

# 滇池宝象河流域水体氮素特征及影响因素

普惠娟, 张乃明, 杨振兴, 王磊, 张刚

(云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 非点源流失的氮是造成水体污染的主要因素之一。通过对滇池宝象河 6 个点位沟渠水和河道水体氮素的动态监测, 研究了流域水体氮污染特征和影响因素。结果表明, 农田沟渠水总氮平均浓度高于相应河道水总氮浓度, 沟渠水总氮平均浓度范围为 3.86 ~ 22.86 mg/L, 河道水总氮浓度 3.14 ~ 6.63 mg/L, 总体趋势是从上游到下游水体氮素浓度逐渐升高, 并且沟渠水体和河道水体氮素随时间变化呈现同样的趋势。农田沟渠水与河道水体总氮之间、农田沟渠水总氮与沟渠周边表层土壤全氮及沟渠沉积物全氮均呈显著相关性。

**关键词:** 滇池; 宝象河; 农田沟渠水; 氮; 沉积物

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0123-03

中图分类号: X834

## Characteristics and Influence Factors of Water Body Nitrogen in Baoxiang River Watershed of Dianchi Lake Area

PU Hui-juan, ZHANG Nai-ming, YANG Zhen-xing, WANG Lei, ZHANG Gang

(College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

**Abstract:** Nitrogen loss in non-point source is the main factor causing water pollution. By dynamic monitoring of water body nitrogen in six ditches and stream channels in Baoxiang River watershed, the characteristics and influence factors of nitrogen pollution in water body were studied. Results showed that in different locations and different times, the nitrogen concentration of ditch water on farmland is greatly different from that in channel water. The average concentration of total nitrogen (TN) in ditch water is higher than that in the corresponding channel water. The average TN concentration in ditch water ranged from 3.86 to 22.86 mg/L and the TN concentration in channel water, from 3.14 to 6.63 mg/L. The overall trend is that the nitrogen concentration of water body gradually increased from upstream to downstream. Nitrogen in ditch water on farmland and in channel water showed the same trend over time. TN between ditch water and channel water and TN between ditch water on farmland and the surface soils surrounding ditches and stream sediment are significantly correlated.

**Keywords:** Dianchi Lake; Baoxiang River; farmland ditch water; nitrogen; sediment

滇池是我国水体富营养化最严重的湖泊之一, 导致滇池富营养化的氮、磷等污染物主要通过入湖河流输入滇池<sup>[1]</sup>。滇池流域约有大小 70 多条河流呈向心状汇入湖泊水体, 其中直接流入滇池的主要河道有 29 条, 仅大清河、盘龙江、宝象河、洛龙河等 10 条河的入滇池水量就占监测河道入滇池水量的 84%<sup>[2]</sup>。宝象河流域面积 302 km<sup>2</sup>, 其水质状况为劣类<sup>[3]</sup>, 是滇池流域内仅次于盘龙江的第二大河道, 每年由宝象河流入滇池的氮、磷污染物占有较大比重。

目前, 有关滇池流域的研究主要集中在坡地水土流失、生活污水处理、农田水肥流失控制以及滇池内源污染等方面, 而缺乏对于主要入湖河流水质变化规

律及其影响因素的系统研究。通过对宝象河 6 个点位沟渠水和河道水体氮素的动态研究, 探讨不同区域、不同时间水体氮素变化规律及影响因素, 以期为宝象河河道整治和滇池治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

宝象河属昆明古六河之一, 源于官渡区东南部老爷山, 流经大板桥、阿拉、经开区、小板桥, 在宝丰村附近汇入滇池, 全长 36.2 km, 是入滇的第二大河流。宝象河流域位于滇池的东北部, 地理坐标为东经

收稿日期: 2009-04-17

修回日期: 2009-06-01

资助项目: 国家自然科学基金(40761014); 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B12-3)

作者简介: 普惠娟(1983—), 女(汉族), 云南省普洱市人, 硕士研究生, 主要从事面源污染研究。E-mail: puhuijuan1983@163.com。

通信作者: 张乃明(1963—), 男(汉族), 山西省长治市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事面源污染研究。E-mail: zhangnaiming@sina.com。

102°41′—102°56′, 北纬 24°58′—25°03′; 流域面积 302 km<sup>2</sup>, 南北跨度近 30 km, 约占整个滇池流域的 10.3%。流域属典型的北亚热带湿润季风气候, 在低纬度、高海拔地理条件综合影响下, 受季风气候制约, 形成了流域内四季温差小、干湿季分明、垂直变异显著的低纬山原季风气候。年内降雨分布极不均匀, 80%以上降雨集中在雨季 5—10 月, 多年平均气温 14.7℃, 年均降雨量 953 mm, 土壤主要为红壤、黄棕壤等地带性土壤和水稻土等人为土, 其中主要是红壤, 约占全流域的 71.7%, 水稻土次之, 约占 24.9%, 黄棕壤约占 3.4%<sup>[4]</sup>。

