

柴河小流域表层土壤盐分的分布特征

吴献花, 赵斌, 陈苗苗, 吴斌, 高婷

(玉溪师范学院 玉溪高原湖泊生态环境研究中心, 云南 玉溪 653100)

摘要: 采用 GPS 定位系统, 于 2011 年 10 月在柴河小流域采集表层土样 50 个, 结合传统统计学方法和 ArcGIS 地统计学法分析了柴河小流域表层土壤盐分及钙镁离子含量的空间变异特征。结果表明, 研究区表层土壤盐分及水溶性钙镁离子呈对数正态分布; 柴河流域表层土壤盐分与水溶性钙镁离子、全氮、全磷及有机质呈显著正相关关系; 结合柴河小流域高程南高北低的趋势, 土壤盐分和土壤钙离子在低洼处均较高, 表现出较强的迁移性。

关键词: 柴河小流域; 土壤盐分; 空间变异

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0271-04

中图分类号: S153

Distribution Characteristics of Surface-soil Salt in Chaihe Basin

WU Xian-hua, ZHAO Bin, CHEN Miao-miao, WU Bin, GAO Ting

(Yuxi Normal University, Yuxi Research Center for Eco-environmental Sciences on Plateau Lakes, Yuxi, Yunnan 653100, China)

Abstract: Fifty soil samples were collected in Chaihe basin in October 2011, and the sampling locations were recorded by GPS. Traditional statistics and geostatistics based on ArcGIS were used to analyze the spatial distribution of soil salt and water-soluble Ca^{2+} and Mg^{2+} . Results from traditional statistical analysis showed that surface soil salt, water-soluble Ca^{2+} and Mg^{2+} were exhibited as logarithmic normal distribution within the study area. The content of water-soluble Ca^{2+} and Mg^{2+} , total soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus has significant positive correlation with soil salt. The soil salinity and soil calcium ions showed strong mobility as there were more in the low-lying place.

Keywords: Chaihe basin; soil salt; spatial variability

土壤盐分是盐碱土的一个重要属性, 是衡量土壤环境质量的重要指标, 其变化将影响到土壤环境及农业生产。土壤中水溶性盐的分析是研究土壤盐渍化类型和程度的主要方法之一^[1]。土壤盐分组成主要包括阳离子(钙、镁、钠、钾)和阴离子(硫酸根、碳酸根、重碳酸根、氯离子)。土壤盐分中的水溶性钙、镁离子在水溶性盐基组成中占有较高比重。钙和镁在稻田土壤圈和水圈之间的迁移变化, 将相应地引起碳的无机化转化, 进而可能影响到湿地与水域之间的碳交换。钙、镁元素也是水稻健康生长的重要元素, 对植株抗逆性、高产与优质起着关键的调控作用^[2]。近年来, 国内外学者对土壤盐分的空间变异研究逐渐增多^[3-4], 而大多数研究多是针对内陆平原地区为主, 且研究的对象多为田间尺度, 对丘陵地区土壤含盐量的空间异质性研究相对较少。本研究运用传统描述统计、地统计学和 GIS 相结合的方法, 以滇池南部典型农业小流域柴河流域为研究对象, 分析小流域尺度下

表层土壤水溶性盐及钙镁离子的空间变异特征, 以期为该区域土壤盐分动态监测及生态安全管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于滇池流域南部, 云南省昆明市晋宁县境内, 地处东经 $102^{\circ}36'$ — $102^{\circ}43'$, 北纬 $24^{\circ}28'$ — $24^{\circ}43'$, 属低纬度高原亚热带季风气候, 年平均气温 15.0°C , 年平均日照 $2\,372.2\text{ h}$, 日照率为 54% , 年平均降水量 900.7 mm , 主导风向为西南风。土壤以砂岩、砾岩发育的红壤为主, 局部有黄棕壤分布, 种植方式主要为旱田, 主要种植类型有玉米、蔬菜、花卉等。

