

文章编号: 1008 - 2786 - (2011)4 - 427 - 06

## 山坡土壤化学性质的空间变异影响

冯德钲<sup>1,2</sup>, 刘金涛<sup>1,2,3</sup>, 陈 喜<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;  
3. 南京大学水科学系, 江苏 南京 210093)

**摘 要:** 选取太湖源头和陆桥小流域为研究对象, 通过 90 个点的土壤现场采样及室内化学性质分析, 旨在揭示其空间分布规律及相关地貌影响。35 个代表性采样点的分析表明, 在山区小流域尺度上, 多数点位土壤 pH 值介于 4.03 ~ 4.62 之间, 近似正态分布, 其空间变异较小, 土壤全氮和全磷的空间变异居中, 土壤有机质和碱土金属 (钾、钠、镁、钙) 的空间变异性最大。此外, 土壤有机质和全氮还具有一定的空间关联性, 相关性系数为 0.49。地形地貌对土壤化学性质的影响程度不一: 随高程增加, 土壤中有机质和全氮的含量明显增加, 而高程对土壤 pH 值、全磷及碱土金属的影响则较小; 地形坡度对其空间分布的影响较小, 而坡向对土壤养分的空间分布有显著影响, 偏西及偏北方向的山坡中土壤有机质、全氮和全磷含量要明显高于偏东和偏南的山坡; 最后, 山坡曲率对土壤有机质的影响也很显著, 发散型山坡以及凹型山坡的土壤有机质含量较高, 沿山谷线一带土壤有机质的含量亦较高。

**关键词:** 山区; 小流域; 土壤化学性质; 空间变异; 地貌

**中图分类号:** S153

**文献标识码:** A

土壤化学性质受母质、气候、生物、时间和人类活动的影响, 其形态和形成过程相当复杂, 具有空间异质性。地形通过控制水文循环过程, 也直接或间接地增强土壤化学性质的空间变异性。因此, 认为土壤化学性质除受土壤质地和植被影响外, 与局地的地形地貌也具有一定的相关性<sup>[1]</sup>。目前, 关于土壤化学性质空间变异的研究主要集中在城乡农田地区, 如陈防等人对我国水稻田区土壤化学性质空间变异进行了系统分析<sup>[2-5]</sup>, 发现土壤 pH 和有机质是相对稳定的属性, 其空间变异较小, 而施肥元素变异较大, 农田土壤化学性质受人类影响强烈。为了探讨地形对土壤化学属性的影响, 邱扬等人<sup>[6-7]</sup>选取陕北黄土高原小流域为研究区, 探讨了地形对土壤化学属性的影响, 发现土壤化学性质存在着显著

的地形分异, 水平凸型坡表层土壤氮、磷的含量都显著低于直型坡和凹型坡的含量, 但其所选实验流域属黄土高原区, 受人类活动干扰较大, 未能深刻揭示土壤化学性质与地貌特征及水文循环间的内在联系。

本文选取位于浙江德清的太湖源头东苕溪水系和陆桥流域为研究对象, 流域为天然小流域, 受人类活动影响较小。研究包括野外调查取样以及室内分析测定两个部分, 据此来描述土壤酸碱度、有机质等化学属性的空间变异, 随后分析其与流域地形地貌的相关性。该研究对于认识土壤化学属性在流域内的空间分布规律及其受地貌和水文循环过程的影响机制, 对山区土地的可持续利用等具有重要意义。

**收稿日期 (Received date):** 2010 - 01 - 11; **改回日期 (Accepted):** 2011 - 04 - 30。

**基金项目 (Foundation item):** 国家自然科学基金项目 (40801013); 教育部科学研究重大项目 (308012); 中国博士后科学基金特别资助项目 (201003572); 国家重点实验室专项经费资助项目 (2010585612)。[The National Natural Science Foundation of China (40801013), the Key Research Grant from Chinese Ministry of Education (308012), China Postdoctoral Science Foundation funded project (201003572), the Special Fund of State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering (2010585612).]

