

滇池东大河流域土壤磷素累积规律及空间分布特征研究^①

包立, 张乃明*, 农明英

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: 滇池是中国水体富营养化最严重的湖泊之一, 磷是造成滇池有害藻类“水华”的限制因子。本文以滇池南岸主要入滇河流——东大河为研究对象, 探讨了流域内磷素的累积规律及空间分布特征, 结果表明: 流域下游有显著的磷素累积。土地利用类型对流域土壤磷素累积有显著影响, 设施农业是土壤磷素累积的最主要土地利用类型。流域东北部靠近滇池的区域是磷素累积最严重的区域。

关键词: 滇池; 东大河; 土壤磷; 累积规律; 空间分布

中图分类号: S156.4

滇池是中国水体富营养化最严重的湖泊之一^[1], 滇池流域是“三河三湖”治理的重点区域, 针对滇池富营养化及其有害藻类“水华”成因已经取得了较多的研究成果^[2-4]。随着农业产业结构的调整, 以大棚设施栽培为主的蔬菜、花卉种植面积的进一步扩大, 流域内农田化肥施用强度越来越高^[5], 整个流域内大约 60% 的土壤有效磷含量在 50 mg/kg 以上, 最高可达 548.7 mg/kg, 无论是磷肥使用量还是土壤有效磷累积量均高于全国平均水平^[6]。虽然通过过程控制减少农田磷素输出的难度较大, 但其是减缓滇池水体富营养化过程和防控有害藻类“水华”的重要措施之一^[7-8]。因此, 本研究通过对滇池南岸典型入湖河流东大河流域实地采样分析, 对该区域土壤磷累积、空间分布特征进行研究, 以期减少磷素向滇池水体输入提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇池位于云南省昆明市的西南, 古名滇南泽, 又称昆明湖。湖面海拔高度为 1 886 m, 南北长 39 km, 东西最宽为 13 km。湖岸线长 163.2 km, 面积为 306.3 km², 容水量为 15.7 亿 m³, 素称“五百里滇池”。滇池水由海口注入普渡河, 汇入金沙江, 属长江水系, 流域面积 2 855 km², 为我国的第六大淡水湖。湖滨土地肥沃, 气候温和, 水源充沛, 有利于灌溉和航

行。平均气温为 14.5℃ ~ 17.8℃, 降雨量为 1 070 mm。

东大河是入滇的 36 条主要河道之一, 全长 17.13 km, 起点为宝峰镇大春河水库分洪闸, 终点为昆阳镇兴旺村委会河嘴入湖口, 流经宝峰镇昌家营、昆阳镇乌龙、储英等 11 个村委会, 径流面积 195.44 m², 是昆阳坝区的防洪主河道, 也是最主要的灌溉河道。杂乱的鱼塘、田地, 大量化肥等富营养物质通过农田排灌汇集到河道后, 进入滇池, 直接增加了滇池水的污染负荷。

1.2 样品采集与分析

如图 1 所示, 在野外实地考察的基础上, 遵循空间上均匀分布、典型性、代表性的原则, 于河流域两岸的不同土地利用类型采样。土样的采集遵循土壤学实验基本原理, 于 2011 年 6 月至 10 月采基础混合样 59 个, 土地利用类型分为 6 类: 林地 6 个, 坡耕地 11 个, 耕地 5 个, 蔬菜大棚 9 个, 花卉大棚 26 个, 湿地 2 个。

采样采取表层土样的采集方式, 深度为 20 cm。采用随机多点混合采样, 风干后去除石砾、有机残体, 作物根系等非土壤物质, 以消除对元素测定的影响。风干后土样过 1 mm、0.25 mm、0.149 mm 筛后进行测定。

土壤全磷测定采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法, 土壤有效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 土壤水溶性磷采用水土比 60:1 浸提 60 min 后钼蓝比色法测定^[9]。

基金项目: 国家水污染控制科技重大专项(2012ZX01102-003), 国家自然科学基金重点项目(41030640)和云南省基金重点项目(2009CC006)资助。

* 通讯作者(zhangnaiming@sina.com)