1.2 研究方法

柴河小流域总面积为 193.6 km^2 , 于 2011 年 10 月在研究区内以 $2\,000\text{ m}\times 2\,000\text{ m}$ 的网格内以 GPS 定位布设采样点, 进行土壤样品采集。考虑到网格交

收稿日期: 2012-07-21

修回日期: 2012-09-17

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“滇池流域面源污染调查与系统控制研究及工程示范”(2009ZX07102-004)

作者简介: 吴献花(1971—), 女(白族), 云南省大理市人, 硕士, 教授, 主要从事湖泊生态修复方面的研究工作。E-mail: xhw105@163.com。

点周围的土壤质地、地形、土地利用类型等因素,土壤样品采集时以网格交点为中心,半径 100 m 范围内随机采集 3~5 个小样品(土壤层为 0—20 cm),然后将其等量均匀混合作为一个土壤样品,共采集土壤样品 50 个,其中设施农业 5 个、传统农业 7 个、坡耕地 19 个、林地 15 个、擦荒地 4 个。将土样放置通风干燥处,剔除石粒、草根等杂物,自然风干。用研钵磨碎风干,过 100 目(2 mm)筛,装袋待用。

土壤水溶性盐的测定采用烘干残渣法,土壤水溶性钙镁离子测定采用 EDTA 滴定法,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,土壤全磷含量采用酸溶—钼锑抗比色法,土壤全氮含量采用凯氏蒸馏法^[5]测定。

土壤样点信息空间变异性的各项统计特征值(均值、标准差、峰度、偏度和变异系数等)分析主要采用 SPSS 18.0 统计软件,土壤特性的空间插值分析采用 ArcGIS 9.3 软件的地统计学模块完成相关参数的计算。数据异常值的识别和处理以及正态检验与变换采用赵斌等^[6]研究中采用的方法。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分和养分的传统描述统计特征

对柴河小流域表层土壤(0—20 cm)的盐分、水溶性钙离子、水溶性镁离子和养分进行经典统计分析,基本特征统计值详见表 1。从表 1 可以看出,钙离子、镁离子、土壤盐分、全氮、全磷和有机质含量的变化范围分别为:0.01~0.299 g/kg,0.002~0.264 g/kg,0.072~0.93 g/kg,0.095~2.593 g/kg,0.069~

7.419 g/kg,12.108~51.992 g/kg。研究区不同点位土壤盐分和养分含量差异较大,与该研究中土地利用类型的多样性有关。参照杜鹏飞等^[7]的研究结果,柴河小流域表层土壤盐分均小于 1 g/kg,属于非盐渍化土壤。根据全国第二次土壤普查的五级分级标准,柴河小流域表层土壤全氮、全磷和有机质的均值分别达到较丰富(Ⅱ)、较丰富(Ⅱ)及丰富(Ⅰ)水平。

所分析钙离子、镁离子、土壤盐分、全氮、全磷和有机质含量这 6 项指标的变异系数分别为:97.6%,103.2%,80.2%,53.8%,112.8%,36.31%。变异系数的大小反映土壤特性的空间变异性^[3]。土壤钙离子、盐分、全氮、有机质的变异系数在 36.3%~97.6%,均属中等变异强度。土壤镁离子和全磷变异系数分别达到 103.2%和 112.83%,属强变异强度。

采用单个样本的 K—S 检验方法进行正态分布的特征检验,其置信度达到 95%。土壤全氮和有机质符合正态分布,K—S 检验值的相伴概率为 0.513 和 0.374。土壤钙离子、镁离子、盐分和全磷经对数变换后相伴概率分别为:0.199,0.416,0.627,0.966 均大于 0.05,符合对数正态分布,可见研究区各土样分析项目均满足地统计分析的假设条件。

对柴河小流域土壤盐分和养分的传统描述统计分析只能概括该区域的全貌,不能反映其局部变化特征。传统统计分析不能精确定量地刻画研究区域土壤特性的相关性和独立性、随机性和结构性之间的关系^[8]。对比已有研究^[3],运用地统计学方法对研究区域土壤属性数据进行空间变异性分析,便于准确表达研究区土壤盐分和养分的空间变异特征。

