

洱海缓冲带土壤特性的空间分布

张闻涛¹, 邢奕¹, 卢少勇², 赵斌², 薛巍²

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083;

2. 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室 湖泊环境研究中心 洞庭湖生态观测研究站 湖泊工程技术中心, 北京 100012)

摘要: [目的] 了解洱海缓冲带内土壤特性空间分布状况, 进而为缓冲带面源污染治理、精细农业与植被布局等提供参考。[方法] 采集 80 个缓冲带表层土壤样品, 测定其含水率、有机质、全磷、全氮、氨氮和硝氮的含量, 并应用传统统计学和地统计学方法对数据进行分析。[结果] (1) 土壤中含水率、有机质、全磷、全氮、氨氮和硝氮各项统计特性均通过 $K-S$ 检验, 呈正态分布; (2) 洱海缓冲带土壤中养分水平较高; 氨氮和硝氮的变异系数大于 100%, 属强变异性; (3) 有机质南部略低, 东西向呈东西高, 中部低, 全氮、全磷南北向呈南北低, 中部高, 东西向变化不大; (4) 有机质表现出强烈的空间相关性, 而全氮和全磷空间相关性弱。[结论] 缓冲带农田格局和迁移转化是影响土壤特性空间分布的两个重要因素。

关键词: 洱海; 土壤; 有机质; 氮; 磷

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0147-04

中图分类号: X53

Spatial Variability of Soil Properties in Erhai Lake Buffer Belt

ZHANG Wentao¹, XING Yi¹, LU Shaoyong², ZHAO Bin², XUE Wei²

(1. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing,

Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, State

Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Centre of Lake Environment,

State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Lake Dongtinghu (SEPSORS LD),

Engineering and Technology Centre of Lake, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: [Objective] In order to study the spatial variability of soil properties in the buffer belt of Erhai Lake, and then provide reference for controlling non-point source pollution and precision agricultural planning and layout. [Methods] 80 soil samples in the buffer belt of Erhai Lake were collected. Soil moisture, total soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen were measured. The spatial distribution patterns of soil parameters were analyzed by using traditional statistical and geostatistical methods. [Results] (1) All statistical characteristics passed through the $K-S$ test and thus indicated normal distribution; (2) The nutrient contents in the soil were high. The coefficient of variation of ammonia nitrogen and nitrate nitrogen were higher than 100%, indicating a strong variability;. (3) Soil organic matter in south was slightly lower than that in north. In east-west direction, organic matter in the east and west was higher than that in the middle. By contrast, the content of total nitrogen and total phosphorus in south and north was lower than that in the middle; (4) Total soil organic matter showed a strong spatial correlation, whereas total nitrogen and total phosphorus showed weak spatial correlations. [Conclusion] Farmland layout and the migration and conversion of the buffer zone were two important factors affecting the spatial variability of soil properties.

Keywords: Erhai Lake; soil; organic matter; nitrogen; phosphorus

收稿日期: 2014-04-30

修回日期: 2014-06-11

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“洱海低污染水处理及缓冲带构建关键技术及工程示范(2012ZX07105-002), 水陆交错带水生植被重建工程技术研究”(2013ZX07101-014); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2012-YSKY-14)

第一作者: 张闻涛(1988—), 男(汉族), 内蒙古赤峰市人, 博士研究生, 研究方向为水生态修复。E-mail: sunzhangwentao@163.com。

通信作者: 卢少勇(1976—), 男(汉族), 湖南省郴州市人, 博士, 研究员, 主要从事水污染防治与水环境生态修复研究。E-mail: lushy2000@163.com。

土壤并非均质体,而是时空连续的变异性,同一时刻的土壤特性在不同的空间位置上具明显差异。在不同尺度等级上,土壤空间异质性均存在^[1-3]。国内外学者自 20 世纪 60 年代提出土壤性质的空间变异性以来,对土壤养分的空间变异与分布做了大量研究,Kriging 内插、Cokriging 内插、Punctual Kriging 内插等技术得到较好的应用^[4-7]。从湖泊最低水位往陆域,湖滨缓冲带依次分为湖滨带(湖泊最低水位和最高水位之间的区域),缓冲带内圈、缓冲带中圈和缓冲带外圈。湖滨缓冲带是湖泊的重要生态屏障,缓冲带是流域入湖污染负荷的重要削减区域。现有的湖泊流域的缓冲带均存在一定的不合理性,主要来自人类自古以来临水而居的习惯,也与之前的科技与经济水平欠发达有关,很多村落、养殖和重污染高产农田均距湖很近。缓冲带的空间结构,缓冲带内、中、外圈如何布设更合理,现状不合理的布局如何进行污染控制和生态化完善等问题都依赖于对土壤特性的了解,需要明晰目前缓冲带内土壤污染状况。湖泊湖滨缓冲带土壤性质空间变异的研究主要集中在不同环境因子(如:不同植被类型、地貌特征、湿度和气温等)对土壤特性空间分布的影响。王秋光和董思远等^[8-9]研究表明,太湖不同植被类型对不同土壤特定影响大小有别;翟红娟等^[10]报道了异龙湖湖滨带土壤在不同环境梯度下养分的空间变异性,表明不同环境因子对土壤特性影响较大。本研究运用传统描述统计、地统计学和 GIS 相结合的方法,以洱海缓冲带为研究对象,分析缓冲带内土壤特性空间分布,结果将为缓冲带面源污染治理、精细农业与植被布局以及为类似区域的相关研究的开展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