**作者简介 (Biography):** 冯德钲 (1986 - ), 男, 海南澄迈人, 硕士研究生, 主要从事水文学及水资源方面研究。[Dezeng Feng (1986 - ), male, postgraduate, major in hydrology and water resources.] E-mail: fengdezeng@126.com

**\* 通讯作者 (Corresponding author):** 刘金涛 (1977 - ), 男, 副研究员, 博士, 主要从事山坡水文学研究。[Jintao Liu (1977 - ), male, associate professor, major in hillslope hydrology.] E-mail: jtliao@hhu.edu.cn

# 1 研究区概况与研究方法

## 1.1 研究区概况

和睦桥小流域(119°47′05″~119°48′20″E, 30°34′05″~30°34′55″N)地处浙江省湖州市德清县境内,该流域为河海大学水文水资源国家重点实验室建设的实验流域,位于莫干山麓西南面,属长江流域太湖区苕溪水系,面积 1.35 km<sup>2</sup>,海拔在 150~600 m 之间。流域年平均降水量为 1 580 mm,年水面蒸发量为 805 mm,年平均气温为 14.0℃,年平均日照时间在 1 579 h 左右。本流域基岩属火山岩,土壤类型基本上为生草-草甸土、水稻土、黄棕壤、山地腐殖土和山地石质土。区内植物以毛竹为主,坡度较缓地区,种有少量茶叶、番茄等作物,尚有小部分山坡长有灌木丛,高达 1 m。

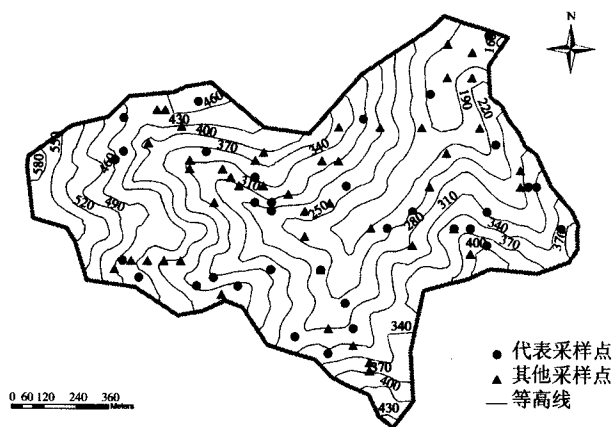


图1 采样点空间分布图

Fig. 1 Sample sites of the Hemuqiao catchment

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样品的采集

本次实验在流域内选取了 90 个样点,使其在区域内尽可能的均匀分布,采集土壤样品(其中环刀土 50 个,铝盒土 40 个)并观测其地貌特征(图 1)。依据山脊和山谷都要有样点且数量相当的原则,从铝盒土中选出其中的 35 个代表点的表层土样做土壤化学性质测试。采用手持式罗盘确定各个样点的坡度、坡向,其中坡向原始记录是以朝北为起点顺时针旋转的角度  $\alpha$ ,经过求正弦( $\sin \alpha$ )和余弦( $\cos \alpha$ )后转化为东西向和南北向的两个亚变量,分别表示朝东和朝北的程度<sup>[8]</sup>。将现场测定结果和测绘局的地形图作对比分析,并生成 10 m × 10 m DEM 数据。

### 1.2.2 样品化学性质测定方法

土样化学性质的测定在水文水资源与水利工程科学国家重点实验室完成。首先将采集的土样风干,捡除石块、树根和草根等杂物,并碾碎,过 2 mm 筛后装入塑料瓶。然后采用土样标准分析方法<sup>[9]</sup>测定土壤各项土壤化学性质:把土壤融入水中,配成土水体积比为 1:2.5 的悬浊液,摇匀,用玻璃电极法测其 pH 值;用重铬酸钾法测定其有机碳含量,将有机碳乘以 1.724 得到有机质含量;先用过硫酸盐消化法消化<sup>[10]</sup>土样,然后用 SKALAR 流动注射仪测定土壤全氮、全磷;全钾、全钠、全镁和全钙经完全硝解用原子吸收分光光度法测定。

### 1.2.3 统计分析方法与数据预处理

本文采用相关分析法来研究土壤化学性质和地貌特征的相关性,采用数理统计方法来分析其空间变异情况,其空间变异程度以变异系数  $C_v$  表示。 $C_v$  为样本标准差与平均值的比值,此值为一个无量纲的数,可用于比较土壤各种性质的变异程度。当  $C_v < 10\%$  时,为微小变异;当  $10\% < C_v < 100\%$  时,为中等变异;当  $C_v > 100\%$  时,为高度变异<sup>[11]</sup>。

