资源监测中心. 2011 年浙江省森林资源监测报告[R]. 杭州: 浙江省森林资源监测中心, 2012.
- [15] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, **55** (5): 533 – 545.
WANG Shaoqiang, ZHOU Chenghu, LI Kerang, *et al.* Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China [J]. *Acta Geogr Sin*, 2000, **55** (5): 533 – 545.
- [16] 傅瓦利. 土壤地理学实验实习指导书[M]. 重庆: 西南大学, 2006: 15 – 24.
- [17] WEBSTER R, Mc BRATNEY A B. On the akaike information criterion for choosing models for variograma of soil properties [J]. *J Soil Sci*, 1989, **40**: 493 – 496.
- [18] 陈文辉, 谢高地, 卓庆卿. 农田基础环境信息空间变异性分析[J]. 生态学报, 2004, **24** (2): 347 – 352.
CHEN Wenhui, XIE Gaodi, ZHUO Qingqing. The analysis of the spatial of farmland basic environment information [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (2): 347 – 352.
- [19] 王政权. 地统计及其在生态学上的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 39.
- [20] ZHANG Chaosheng, MANHEIM F T, HINDE J, *et al.* Statistical characterization of a large geochemical database and effect of sample size [J], *Appl Geochem*, 2005, **20**: 1857 – 1874.
- [21] 杜华强, 汤孟平, 崔瑞蕊. 天目山常绿阔叶林土壤养分的空间异质性[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (4): 562 – 569.
DU Huaqiang, TANG mengping, CUI Ruirui. Spatial heterogeneity of soil nutrients in an evergreen broadleaved for-

- est of Mount Tianmu, Zhejiang [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (4): 562 – 569.
- [22] 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.
- GUO Xudong, FU Bojie, CHEN Liding, *et al.* The spatio-tem-poral variability of soil nutrients in Zunhua Plain of Hebei Province: Semivariogram and Kriging Analysis [J]. *Acta Geog Sin*, 2000, **55** (5): 555 – 566.
- [23] 刘杏梅, 张蔚文. 中尺度上水稻田质量与精确农业[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, **31** (6): 745 – 749.
- LIU Xingmei, ZHANG Weiwen. Paddy field quality and precision agriculture at moderate scale [J]. *Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2005, **31** (6): 745 – 749.
- [24] 宋满珍, 刘琪璟, 吴自荣, 等. 江西省森林土壤有机碳储量研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, **34** (2): 6 – 11.
- SONG Manzhen, LIU Qijing, WU Zirong, *et al.* Organic carbon strage of forest soil in Jiangxi Province [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2010, **34** (2): 6 – 11.
- [25] 王绍强, 陈育峰. 陆地表层碳循环模型研究及其趋势[J]. 地球科学进展, 1998, **17** (4): 64 – 72.
- WANG Shaoqiang, CHEN Yufeng. The study and trendson terrestrial carbon cycle models [J]. *Adv Earth Sci*, 1998, **17** (4): 64 – 72.

=====

《浙江农林大学学报》2013 年征订启事

《浙江农林大学学报》连续 6 次入选全国中文核心期刊, 荣获第二届国家期刊奖百种重点期刊奖, 首届浙江省优秀科技期刊二等奖, 第二届浙江省优秀科技期刊一等奖, 浙江省精品科技期刊, 首届和第二届全国优秀科技期刊三等奖, 全国高校优秀科技期刊一等奖。

《浙江农林大学学报》主要报道农林基础学科、森林培育学、森林经理学、经济林学、林业工程、植物保护学、林木育种学、植物学、生态学、动物学、生物技术、环境保护学、园林学和园艺学等学科的学术论文、问题讨论和研究简报等, 供农林科技工作者、园林绿化和规划设计人员、环保工作者、大专院校师生、基层干部、农林科技专业户及科技信息人员参阅。双月刊, 大 16 开本, 158 页。国内外公开发行。ISSN 2095-0756, CN 33-1370/S。所刊文章被国内外 20 多种文摘刊物和数据库收录。附英文目次和英文摘要。

2013 年《浙江农林大学学报》定价: 20.00 元/期, 全年 120.00 元/份。国内订户请向全国非邮发报刊联合发行部订阅。地址: 300381 天津市大寺泉集北里别墅 17 号。电话: 022-23973378。E-mail: LHZD@public.tpt.tj.cn。也可直接向浙江农林大学学报编辑部汇款订购。邮汇: 311300 浙江临安浙江农林大学学报编辑部。电话: 0571-63732749。E-mail: zlx @ zafu.edu.cn。银行汇款: 建行临安市支行营业部。账号: 33001617335050018761。户名: 浙江农林大学。

国外读者请向中国出版对外贸易总公司办理订阅手续。地址: 100011 北京 782 信箱。
欢迎订阅, 欢迎投稿。