洱海流域位于云南省大理白族自治州境内,是云南省第二大高原淡水湖泊,地理坐标为东经 100°05′—100°17′,北纬 25°36′—25°58′之间。流域面积 2 565 km²,全年日照时数平均为 2 250~2 480 h,占可照时数的 47%~56%,年平均气温 15℃,相对湿度 63.1%。风向为西南向,平均风速 2.4 m/s^[11-13]。土壤类型有红壤、紫色土、棕壤、暗棕壤、水稻土、石灰岩土、亚高山草甸土等。洱海缓冲带全线长度共 128 km,总面积约 94 km²。北岸、西岸的湖岸较缓,缓冲带较宽,东岸的湖岸较陡,缓冲带较窄。缓冲带内农业区土地主要种植类型有水稻、大蒜、玉米和蔬菜等^[14-15],缓冲带内及缓冲带上游不远处的养殖强度比较高。

1.2 样品采集与分析

于 2013 年 7 月在洱海缓冲带内布设采样点(图 1),用 GPS 记录点位信息,采集表层土壤样品(土壤层为 0—20 cm)。采样时,以采样点为中心,在半径 100 m 范围内随机采集 2~3 个样,然后将其等量均匀作为一个土壤样,共采集 80 个土壤样品。将所采集样品去除枯枝等异物,部分样品(约 5 g)采用称量法测含水率,采用靛酚蓝比色法测氨氮,紫外分光光度法测硝氮^[16]。其余样品经风干、研磨及过筛后,采用重铬酸钾容量法测有机质,采用凯氏定氮法测全氮^[17],采用酸溶—钼锑抗比色法测全磷。



注:1. 永安江; 2. 弥苴河; 3. 罗时江; 4. 霞移溪; 5. 万花溪; 6. 阳溪; 7. 茫涌溪; 8. 锦溪; 9. 灵泉溪; 10. 白石溪; 11. 双鸳溪; 12. 隐仙溪; 13. 梅溪; 14. 桃溪; 15. 中和溪; 16. 白鹤溪; 17. 龙溪; 18. 清碧溪; 19. 莫残系; 20. 葶冥溪; 21. 阳南溪; 22. 波罗江。

图 1 洱海土壤采样点分布图

1.3 数据处理与分析

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)用 SPSS 13.0 软件分析,土壤特性空间插值相关参数用 ArcGIS 9.2 软件地统计学模块计算。

由于特异值的存在会造成变量连续表面的中断,使试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,故采用域法识别特异值^[18],在区间 $\bar{a} \pm 3s$ (\bar{a} 为样本平均值, s 为标准差)以外的数据定为特异值,用正常最大值和最小值代替特异值。

2 结果与讨论

2.1 土壤特性的描述性统计

由表 1 可见,含水率变化范围为 0.22%~38.02%,有机质、全氮、全磷、氨氮和硝氮含量变化范

围分别为 0.91~83.2 g/kg, 0.35~4.75 g/kg, 0.17~2.36 g/kg, 0.15~47.13 mg/kg 和 1.88~195.28 mg/kg。土壤各指标的变异系数从小到大依次为:全磷<全氮<有机质<含水率<硝氮<氨氮。全氮和全磷的变异系数相对较低,说明缓冲带内农田施肥水平差别不大。含水率、有机质、全氮和全磷变异系数在 10%~100%间,具中等变异性。氨氮和硝氮变异系数均大于 100%,具强变异性,与昆明地区柴河流域土壤氮的统计结果类似^[19]。从变异系数强度看,在土壤特性指标满足相同精度的要求下,在同一区域