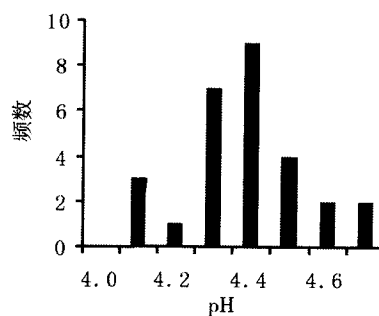


图2 土壤 pH 的频数分布

Fig. 2 The frequency distribution of soil PH

# 2 研究结果与分析

## 2.1 土壤养分空间变异分析

表 1 是所取土样化学性质的基本情况。其中土壤碱土金属含量为土壤全钾、全钠、全镁及全钙含量之和。从表 1 中可以看到,在流域内土壤 pH 值较低。通过分析所有土样的,发现 75% 左右的样点的 pH 值都集中在 4.20~4.50 之间,并且呈正态分布趋势(图 2)。土壤 pH 值波动较小,其空间变异微小。由于研究区受东南季风的影响,这些地方高温多雨,空气湿润,这种气候会导致矿物分化和雨水淋溶作用强烈,土壤呈盐基不饱和态,故土壤呈现较强

表 1 土壤化学性质空间统计值  
Table 1 Spatial statistics of soil chemical properties

/g · kg<sup>-1</sup>

	pH 值	有机碳	有机质	全氮	全磷	全钾	全钠	全镁	全钙
最大值	4. 62	96. 07	165. 62	43. 31	4. 03	15. 33	48. 37	24. 95	16. 95
最小值	4. 03	15. 72	27. 1	16. 04	1. 18	1. 63	7. 37	3. 4	1. 15
平均值	4. 33	58. 99	101. 69	27. 89	2. 41	7. 77	16. 5	11. 83	6. 85
标准差	0. 15	21. 02	36. 23	8. 08	0. 82	3. 42	10. 26	4. 63	3. 75
空间变异系数/%	3. 4	35. 63	35. 63	28. 96	33. 87	44	62. 19	39. 16	52. 11

酸性。此外,采样时间为 5 月中旬,恰逢当地梅雨季节,土壤中的碱性物质容易被雨水溶解冲走,故其酸性成分比重较高。另一方面,研究区植被茂盛,大部分区域都被毛竹或灌木所覆盖,地表有大量的枯枝落叶,地表覆盖物的分解,也使土壤酸性较强。

流域内土壤有机质含量较高,通过分析所有土样的有机质含量,发现分布在 68. 96 ~ 120. 68 g/kg 之间的土样占总数的 70% 左右;流域内土壤有机质属于中等变异。土壤有机质含量较高,这是因为表层土壤被大量的枯枝落叶所覆盖,加上该地区雨水较多,腐殖化作用明显导致。此外,山丘区潮湿的空气容易产生嫌气条件,而使微生物的活动降低,有机物质不易分解,这些都会导致表层土壤有机质含量较高。小流域的土壤全氮和全磷含量也较高,这两种元素在流域内均为中等变异。土壤全氮含量较高,除了土壤母质因素的影响外,主要是由于土壤表层覆盖有大量的枯枝落叶等有机物质,而土壤中的氮素大部分存在于土壤有机质中(包括植物残体、微生物体及其分解物)。实验分析发现,本流域内氮素与有机质含量两者间的线性相关系数高达 0. 49,这从另一侧面证实了以上推断。由于研究区土壤质地为粗沙壤土,磷在粗质土壤中扩散速率较慢,造成磷在土壤中的富集。换言之,流域内土壤有机质、氮、磷等养分属于中等变异,主要是由于区域内植被类型单一(大部分区域为毛竹所覆盖,山顶处有小片灌木和茶树)且覆盖度较高造成。而小流域内土壤中碱土金属元素(包括钾、钠、镁、钙)的空间变异性较大,土壤全钾和全镁含量较低,全镁和全钙含量较高,这是由于土壤金属元素分布主要跟土壤母质有关,植被对其分布影响较小。