作者简介: 包立(1985—), 男, 云南建水人, 博士研究生, 主要从事农业面源污染与水土保持方面的研究。E-mail: bblly@163.com

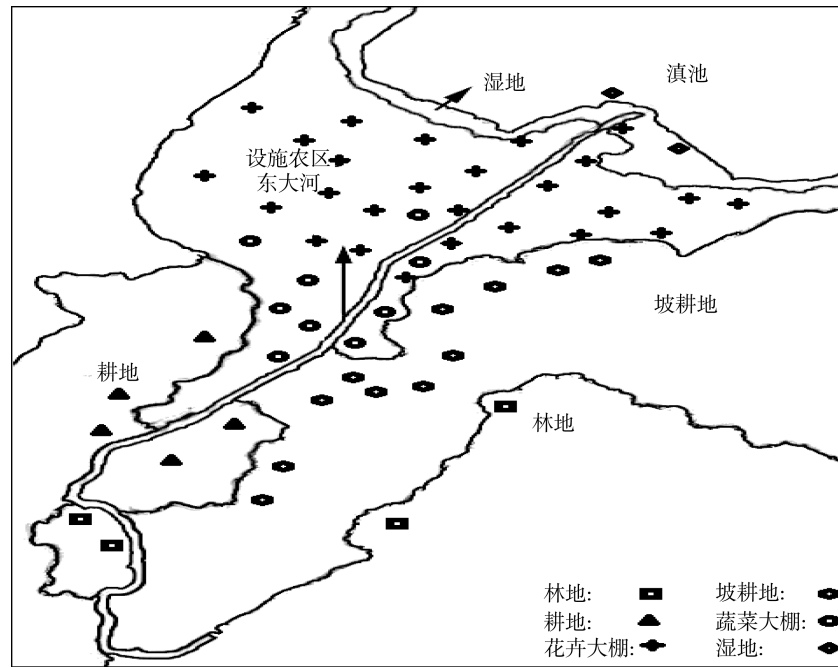


图 1 采样点位图

Fig. 1 Distribution of sampling points

1.3 数据处理方法

常规数据处理统计分析采用 SPSS11.0 和 Excel2010 软件完成，地统计分析采用 GS+7.0 软件拟合半变异函数建立拟合模型及其参数，在 ArcGIS9.2 中应用 Geostatistical Analyst 模块，并采用普通 Kriging 方法，建立研究区土壤磷素空间分布图。

2 结果与讨论

2.1 滇池东大河流域土壤磷素分布规律

整个东大河流域土壤全磷含量为 0.24 ~ 1.52 g/kg，平均值为 1.01 g/kg(表 1)，明显高于南方酸性土壤全磷含量的一般值(0.56 g/kg)(据全国第二次土壤普查：南方酸性土壤全磷含量一般低于 0.56 g/kg)，这表明东大河土壤磷有显著的累积。

从表 1 可以看出东大河流域上游土壤全磷、速效

磷、水溶性磷的含量都很低，但是变化范围广、变异系数高，个别样点的速效磷水平达到了二级标准。由于受传统农事活动的影响，东大河各形态磷含量都有了一定升高，且由于传统农事活动的方式有一套完整的操作系统，各形态磷的含量稳定，变异系数极低，各取样点之间基本没有差异。下游设施农区，现代化农业带来了大量的化肥农药等高含量物质的输入。根据种植模式和投入力度的不同，各形态磷的含量均显著累积，尤其是速效磷的增长幅度达到了 64%。

从表 1 可以看出，虽然流域变化对土壤磷的累积和分布有一定影响，但影响土壤磷变化的最主要因素应该是土地利用方式。在东大河流域，尤其是下游现代设施农业(水稻土)的发展对磷的累积和分布造成了较大的影响。

表 1 东大河流域土壤磷素基本状况

Table 1 Soil phosphorus status in Dongda River basin

磷形态	流域	土壤类型	样本数	范围	平均值	标准差	变异系数
全磷 (g/kg)	上游	红壤	11	0.24 ~ 0.73	0.50	0.21	0.42
	中游	红壤、黄壤	11	0.75 ~ 0.87	0.80	0.04	0.01
	下游	水稻土	35	1.01 ~ 1.52	1.26	0.16	0.13
速效磷 (mg/kg)	上游	红壤	11	6.58 ~ 26.28	17.22	6.94	0.40
	中游	红壤、黄壤	11	27.16 ~ 29.74	28.20	0.92	0.03
	下游	水稻土	35	35.14 ~ 63.46	46.31	8.31	0.18
水溶性磷 (mg/kg)	上游	红壤	11	3.76 ~ 10.92	8.10	2.52	0.31
	中游	红壤、黄壤	11	11.05 ~ 11.85	11.35	0.24	0.02
	下游	水稻土	35	13.02 ~ 20.76	16.02	2.18	0.14