氨氮和硝氮的采样密度,应该高于土壤含水率、有机质、全氮和全磷。

Kolmogorov—Smirnov 法是检验样本 ($n > 50$) 正态性的, $K-S$ 值越小其正态性越显著^[20]。经单样本 $K-S$ 检验,置信度为 95%。土壤含水率、有机质、全氮、全磷、氨氮和硝氮均符合正态分布要求。按平均值看,根据全国第二次土壤普查养分分级标准(表 2),洱海缓冲带土壤的有机质处于三级标准,全氮处于二级标准,全磷处于一级标准,总体来看,养分水平较高,

表 1 土壤特性的基本统计特征(样本数为 80)

项目	含水率/%	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	氨氮/ (mg·kg ⁻¹)	硝氮/ (mg·kg ⁻¹)
最大值	38.02	83.20	4.75	2.36	47.13	195.28
最小值	0.22	0.91	0.35	0.17	0.15	1.88
平均值	12.95	26.36	1.7	1.06	7.03	42.99
标准差	9.54	19.22	1.00	0.47	9.30	46.63
变异系数%	73.7	72.9	58.8	44.3	132.3	108.5
偏度	0.661	1.000	1.376	0.734	2.077	1.690
峰度	-0.187	0.435	1.998	0.057	4.114	2.509
正态检验 $K-S$	0.853	1.370	1.339	0.976	2.080	1.665

表 2 全国第二次土壤普查养分分级标准

项目	一级	二级	三级	四级	五级	六级
有机质	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
全氮	>2	1.5~2	1~1.5	0.75~1	0.5~0.75	<0.5
全磷	>1	0.8~1	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2

2.2 土壤特性的趋势分析

对研究区的土壤特性描述只能概括全貌,不能反映局部的变化特征。运用 ArcGIS 9.2 软件的地统计学模块,可获得土壤特性趋势特征参数及异向性分布特征参数。

分析结果表明,含水率南北向呈南北低,中部高的规律,东西向呈东西低,中部高的规律;有机质南部略低,东西向呈东西高,中部低。全氮南北向呈南北低,中部高的规律,东西向变化不大;全磷变化规律与全氮相似;氨氮从北向南呈降低趋势,东西向呈东西高,中部低的规律;硝氮从北向南变化不明显,从东向西有升高趋势。

2.3 土壤特性的空间变异结构和空间分布格局

根据洱海缓冲带内各个样点的试验数据,计算出

各个特性的实际半方差函数值,选择合适的多个模型拟合。根据平均预测误差(mean error)越接近“0”越好,预测误差的均方根(root-mean-square)和平均预测标准差(average standard error)越小越好,平均标准差(root-mean-square standardized)越接近“1”越好的原则,选择最佳拟合模型。

土壤特性的空间相关性的强弱可根据块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 来划分,若比值 < 25%,说明系统具强烈的空间相关性,25%~75%间,表明系统具中等空间相关性,比值 > 75%,说明空间相关性弱^[21]。由表 3 可见,洱海缓冲带土壤有机质有强烈的空间相关性,其性质主要受内在因子(土母质、气候、土壤类型等)的影响。而全氮和全磷空间相关性弱,其受随机因素如施肥、耕作措施等的影响较大。

表 3 土壤特性理论半方差模型及其拟合参数

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 SME	均方根误差 RMSE
有机质	18.560	443.300	461.860	4.08	半球	0.385	20.930
全氮	0.928	0.013	0.941	98.62	半球	-0.003	1.045
全磷	0.144	0.039	0.183	78.69	指数	-0.027	0.475
氨氮	50.963	18.663	69.626	73.20	半球	-0.099	8.390
硝氮	1 556.400	519.55	2 075.950	74.97	指数	0.178	45.660

Kriging 法适合研究空间分布上既有随机性又有结构性,或空间相关性和依赖性的自然现象。因此根据计算得到的半方差理论模型,用 Kriging 法进行最优内插,获得洱海缓冲带内土壤特征空间分布图(附图 5—6)。从附图 5—6 可见,全氮和全磷含量西部和北部较高,与洱海流域的农田分布有关。洱海缓冲带内西部农田占缓冲带内农田总面积的 61%,北部农田占缓冲带内农田总面积的 14%,主要种植水稻、豆类、麦类和大蒜等^[22-23],大量施用氮、磷,施肥量较高^[24-25]。氨氮含量在缓冲带外圈较大,内圈相对较低,而硝氮的变化规律恰好相反,这与两方面因素有关:一方面,外圈的污染负荷高,主要来自种植、生活和养殖,而在内圈,污染负荷低;另一方面,从外圈到内圈的迁移过程中,氨氮被氧化成硝氮也是重要原因。