2. 2 地形地貌对土壤化学性质的影响

2. 2. 1 高程的影响

在分析土样化学性质和取样点高程关系时,发现该流域内高程与土壤有机质、全氮成线性正相关

(图 3),相关系数( $R$ )分别为 0. 41、0. 31。事实上,随着海拔的升高,气温的降低,微生物分解速度会减慢,矿化作用也会减弱,从而导致有机质的富集。又因为土壤全氮含量和有机质含量有关,所以高程与全氮的关系也比较明显。高程和土壤 pH,土壤中全磷及碱土金属(包括钾、钠、钾、钙)含量的相关关系要弱得多,基本都在 0. 06 左右。

2. 2. 2 坡度及坡向的影响

表 2 是土壤化学性质与坡度以及坡向( $\alpha$ )之间的相关性分析。如果某个化学指标与  $\sin(\alpha)$  的相关系数为正值,则说明该化学属性偏东坡含量高于偏西坡含量,负值则相反;同样,如果某个化学指标与  $\cos(\alpha)$  的相关系数为正值,则说明该化学属性偏北坡含量高于偏南坡含量,负值则相反。从表 2 可以看出,坡度对土壤 pH 值以及土壤化学性质的影响较小,这可能是因为研究区内地表植被覆盖较好,土壤侵蚀微小,避免了土壤养分的流失,所以坡度对土壤化学属性的空间分布影响不大。偏西方向的山坡的土壤有机质、全氮和全磷含量明显高于偏东方向的山坡,原因是偏西坡的林地比东坡的林地要茂盛得多,从而导致土壤全氮和全磷在西坡的富集。土壤全氮和全磷还存在南北向的差异,北坡土壤的有机质、全氮和全磷含量明显高于南坡的。这是由于坡向朝南的土壤,即所谓的阳坡,太阳辐射强度较大,气温较高,蒸发量较大,土壤湿度比较小,有机质分解比较快,而朝北的山坡,气温较低,土壤比较湿润,有利于有机物的积累。此外,坡向朝南的山坡在东南沿海一带恰为迎风坡,在此季节易形成地形雨,造成阳坡降雨强度和降雨量比阴坡的大得多,而雨强对土壤养分随地表径流的影响表现为土壤养分流失量随雨强的增加而增加,在坡面产流的情况下,降雨历时越长,降雨量越大,磷素累积流失量也越大<sup>[12]</sup>,因此阳坡水土侵蚀强烈,并导致大量养分流失。