## 1.2 野外布点采样

宝象河流域水体氮素的监测于 2008 年 6 月至 2008 年 11 月进行, 根据宝象河流域农田分布情况主要选取沿河的主要农业种植区的 6 个监测点(上游 2 个、中游 1 个、下游 3 个), 每个地点每次分别取近河道农田沟渠水样 3 个、相应的河道水样 1 个, 为进一步弄清地表径流氮素流失影响因素, 分别加采近河道农田沟渠沉积物和沟渠周边农田表层土样, 沉积物和土样的采集方法为 5 点混合取样法。

## 1.3 测定方法

水样分析指标为总氮(TN)、硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )和铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )。TN 采用过硫酸钾消化(120℃, 200 Pa, 消化 30 min), 双波长比色法测定; 经沉淀过滤后的水样用双波长比色法测定硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ); 采用纳氏试剂光度法测定铵态氮

( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )<sup>[5]</sup>。表层土壤、沉积物样品采集后自然风干、磨碎分别过 1 和 0.25 mm 筛备用, 总氮量采用半微量开氏法<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 宝象河水体氮污染特征

不同监测点位河道水与沟渠水体氮形态及浓度见表 1, 流域区内主要为旱地, 农田沟渠水总氮含量 3.14~22.86 mg/L, 河道水体总氮 3.86~6.63 mg/L, 远大于地表水 Ⅱ类 2 mg/L 的水质标准(地表水环境质量标准), 也远大于滇池外海总氮含量(外海 TN 1.98 mg/L, 草海 TN 13.12 mg/L)。各监测点位沟渠水总氮平均浓度: 中营(22.86 mg/L) > 龙马(21.01 mg/L) > 宝丰(18.68 mg/L) > 海子(7.23 mg/L) > 西冲(5.27 mg/L) > 沙沟村(3.14 mg/L), 平均浓度达 13.0 mg/L, 其中果园区的沟渠水地表径流浓度最低, 菜地沟渠水地表径流浓度从上游到下游依次加大, 越靠近滇池的点位氮素浓度越高。

相应河道水体中总氮平均浓度为: 龙马(6.63 mg/L) > 中营(5.87 mg/L) > 宝丰(5.24 mg/L) > 西冲(4.58 mg/L) > 海子(4.01 mg/L) > 沙沟村(3.86 mg/L), 由于上游河段为水源地, 是传统农业区, 而下游为昆明主要的蔬菜和花卉生产地, 尤其是龙马主要种植蔬菜, 年复种指数较高, 化肥施入强度高于中上游, 所以总体上河道水呈现上游到下游总氮浓度逐渐增加的特征。

表 1 不同监测点位河流与沟渠水体氮形态及浓度

点位 编号	河段	监测 地点	土地利 用方式	沟渠水各形态氮素平均浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )			河道水各形态氮素平均浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )		
				$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN
1	上游	沙沟村	果园	0.71	2.46	3.86	1.20	1.85	3.14
2	上游	西冲	菜地	0.77	3.81	5.27	0.93	2.55	4.58
3	中游	海子	菜地	0.63	4.33	7.23	0.54	2.00	4.01
4	下游	中营	大棚	1.00	12.92	22.86	0.90	2.95	5.87
5	下游	龙马	菜地	1.92	11.02	21.01	0.93	2.90	6.63
6	下游	宝丰	菜地	1.80	8.57	18.68	1.49	2.13	5.24

宝象河农田沟渠水中硝态氮占总氮的比例最高, 均超过 50% (图 1), 菜地沟渠水中硝态氮占总氮比例高; 铵态氮占总氮的比例均低于 30%。河道水体中硝态氮占总氮的均超过 40%, 铵态氮占总氮的比例均低于 30% (图 2), 上游河道水体中铵态氮占总氮比例大于中下游铵态氮占总氮比例。

### 2.2 宝象河流域水体水质的动态变化特征

沟渠水体氮素浓度变化从时间上来看: 11 月 > 7 月 > 6 月 > 8 月, 从 5—6 月水样中各污染物含量有所增加, 6—7 月水样中的污染物含量继续增加, 但是增

加的幅度较 5—6 月的小, 7—8 月污染物含量急剧减少, 8 月后又逐渐增加。2008 年 5 月宝象河流域降雨 3 次, 其中产生径流中的降雨事件 1 次, 降雨强度不大, 且降雨时间不长, 而强降雨的开始是从 6 月份开始的, 5—6 月中是雨季初期, 地表径流溶解、搬运非雨季土壤中所吸附累积的氮素, 从而使沟渠水体中氮素含量增加, 随着雨季的推移, 降雨量相对加强, 使农田沟渠水体流动性加强, 水体得到稀释, 氮素浓度降低; 8 月末农业种植活动再次兴起, 土壤培肥和降雨量相对稳定, 使得 8 月后沟渠氮素负荷有所增加; 进