2.2 滇池东大河流域不同土地利用方式对土壤磷素累积的影响

从图 2 可以看出,土地利用类型对土壤磷素累积有显著作用。全磷含量依次为:湿地(1.79 g/kg)>花卉大棚(1.34 g/kg)>蔬菜大棚(1.05 g/kg)>耕地(0.85 g/kg)>坡耕地(0.74 g/kg)>林地(0.32 g/kg)。根据第二次土壤普查的养分分级标准,林地全磷含量处于五级水平,坡耕地处于四级水平,耕地处于二级水平,蔬菜大棚、花卉大棚、湿地处于一级水平,全流域的全磷水平整体较高。其中林地全磷含量的变异系数较大,各取样点之间的差异显著,其他土地利用类型下的变化不明显,变异系数较小,证明人为干扰对磷含量的影响更加重要。

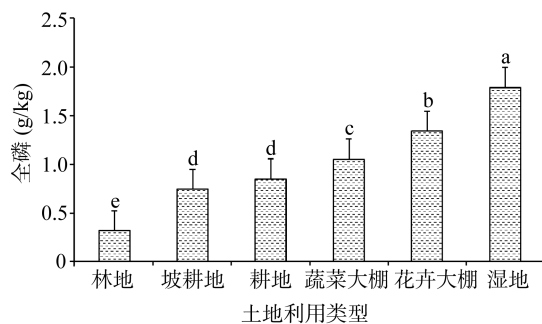


图 2 东大河流域土壤全磷变化

Fig. 2 Soil phosphorus changes in Dongda River basin

在滇池东大河流域,上游的林地植被茂密,根系发达,具有固定土壤的性质;中游的坡耕地、耕地属传统农区,肥料施用量较少,相应的全磷含量相对较少;东大河下游为蔬菜花卉产地,全部都建成大棚农业,土壤利用强度大,肥料农药大量投入,化肥用量达 10 000 ~ 15 000 kg/(hm²·a),全磷含量较高,磷流失风险相对较大;河口湿地沉积了大量的物质,因此对磷也有良好的富集作用,磷流失风险最大。

从图 3 可以看出,土壤速效磷含量依次为:湿地(72.19 mg/kg)>花卉大棚(49.08 mg/kg)>蔬菜大棚(37.13 mg/kg)>耕地(28.99 mg/kg)>坡耕地(25.79 mg/kg)>

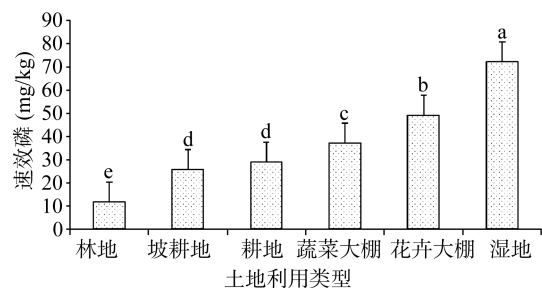


图 3 东大河流域土壤速效磷变化

Fig. 3 Soil available phosphorus changes in Dongda River basin

林地(11.82 mg/kg)。根据第二次土壤普查分级标准,林地处于三级标准,坡耕地、耕地、蔬菜大棚处于二级标准,花卉大棚和湿地处于一级标准,全流域速效磷含量偏高。

不同土地利用类型之间速效磷的含量变化与全磷变化的趋势一致,其中河口湿地的速效磷含量高于 60 mg/kg,其输入量已足矣引起水体富营养化和诱导有害藻类“水华”。

从图 4 可以看出,土壤水溶性磷含量依次为:湿地(40.00 mg/kg)>花卉大棚(16.89 mg/kg)>蔬菜大棚(13.49 mg/kg)>耕地(11.55 mg/kg)>坡耕地(10.90 mg/kg)>林地(6.06 mg/kg)。在东大河流域,不同土地利用类型之间水溶性磷的含量表现为从上游的林地到下游的设施农区,水溶性磷的变化程度不大,只有在河口湿地有大量的沉积,说明磷在各类土地利用类型下的水溶性都较差,水溶性磷的污染负荷相对较小。