表 1 研究区土壤盐分和养分的基本特征

项目	分布类型	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	偏度 S	峰度 k	p
钙离子	LN	0.010	0.299	0.084	0.082	97.6	1.511	1.546	0.199
镁离子	LN	0.002	0.264	0.063	0.065	103.2	2.181	4.318	0.416
土壤盐分	LN	0.072	0.930	0.326	0.261	80.2	1.312	0.535	0.627
全氮	N	0.095	2.593	1.366	0.735	53.8	0.139	-1.047	0.513
全磷	LN	0.069	7.419	2.034	2.295	112.8	1.392	0.605	0.966
有机质	N	12.108	51.992	32.733	11.886	36.3	-0.335	-1.072	0.374

注:LN 表示对数正态分布;N 表示正态分布。

2.2 土壤盐分的空间变异结构

地统计学中半变异/协方差建模是空间描述与空间预测的关键^[9],为选出最优的半方差函数理论模型,根据柴河小流域各样点土壤盐分、钙离子和镁离子的实验数据,计算出各指标的实际半方差函数值,选择几个模型分别进行拟合。然后再用 ArcGIS 9.3 软件的地统计学模块进行分析后,得到各种模型拟合的所有参数值,选取标准化平均误差(RMSE)和平均

标准误差(ASE)最小,平均误差(ME)最接近零,标准化均方根误差(RMSSE)最接近 1.00 的模型,将该模型做为最佳拟合模型。由表 2 可知土壤钙离子、镁离子和盐分最佳理论拟合模型均为球状模型。

土壤盐分的空间相关性可根据块金值与基台值的比值 $C_0/(C_0+C)$ 来划分,块金值越高,说明由随机性因素引起的空间变异性差异越大,反之则由结构性因子引起的空间变异性程度越大^[10]。表 2 表明,柴河

小流域钙离子、镁离子和盐分的基台值均为正值,说明有随机和固有变异、短距离变异、采样误差、引起的各种正基底效应的存在。固有和随机变异的基台值高低顺序为:土壤盐分>钙离子>镁离子,由此可以看出土壤盐分的空间测量和变异误差最大,镁离子的空间测量和变异误差最小。柴河小流域土壤盐分、钙离子和镁离子基底效应的大小顺序为:土壤盐分>钙离子>镁离子,表明土壤盐分的空间相关性最弱。土

壤属性的空间相关性越弱表明,空间变化受人为活动等随机因素的影响较大,为更好说明土壤盐分及其离子空间变异的特性应在今后研究中考虑缩小采样的尺度。块金值指标通常反映小于实验取样尺度因素和实验的误差所引起的相关变异,较大的块金值表明应更加重视在小尺度范围内随机采样及相关因素的影响,本研究中土壤盐分的块金值最大,表明其受采样区域内各种偶然因素影响更大。

表 2 土壤特性的半方差函数特征

项目	块金值(C_0)	偏基台值(C)	基台值(C_0+C)	基底效应 [$C_0/(C_0+C)$]/%	理论模型	平均误差 ME	标准化平均误差 RMSE
钙离子	0.006	0.002	0.008	75.0	球状模型	0.006	0.885
镁离子	0.002	0.004	0.006	33.3	球状模型	0.021	0.913
土壤盐分	0.059	0.018	0.077	76.6	球状模型	-0.003	0.913

2.3 土壤盐分、钙离子和镁离子的空间分布格局

应用 ArcGIS 9.3 软件中 Kriging 插值方法绘制了土壤盐分、钙离子和镁离子的空间等值线分布图,通过等值分布图能够更全面、直观地反映土壤盐分在空间上的分布特征。

结合采样地高程南高北低的趋势,由图 1—3 可以看出,土壤盐分和土壤钙离子在低洼地均较高,表现出较强的迁移性。土壤镁离子的变化较强烈,形成坝平地区域两个较明显斑块,相近区域土壤中土壤盐分和钙离子含量相对较高。