入11月降雨急剧减少,农田灌溉水体反复循环利用,使得沟渠水负荷进一步增加。

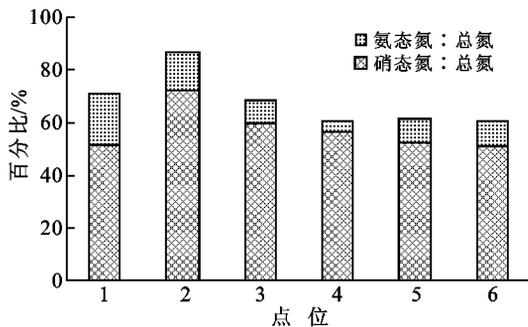


图1 各监测点位沟渠水不同形态氮素相对比例

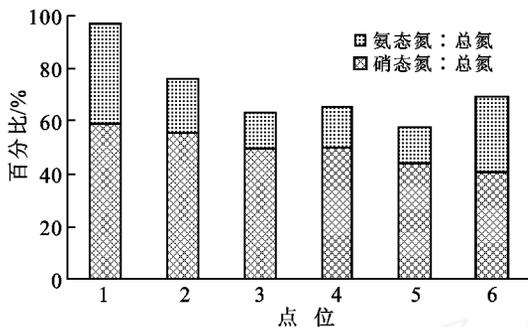


图2 各监测点位对应河道水不同形态氮素相对比例

河道水体氮素随时间的推移变化规律与沟渠水体氮素变化规律基本一致,相比较下河道水体的氮素浓度变幅较小,均表现氮浓度在雨季初期升高、中期降低及末期升高的规律,在整个雨季过程中可以发现氨态氮的变化幅度最小,其它形态氮素浓度变化幅度相对较大。

### 2.3 农田沟渠水对河道水氮素的影响

农田、沟渠、河道是构成沿河农业区域的基本要素,在农田径流作用下,养分经过沟渠进入河道,直接影响河道水体氮素的含量,在历次的监测中,监测结果表明,沟渠水和河道水 TN 达到显著相关 ( $R = 0.8925$ ,  $n = 6$ )。降雨后形成径流、地下水位上升及沟渠水位上升形成水泡田等现象,带走大量农田土壤中的溶解态氮,在农田沟渠流动条件下进入河道,使河道水体氮素污染负荷增加,直接影响沟渠与河道交汇处总氮浓度和河道水总氮浓度。

### 2.4 沟渠旁表层土壤氮素含量与沟渠水体氮含量的关系

研究区域农田主要是旱地,主要种植浅根系蔬菜,农户施肥都以肥料溶解于水后浇施,使肥料主要集中于表层,农田表层土壤氮素随降雨所形成的地表径流流失为沟渠水体提供了一定的氮素来源。对沟渠旁表层土壤和沟渠水体总氮含量进行相关性分析表明,沟渠旁表层土壤和沟渠水体总氮含量显著正相

关 ( $R = 0.7475$ ,  $n = 12$ )。

### 2.5 沉积物氮素含量与沟渠水体氮含量的关系

沉积物在湖泊养分和水体富营养化过程中起着重要的作用,在一定条件下,沉积物中的营养盐释放有可能成为富营养化的主导因子<sup>[7]</sup>,对宝象河流域农田沟渠沉积物和沟渠水体氮素含量相关性分析表明,沉积物总氮和沟渠水体总氮呈显著正相关 ( $R = 0.8322$ ,  $n = 12$ )。

## 3 结论

(1) 宝象河不同河段农田沟渠水和河道水体氮素浓度有较大差异,总体趋势是沟渠水氮浓度高于河道水体氮浓度,河道水体和沟渠水体氮含量由上游到下游逐渐增加,即农业活动和人为影响越大的地方氮素浓度越大,随地表径流直接影响滇池水质的可能性越大;硝态氮是水体氮素的主要形式,硝态氮占总氮比重大于氨态氮占总氮的比重。

(2) 氮素浓度随时间(6—11月)变化总体趋势是先升高后降低再升高;TN、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量随时间的变化呈现明显的动态变化; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和TN变化趋势基本一致且变幅较大, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的变幅很小。

(3) 在对氮污染影响因素的探讨中发现,河道水体氮含量与沟渠水体氮含量、沟渠周边表层土壤氮含量与沟渠水氮含量和沟渠沉积物氮含量与沟渠水氮含量间有显著的正相关性,相关系数分别为0.8925、0.7475、0.8322;沟渠表层土壤、沟渠沉积物对水质具有一定的影响,沟渠水体也直接影响河道水体氮素含量。而有关氮素形态随时空的迁移转化、水土流失及沉积物对水体氮素的影响还需要进一步研究。

### [参考文献]

- [1] 张治中. 滇池氮与富营养化研究[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(6): 34-36.
- [2] 张德刚, 汤利, 陈永川, 等. 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.
- [3] 滇池污染综合治理协调领导小组办公室. 2008年四季度滇池水质状况及治理情况公告[OL]. [2009-03-20]. <http://www.dianchi.gov.cn>.
- [4] 赵磊, 袁国林, 张琰, 等. 基于GIS和USLE模型对滇池宝象河流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 42-46.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 254-284.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 39-60.
- [7] 陈永川, 汤利, 张德刚, 等. 滇池沉积物总磷的时空分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 51-57.