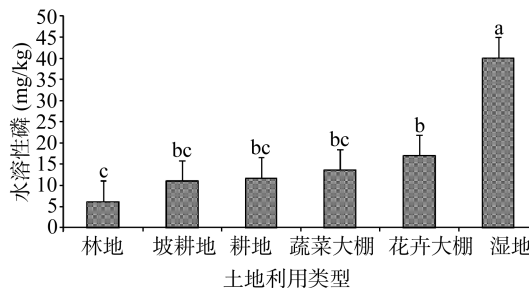


图 4 东大河流域土壤水溶性磷变化

Fig. 4 Soil water-soluble phosphorus changes in Dongda River basin

2.3 滇池东大河流域磷空间分布特征

为了更加准确和直观地描述东大河流域土壤中磷素的空间分布特征,根据所得试验数据,利用克里格插值法,绘制了全磷、速效磷和水溶性磷的空间分布图。

在滇池东大河流域,土壤全磷、速效磷和水溶性磷总体呈现东北高西南低,由西南向东北递增的趋势(图 5)。在中部的设施农区,磷含量显著升高。在临近滇池的东北部,磷含量显著高于其他区域。在南部和北部未现代化利用山区,磷含量较低。

全磷和速效磷在中部的设施农区有显著升高,在东北部的磷矿生产区有明显累积,且沿东大河变化的趋势极为明显。可见,设施农业种植显著提高了流域中下游全磷和速效磷的含量。水溶性磷在空间上分布均匀,受河道的影响不大,设施农业种植对水溶性磷的影响相对全磷和速效磷较低。