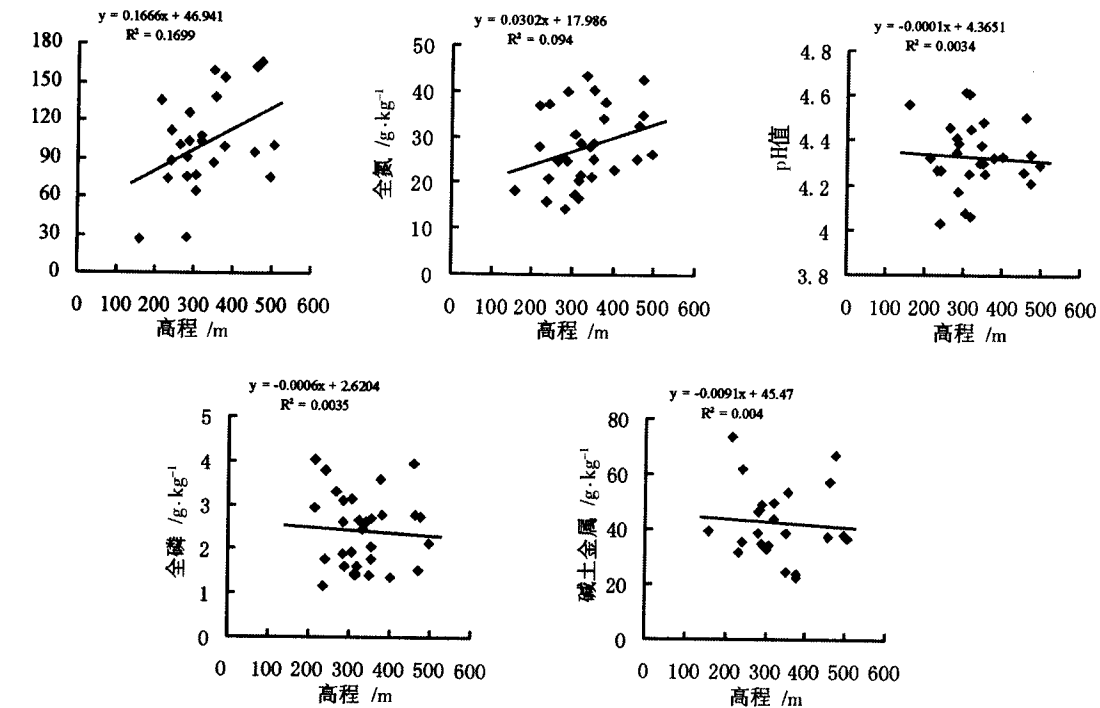


图3 高程和土壤化学性质的关系

Fig. 3 The relationship between elevation and soil chemical properties

表2 土壤化学性质与坡度、坡向的相关性

Table 2 The relevant analysis of soil chemical properties and slope, aspect

相关值	pH 值	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	全氮 /g · kg <sup>-1</sup>	全磷 /g · kg <sup>-1</sup>	碱土金属 /g · kg <sup>-1</sup>
坡度/°	-0.17	0.07	0.07	-0.08	-0.06
sin(α)	0.19	-0.30	-0.33	-0.45	0.03
cos(α)	-0.05	0.22	0.25	0.40	-0.20

2.2.3 山坡曲率的影响

表3给出了山坡不同水平曲率( $c_c$ )以及剖面曲率( $c_p$ )对应土壤化学性质的均值。 $c_c$ 为正值,为发散型山坡,负值为收敛型山坡; $c_p$ 为正值,为凸形山坡,负值为凹形山坡。对山坡曲率和土壤化学物质含量的相关性分析表明,水平和剖面曲率跟有机质含量关系最为密切,相关系数分别达到0.34和0.22,而和全氮含量相关系数分别为0.17和0.14,曲率与其他化学物质含量的关系并不明显,相关系数一般低于0.1。从表3可以看出,有机质和全氮含量在发散型山坡和凹形山坡含量相对高些,土壤PH值和全磷含量在不同曲率的山坡分布差异不大。进一步分析显示,碱土金属含量虽在不同曲率山坡分布差异较大,但这是由于个别采样点含量较高造成的结果,跟曲率关系不大,水平和剖面曲率跟碱土

金属含量相关系数均为0.02左右。此外,分析表明,发散型山坡对应的有机质含量比收敛型山坡含量要高,这主要是由于发散型山坡较收敛型山坡其径流冲刷作用小<sup>[13]</sup>,有机质不易被冲走;而凹型山坡有机质含量比凸型山坡含量也要高,这是因为在凹型坡,土壤较厚,土壤含水量较高,为水流汇集之处,而水流往往携带大量的洪积物,造成有机质在此富集。通过对比山脊和山谷处的土壤有机质含量还发现,沿山谷线土壤有机质含量比沿山脊线的要高,这同样是水流携带土壤表层的有机质在山谷堆积造成的结果。

表3 山坡不同曲率对应的土壤化学物质均值

Table 3 The mean value of soil chemical attributes for different curvature hillslopes

曲率	pH 值	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	全氮 /g · kg <sup>-1</sup>	全磷 /g · kg <sup>-1</sup>	碱土金属 /g · kg <sup>-1</sup>
水平曲率( $c_c > 0$ )	4.30	108.91	28.37	2.43	131.96
水平曲率( $c_c < 0$ )	4.43	71.39	25.44	2.33	98.48
剖面曲率( $c_p > 0$ )	4.37	90.29	26.50	2.33	122.02
剖面曲率( $c_p < 0$ )	4.30	109.31	30.08	2.57	141.81

3 结论与讨论

通过对和陆桥流域土壤化学属性空间变异的研

究,得出以下结论:

1. 从土壤化学性质的统计特征值来看,流域内土壤呈酸性,土壤有机质、全氮、全磷及镁钙含量较高,土壤钾钠含量较低。从空间变异系数来看,土壤pH值在整个流域内变异较小,且近似正态分布,其余有机质、全氮、全磷以及碱土金属均属于中等变异。土壤有机质和全氮具有较强的空间相关性,相关系数达到0.49。

2. 流域内高程和土壤有机质、全氮含量成线性正相关关系,相关系数分别为0.41、0.31,而高程和土壤pH值,全磷及碱土金属的相关关系却弱的多,均低于0.1。

3. 流域内坡度对土壤化学性质空间分布的影响较小,而坡向对土壤养分的空间分布的影响却很明显,偏西及偏北方向的山坡中土壤有机质、全氮和全磷含量要明显高于偏东和偏南的山坡。