3 结论

(1) 通过对洱海缓冲带土壤特性的描述性统计分析可见,各项统计特征均能通过 $K-S$ 检验,为正态分布。其中,氨氮和硝氮的具强变异性。总体上,洱海缓冲带土壤养分水平较高,这与洱海流域农业活动(养殖和种植)强及土壤本底有关。

(2) 洱海缓冲带土壤特性的趋势性分析表明,有机质南部略低,东西向呈东西高,中部低,全氮、全磷南北向呈南北低,中部高,东西向的变化不大。

(3) 洱海缓冲带土壤的有机质的空间相关性强烈,而全氮和全磷空间相关性弱。受农田格局影响,全氮和全磷含量西部和北部较南部的高。氨氮含量在缓冲带外圈较高,内圈相对较低,而硝氮的变化规律相反,是受迁移转化影响的结果。

[参 考 文 献]

- [1] 谭万能,李志安,邹碧,等.地统计学方法在土壤学中的应用[J].热带地理,2005,25(4):307-311.
- [2] 张淑娟,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.
- [3] 樊兰英,郭晋平.三种典型河岸林土壤氮磷的空间分布格局及其影响因素[J].水土保持通报,2012,32(2):17-20.
- [4] 曾伟,陈雪萍,王珂.基于地统计学和 GIS 的低丘红壤养分空间变异及其分布研究:以龙游县低丘红壤为例[J].浙江林业科技,2006,26(3):1-6.
- [5] White J G, Welch R M, Norvell W A. Soil Zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997,61(1):185-194.
- [6] 牟晓杰,孙志高,刘兴土.黄河三角洲典型潮滩湿地土壤硝态氮和铵态氮的空间分布特征[J].水土保持通报,2012,32(6):256-261.
- [7] Webster R. Spatial variation in soil and the role of Kriging[J]. Agricultural Water Management, 1983,6(2): 111-122.
- [8] 王秋光,叶春,李春华,等.太湖湖滨缓冲带不同植被类型对土壤有机碳、总氮、总磷含量的影响及其分布特征[C]//2013 年中国环境科学学会学术年会论文集:6 卷,2013.
- [9] 董思远,许秋瑾,胡小贞,等.太湖缓冲带土地利用现状及变化[J].农业环境与发展,2012,29(4):62-64.
- [10] 翟红娟,崔保山,赵欣胜,等.异龙湖滨带不同环境梯度下土壤养分空间变异性[J].生态学报,2006,26(1): 61-69.
- [11] Sun Shuncai, Zhang Chen, Eisma D E, et al. Recent sedimentation and suspended matter in Erhai Lake, Yunnan Province, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1999,17(2):170-180.
- [12] 徐安伦,董保举,刘劲松,等.洱海湖滨大气边界层结构及特征分析[J].高原气象,2010,29(3):637-644.
- [13] 徐安伦,赵晓红,付志嘉,等.洱海盆地水面与地面气象要素变化特征的比较[J].大气科学学报,2011,34(2): 225-231.
- [14] Tang Qiuxiang, Ren Tianzhi, Lei Baokun, 等.洱海北部地区不同轮作农田氮、磷流失特性研究[J]. Agricultural Science & Technology, 2013,13(10):2206-2212.
- [15] 黎春梅,董利民.基于水环境保护下的洱海流域农业产业结构调整[J].湖北农业科学,2011,50(2):426-429.
- [16] 中国土壤学会农业化学委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 史丹,李艳.地统计学在土壤学中的应用[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [19] 赵斌,吴献花,张刚.柴河流域土壤氮的空间分布特征研究[J].玉溪师范学院学报,2011,27(4):18-22.
- [20] 王波,毛任钊,曹健,等.海河低平原区农田重金属含量的空间变异性:以河北省肥乡县为例[J].生态学报,2013,26(12):4082-4090.
- [21] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field-scale variability of soil properties in central low a soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994,58 (5):1501-1511.
- [22] 刘培财.保护性施肥对洱海北部农田氮素流失及作物产量的影响[D].北京:中国农业科学院,2011.
- [23] 汤秋香,任天志,雷宝坤,等.洱海北部地区不同轮作农田氮、磷流失特性研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):608-615.
- [24] 马艳,董利民.洱海流域农村面源污染对水环境的影响及其控制对策[J].华中师范大学研究生学报,2011,18 (1):150-153.
- [25] 胡万里,段宗颜,鲁耀,等.洱海北部农田土壤碳、氮状况及肥力效应[J].土壤通报,2011,42(5):1138-1142.