3 结论

(1) 滇池南岸东大河流域不同区域(上中下游)对

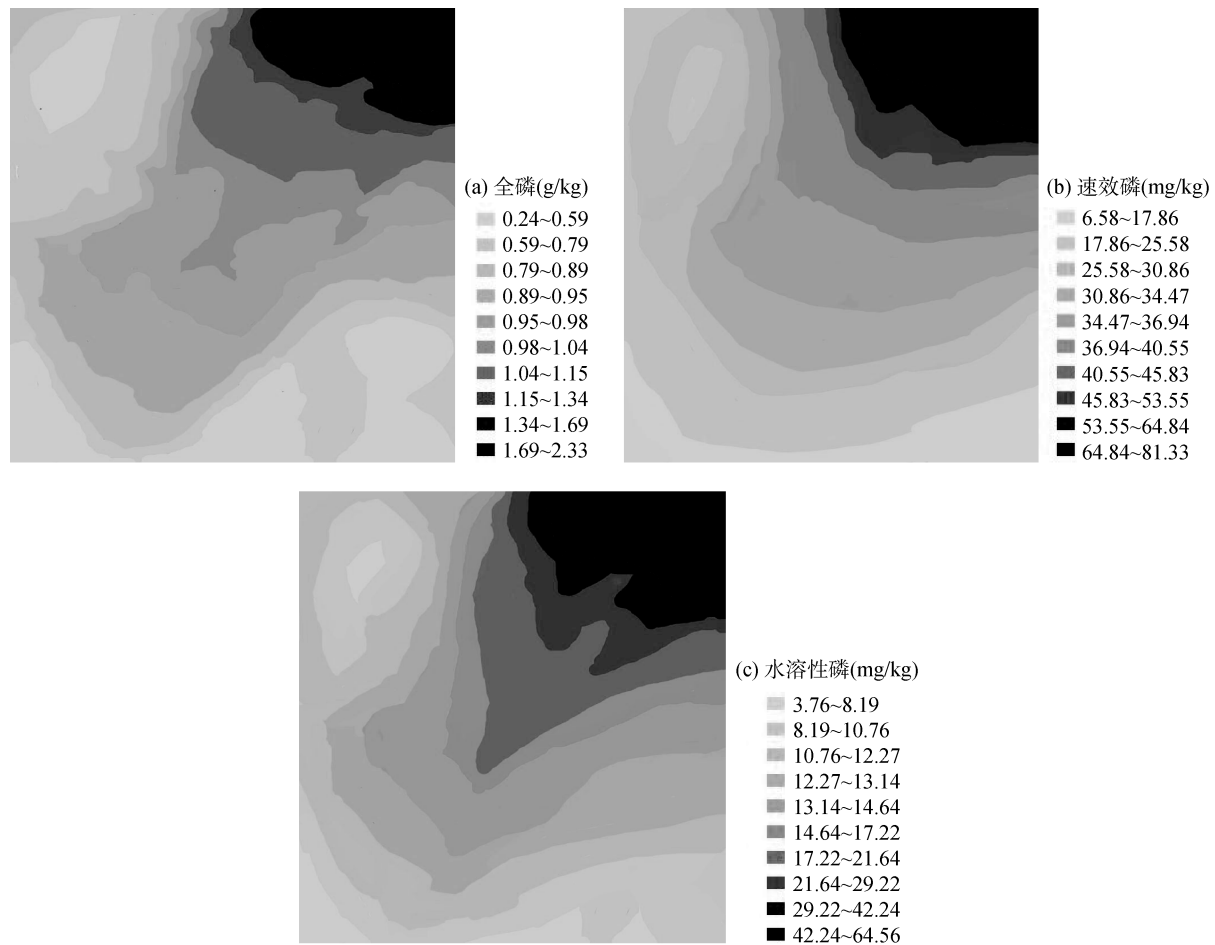


图 5 东大河流域磷空间分布特征

Fig. 5 Soil phosphorus distribution in Dongda River basin

土壤磷含量有一定影响,东大河流域下游,土壤磷有很显著的累积。

(2) 土地利用类型是东大河流域土壤磷含量累积最主要的影响因素:传统耕作会增加一定的磷素累积;现代设施农业会极大地增加土壤磷素累积;河口湿地对磷素有很好的富集作用。

(3) 滇池流域是云南最重要的湖滨农区,是滇池治理与农业可持续发展的重点治理区域^[10]。从空间分布看,东大河流域土壤磷素基本变化为由西南向东北递增,流域东北部靠近滇池的区域磷含量最高,磷污染风险最大。因此,在以后的治理工作中应该重点加强湖滨带农区的治理与管理。

参考文献:

- [1] 段永惠,张乃明.滇池流域农村面源污染状况分析[J].环境保护,2003(7):28-30
- [2] 张乃明,余扬,洪波,陈建军.滇池流域农田土壤径流磷污染负荷影响因素[J].环境科学,2003,24(3):155-157
- [3] 张德刚,汤利,陈永川,朱元元,杨永春,朱贞彦.滇池流域典型城郊村镇排放污水氮、磷特征分析[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2245-2250
- [4] 桂萌,祝万鹏,余刚,张鹏义.滇池流域大棚种植区面源污染释放规律[J].农业环境科学学报,2003,22(1):1-5
- [5] 东野脉兴,夏学惠,周建民,田升平,张灼,樊竹青.滇池磷的现代沉积与环境污染防治对策[J].化工矿产地质,2004,26(1):1-5,28
- [6] 张燕,阎百兴,刘秀奇,王莉霞,曹会聪.农田排水沟渠系统对磷面源污染的控制[J].土壤通报,2012(3):745-750
- [7] 张燕,李永梅,张怀志,张维理.滇池流域农田径流磷素流失的土壤影响因子[J].水土保持学报,2011,25(4):41-45
- [8] 杨振兴,张乃明,王磊,张刚.滇池宝象河流域土壤磷素变异特征及影响因素研究[J].土壤,2011,43(1):39-43
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999:39-110
- [10] 张兆国,赵晓惠,陈慧泉,贝荣塔,李小英,李玉芬.农林复合经营模式控制滇池山台地水土及氮、磷流失的研究[J].林业调查规划,2005,30(1):39-43

Soil Phosphorus Variation, Accumulation and Spatial Distribution in Dongda River Basin, Dianchi Lake

BAO Li, ZHANG Nai-ming^{*}, NONG Ming-ying

(Resource and Environmental College, Yunan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Dianchi Lake is one of the most serious of eutrophication of lakes in Western China. Phosphorus is considered as the limiting factor causing for eutrophication and harmful algal blooms in Dianchi Lake. In this study, Dongda River basin, one of the rivers entering into Dianchi Lake, was chosen and the phosphorus forms and spatial distribution were investigated. The results showed that: 1) the phosphorus was significantly accumulated in downstream. 2) Land use type had significant impact on phosphorus accumulation, and facility agriculture was the most important factor in the accumulation of soil phosphorus. 3) The phosphorus was most heavy in northeast of the study area near the Dianchi.

Key words: Dianchi Lake, Dongda River, Soil phosphorus, Accumulation law, Spatial distribution