4. 流域内山坡曲率对土壤有机质的影响显著,发散型山坡及凹型山坡,土壤有机质含量较高,沿山谷线一带土壤有机质的含量也较高。

5. 和陆桥流域土壤养分含量较高,这和区域内植被较茂盛、水土保持较好、土壤保肥性和养分流失较少有关;流域土壤总体呈酸性。

## 参考文献(References)

- [1] Seibert J, Stendahl J, Sorensen R. Topographical influences on soil properties in boreal forests[J]. *Geoderma*, 2007, 141: 139-148
- [2] Chen Fang, Liu Dongbi, Xiong Guiyun, et al. Spatial variability and sampling strategy of soil nutrient in Southeast China[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2006, 45(4): 432-435 [陈防, 刘东碧, 熊桂云等. 东南地区土壤养分的空间变异性与取样的策略[J]. *湖北农业科学*, 2006, 45(4): 432-435]
- [3] Chen Fang, Liu Dongbi, Xiong Guiyun, et al. A comparison on soil nutrient characteristics and its spatial variability of two paddy soils in Middle Sub-Tropica[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 688-692 [陈防, 刘东碧, 熊桂云, 等. 中亚热带两种水稻土土壤养分空间变异的对比[J]. *土壤学报*, 2006, 43(4): 688-692]
- [4] Chen Xueze, Han Jinglong, Egashira Kazuhiko. Study on chemical properties of some forest red soils of Hunan Province[J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2005, 33(12): 85-88 [陈学泽, 韩京龙, 江头和彦. 湖南省丘陵区森林红壤化学性质研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(12): 85-88]
- [5] Zhao Yanfeng, Shi Xuezheng, Yu Dongsheng, et al. Spatial variation of soil nutrients and its affecting factors at small scale[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 214-219 [赵彦锋, 史学正, 于东升, 等. 小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨[J]. *土壤通报*, 2006, 37(2): 214-219]
- [6] Qiu Yang, Fu Bojie, Wang Jun, et al. Spatiotemporal variability of the soil nutrients and the influencing factors in a small catchment of Loess Plateau[J]. *Progress in Natural Science*, 2004, 14(3): 294-299 [邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土高原小流域土壤养分的时空变异及其影响因子[J]. *自然科学进展*, 2004, 14(3): 294-299]
- [7] Lian Gang, Guo Xudong, Fu Bojie, et al. Spatial variability and prediction of soil nutrients on a county scale on the Loess Plateau[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(4): 577-584 [连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 黄土高原县城土壤养分空间变异特征及预测[J]. *土壤学报*, 2008, 45(4): 577-584]
- [8] Moore I D. Soil attribute predictions using terrain analysis[J]. *Soil Soc Am J*, 1993, 57: 433-440
- [9] Lu Rukun. Soil agricultural chemical analytical method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 12-197 [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 12-197]
- [10] Qiang Junlong, Zhang Liandi, Le Donglin. Persulfate digestive method for the determination of soil N and P[J]. *Soil*, 1990, 22(5): 258-262 [钱君龙, 张连弟, 乐董麟. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷[J]. *土壤*, 1990, 22(5): 258-262]
- [11] Yu Xinxiao, Zhang Zhenming, Zhu Jiangang. Spatial variability of soil nutrients of forest in Badaling[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(5): 859-964 [余新晓, 张振明, 朱建刚. 八达岭森林土壤养分空间变异性研究[J]. *土壤学报*, 2009, 46(5): 859-964]
- [12] Wang Quanjiu, Wang Li, Li Shiqing. Research on the effective factors of nutrient transfer and loss in the slope land[J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2007, 35(12): 109-114 [王全九, 王力, 李世清. 坡地土壤养分迁移与流失影响因素研究进展[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(12): 109-114]
- [13] Liu Jintao, Chen Xi, Wu Jichun. The hillslope-storage dynamics theory and its application in catchment hydrology modeling[J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(5): 513-518 [刘金涛, 陈喜, 吴吉春. 山坡蓄量动力学理论及其在水文模拟中的应用前景[J]. *山地学报*, 2010, 28(5): 513-518]