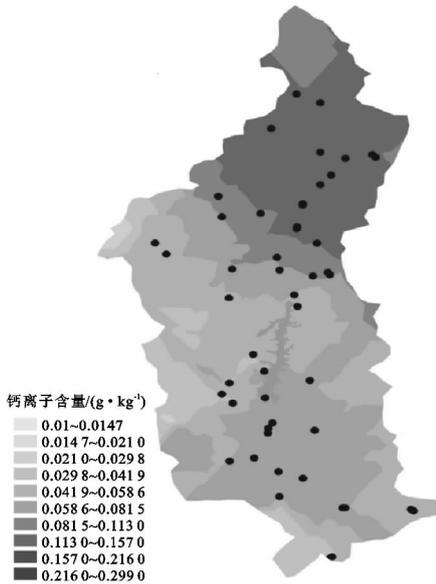


图 1 柴河小流域表层土壤钙离子 Kriging 插值图

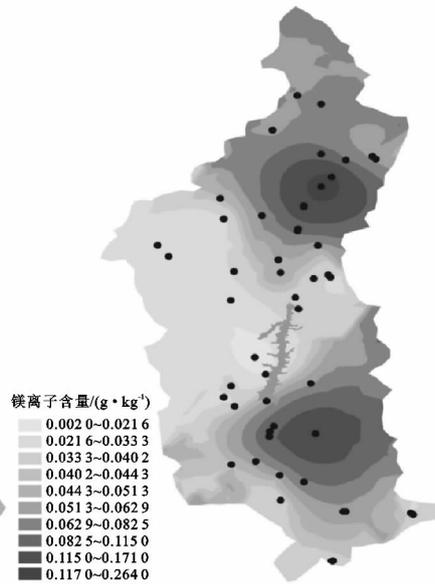


图 2 柴河小流域表层土壤镁离子 Kriging 插值图

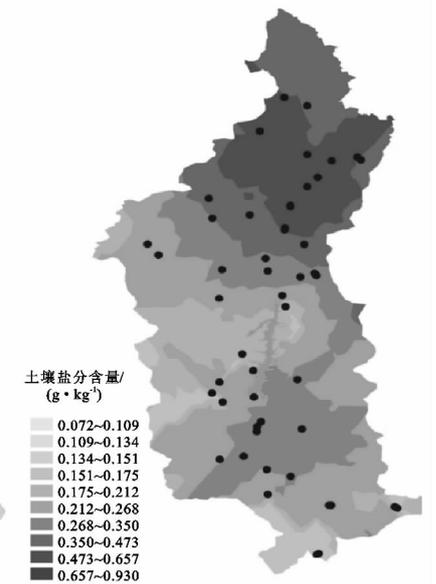


图 3 柴河小流域表层土壤盐分 Kriging 插值图

2.4 不同土地利用方式对土壤盐分和养分的影响

土地利用方式作为人类利用土地各种活动的综合反映与土壤中的盐分、氮、磷等有密切关系。柴河小流域土地利用类型主要有林地、未利用土地、坡耕地和耕地,其中耕地面积最大,占 38%,未利用土地占 21%,坡耕地占 20%,林地占 9%。本研究选择的 5 种土地利用方式采样类型分别为设施农业,传统农

业,坡耕地,林地和撂荒地。5 种土地利用方式土壤各指标的平均值详见表 3。土壤盐分以传统农业和设施农业两种土地利用方式最高,研究区农业生产土壤有一定的次生盐碱化现象存在,表明施肥对土壤盐分的高低有较大影响。设施农业土壤全氮、全磷和有机质的均值均为最高,这可能是由于设施农业中土壤

有机质含量主要受人为施肥及其灌溉的影响,大量施肥导致有机质累积并吸附于土壤中是导致设施农业有机质含量较高的主要原因。林地土壤盐分、全氮、全磷和有机质的均值为最低。