## Spatial Variation of Hillslope Soil Chemical Attributes

FENG Dezeng<sup>1,2</sup>, LIU Jintao<sup>1,2,3</sup>, CHEN Xi<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Department of Hydrosociences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** This research focused on the experimental catchment, Hemuqiao catchment in the source of Taihu lake basin. By analysis of 90 soil samples and soil chemical properties for 35 samples within them, we aim to reveal the spatial distribution of soil chemical attributes and geomorphic effects on them. The results of this research indicate that in mountainous area the spatial variability of pH is the smallest, and it is approximate to normal distribution with its values range from 4.03 to 4.62, the variability of total nitrogen and phosphorus comes in the middle, the organic matters and four kinds of alkali earth metals (including potassium, sodium, magnesium, calcium) are the largest. There is strong spatial correlation between organic matters and total nitrogen, and the correlation coefficient is up to 0.49. The hillslope geometries also have strong effects on soil chemical attributes. With the increasing of elevation, the contents of organic matter and total nitrogen increase significantly in the soil. However, the influences of elevation on pH, total phosphorus and alkali earth metals are relatively weak. In addition, the slope affects a little on the spatial distribution of soil chemical attributes in this study areas, while the aspect has a considerable impact on them. The contents of organic matter, total nitrogen and total phosphorus in the west are higher than the contents in the east, and the contents in the north are also higher than those in the south. The influence of hillslopes curvature on soil organic matters is remarkable. There are more organic matters in divergent or concave hillslopes, and more are in the areas along the valley.

**Key words:** mountain; small catchment; soil chemical attributes; spatial variability; hillslope geometries

作者: 冯德程, 刘金涛, 陈喜, FENG Dezeng, LIU Jintao, CHEN Xi  
作者单位: 冯德程, 陈喜, FENG Dezeng, CHEN Xi (河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098; 河海大学水文水资源学院, 江苏南京210098), 刘金涛, LIU Jintao (河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京210098; 河海大学水文水资源学院, 江苏南京210098; 南京大学水科学系, 江苏南京210093)  
刊名: 山地学报 ISTIC PKU  
英文刊名: Journal of Mountain Science  
年, 卷(期): 2011, 29(4)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(13条)

1. Seibert J; Stendabl J; Sorensen R Topographical influences on soil properties in boreal forests [外文期刊] 2007(1-2)
2. 陈防; 刘东碧; 熊桂云 东南地区土壤养分的空间变异性与取样的策略 [期刊论文] - 湖北农业科学 2006(04)
3. 陈防; 刘东碧; 熊桂云 中亚热带两种水稻土壤养分空间变异的对比 [期刊论文] - 土壤学报 2006(04)
4. 陈学泽; 韩京龙; 江头和彦 湖南省丘陵区森林红壤化学性质研究 [期刊论文] - 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2005(12)
5. 赵彦锋; 史学正; 于东升 小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨 [期刊论文] - 土壤通报 2006(02)
6. 邱扬; 傅伯杰; 王军 黄土高原小流域土壤养分的时空变异及其影响因子 [期刊论文] - 自然科学进展 2004(03)
7. 连纲; 郭旭东; 符伯杰 黄土高原县城土壤养分空间变异特征及预测 [期刊论文] - 土壤学报 2008(04)
8. Moore I D Soil attribute predictions using terrain analysis 1993
9. 鲁如坤 土壤农业化学分析方法 2000
10. 钱君龙; 张连弟; 乐董麟 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷 1990(05)
11. 余新晓; 张振明; 朱建刚 八达岭森林土壤养分空间变异性研究 [期刊论文] - 土壤学报 2009(05)
12. 王全九; 王力; 李世清 坡地土壤养分迁移与流失影响因素研究进展 [期刊论文] - 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2007(12)
13. 刘金涛; 陈喜; 吴吉春 山坡蓄量动力学理论及其在水文模拟中的应用前景 [期刊论文] - 山地学报 2010(05)

## 引证文献(2条)

1. 刘国顺, 常栋, 叶协锋, 杨永锋, 殷英, 屈建康 基于GIS的缓坡烟田土壤养分空间变异研究 [期刊论文] - 生态学报 2013(8)
2. 刘国顺, 常栋, 叶协锋, 杨永锋, 殷英, 屈建康 基于GIS的缓坡烟田土壤养分空间变异研究 [期刊论文] - 生态学报 2013(8)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201104006.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201104006.aspx)