2.5 土壤盐分与土壤养分的相关性分析

将柴河小流域表层土壤盐分与其它因子进行相关性分析(表 4)。土壤盐分与钙离子、镁离子、全氮、全磷

和有机质呈极显著的正相关关系($p=0.01$);与 C/N 呈显著的相关性($p=0.05$)。土壤各要素与土壤盐分存在信息上的叠加,各要素之间有较强的相互作用。

土壤全氮与有机质存在极显著的正相关关系,与全国各地的大量资料分析结果相一致^[11]。研究区域土壤养分含量较高,表现出土壤盐分与养分呈极显著的正相关关系。

表 3 柴河小流域不同土地利用方式下土壤盐分和养分的平均值

土地利用类型	样本数	钙离子	镁离子	盐分	全氮	全磷	有机质
设施农业	5	0.186	0.100	0.633	2.330	4.412	45.608
传统农业	7	0.207	0.147	0.681	1.643	4.219	38.428
坡耕地	19	0.068	0.062	0.295	1.327	1.758	30.582
林地	15	0.028	0.019	0.133	0.931	0.931	27.773
撂荒地	4	0.034	0.047	0.186	1.491	0.681	35.494

表 4 柴河小流域表层土壤盐分和养分间的对应关系

因子	土壤盐分	钙离子	镁离子	全氮	全磷	有机质	C/N
土壤盐分	1						
钙离子	0.948**	1					
镁离子	0.825**	0.817**	1				
全氮	0.513**	0.461**	0.340*	1			
全磷	0.492**	0.542**	0.394**	0.302*	1		
有机质	0.414**	0.361**	0.274	0.859**	0.243	1	
C/N	-0.293*	-0.282*	-0.217	-0.607**	-0.260	-0.473**	1

注: * 显著性水平($\alpha=0.05$); ** 极显著性水平($\alpha=0.01, n=50$)。

3 结论

(1) 土壤钙离子、盐分、全氮、有机质的变异系数在 36.3%~97.6%之间,均属中等变异强度。土壤镁离子和全磷变异系数分别达到 103.2%和 112.8%,属强变异强度。

(2) 结合柴河小流域高程南高北低的趋势,土壤盐分和土壤钙离子在低洼处均较高,表现出较强的迁移性。

(3) 柴河小流域土壤盐分以传统农业和设施农业两种土地利用方式最高,土壤盐分与钙离子、镁离子、全氮、全磷和有机质呈极显著的正相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 陈子学,肖波,郑育锁,等.连续光源原子吸收光谱法测定土壤水溶性盐中钙镁[J].岩矿测试,2008,27(2):85-98.
- [2] 戴伟民,张克勤,段彬伍,等.测定水稻硅含量的一种简易方法[J].中国水稻科学,2005,19(5):460-462.
- [3] 高婷婷,丁建丽,哈学萍,等.基于流域尺度的土壤盐分空间变异特征:以渭干河—库车河流域三角洲绿洲为例[J].生态学报,2010,30(10):2695-2705.
- [4] Douaik A, van Meirvenne M, Toth T, et al. Space-time mapping of soil salinity using probabilistic bayesian maximum entropy[J]. Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 2004, 18(4): 219-227.
- [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999.
- [6] 赵斌,吴献花,吴斌,等.柴河小流域土壤养分空间变异特征研究[J].中国农学通报,2011,27(20):224-229.
- [7] 杜鹏飞,李虹,海春兴.阴山北麓春季土壤含盐量及其与电导率的关系研究[J].内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2006,35(2):234-237.
- [8] 张椒娟,何勇,方慧.基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):39-44.
- [9] 汪璇,王成秋,唐将,等.基于地统计学和 GIS 的三峡库区土壤微量营养元素空间变异性研究[J].土壤通报,2009,40(2):359-365.
- [10] 朱益玲,刘洪斌,谢德体,等.江津紫色土壤养分空间变异性研究:地统计学方法[J].西南农业大学学报,2002,24(3):207-210.
- [11] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.