

# 滇池流域典型城郊降雨径流 COD<sub>cr</sub> 及 TSS 污染负荷及贡献

张德刚<sup>1,2</sup>, 陈永川<sup>1,3</sup>, 汤利<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650201;

2. 红河学院 生命科学与技术学院, 云南 蒙自 661100; 3. 云南省热带作物科学研究所, 云南 景洪 666100)

**摘要:** 通过野外实地监测和室内分析, 系统监测了滇池流域典型城郊排放污水 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 通量, 采用城市降雨径流污染负荷的计算方法估算了城郊降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷, 并分析了由降雨径流引起的 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷占总负荷中的比例。结果表明, 滇池流域城郊人均排放 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷分别为 9.58 ~ 10.57 kg/a 和 2.88 ~ 3.14 kg/a; 滇池流域城郊由降雨径流引起的 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷分别为 1.166 ~ 1.458 t/(hm<sup>2</sup>·a) 和 0.729 ~ 1.808 t/(hm<sup>2</sup>·a)。全年由降雨径流引起的 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷分别占总污染负荷的 10.96% ~ 15.35% 和 25.73% ~ 35.89%。控制降雨径流污染是缓解滇池流域城郊面源污染的途径之一。

**关键词:** 滇池流域; 污染负荷; 降雨径流; 生活污水; COD<sub>cr</sub>; TSS; 城郊结合部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0172-04

中图分类号: X522

## Pollution Load and Contribution of Rainfall Runoff from a Typical Suburb Region in Dianchi Lake Catchment

ZHANG De-gang<sup>1,2</sup>, CHEN Yong-chuan<sup>1,3</sup>, TANG Li<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming,

Yunnan 650201, China; 2. College of Life Sciences and Technology, University of Honghe, Mengzi,

Yunnan 661100, China; 3. Yunnan Institute of Tropical Crop Science, Jinghong, Yunnan 666100, China)

**Abstract:** Combining field monitoring and laboratory analysis, this paper analyzes COD<sub>cr</sub> and TSS fluxes of a typical suburb discharge sewage in Dianchi Lake catchments. We use the pollution load of urban rainfall runoff to estimate the pollution load of suburb rainfall runoff and analyze the ratios of COD<sub>cr</sub> and TSS caused by rainfall runoff to the total load. Results show that by suburb discharge sewage per capita load, COD<sub>cr</sub> is 9.58 ~ 10.57 kg/a and TSS is 2.88 ~ 3.14 kg/a and by the suburb pollution load of rainfall runoff, COD<sub>cr</sub> is 1.166 ~ 1.458 t/(hm<sup>2</sup>·a) and TSS is 0.729 ~ 1.808 t/(hm<sup>2</sup>·a) in the Dianchi Lake catchments. Throughout the year, COD<sub>cr</sub> and TSS caused by rainfall runoff account for 10.96% ~ 15.35% and 25.73% ~ 35.89% of the total catchment area of emission pollution load, respectively. Control of rainfall runoff pollution is one of the ways to mitigate non-point source pollution of suburb in the Dianchi Lake catchments.

**Keywords:** Dianchi Lake catchment; pollution load; rainfall runoff; household wastewater; COD<sub>cr</sub>; TSS; suburb

化学需氧量(COD<sub>cr</sub>)是评定污、废水中有机物污染程度,进行污水监测分析的重要指标。固体悬浮物(TSS)对于污水处理厂来说不仅要控制进水和出水的固体悬浮物浓度,而且在处理过程中也需控制固体悬浮物浓度以达到最高效率<sup>[1]</sup>。所以定量研究区域

排放污水 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷对于了解区域污水有机污染状况,选择污水治理方案具有指导意义。

暴雨径流的非点源污染已成为湖泊水体污染的重要来源<sup>[2]</sup>。目前,国内部分城市<sup>[3-5]</sup>开展了城市降雨径流污染的监测研究,在城市降雨径流水质特性、

收稿日期:2009-07-23

修回日期:2009-12-29

资助项目:国家“863”项目“滇池入湖河流水环境治理技术与工程示范”(2005AA601010-02-5-03)

作者简介:张德刚(1977—),男(傣族),云南省石屏县人,讲师,硕士,主要从事植物营养与环境的教学与研究。E-mail:zhangdg2000@163.com。

通信作者:汤利(1964—),女(汉族),吉林省白山市人,教授,博士,主要从事植物营养、土壤肥料、农业面源污染控制等领域的教学与研究。E-mail:ltang@ynau.edu.cn。

模型预测以及管理方面取得了很多成果。在滇池流域,已对滇池东岸暴雨径流污染负荷的时空分布与输移特性,不同流域类型降雨径流对河流氮磷入湖总量的影响,合流制排水系统降雨径流污染物特征及初始冲刷效应等方面进行了一些研究<sup>[2,6-7]</sup>。但是对于城郊区域污水有机污染状况、固体悬浮物污染负荷还未见报道。因此,在研究了滇池流域典型城郊村镇排放污水特征的基础上<sup>[8-9]</sup>,根据一年的监测资料,分析了滇池流域典型城郊降雨径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染负荷及由降雨径流引起的污染负荷比例,以期了解滇池流域城郊区域污水有机污染状况及选择污水处理方案提供资料参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 采样与分析方法

在滇池流域大清河下游选取典型城郊为研究对象,根据研究区域的特点把研究区域分为居民生活区和居民生活—集市混合区。居民生活区为北起张家庙村大清河桥头沿大清河向南 160 m,西至盘龙江畔区域,区域面积约为 43 200 m<sup>2</sup>,人口约为 3 080 人,为典型居民生活区。居民生活—集市混合区为张家庙村北起第二污水处理厂,沿大清河向南 170 m 至张家庙村大清河桥头,东沿第二污水处理厂向西 270 m,至盘龙江畔区域,区域面积约为 45 900 m<sup>2</sup>,人口约为 4 840 人。其中张家庙村大清河桥头有一条主集市贯穿东西,该集市上具有满足居民日常生活的各种经营,其中小餐馆、旅店、菜市场是主要的污染源,为典型居民生活—集市混合区。该区域具有昆明市“城中村”的典型特征。住房多为居民自己所建,3~6 层不等,绝大多数住房沿道路四周第一层为铺面,中间为出租房或旅店,顶楼自家居住。出租房和旅店多是外地务工或短期劳工及其家属生活居住。由于缺乏基本的市政设施,固体废弃物无序堆放,大量生活污水未经处理直接排放到房屋下的沟渠。再由多条沟渠汇向附近明渠或者暗渠,污水由明渠或者暗渠排入大清河。

常规生活生产排放污水采样点设在明渠或者暗渠出口,自 2006 年 10 月到 2007 年 09 月,按 1 次/15 d 频率采集,同时用浮标法监测污水流量。当发生降雨径流时,采用自制的采样工具用聚乙烯瓶在集水口处收集径流样品。采样时同步用容积法监测径流流量,用雨量计记录雨量。一般暴雨事件在降雨产流时即开始采样,在初期径流开始时,间隔 5~30 min 不等采样,随后根据降雨事件的情况间隔 1~2 h 不等,一般连续采样到雨停为止。水样 24 h 内送云南

农业大学资源与环境学院实验室进行分析。本研究主要集中监测了滇池典型流域雨季中的 7 月和 8 月份 2 个月的 10 场降雨事件。

样品分析按国家标准方法进行,COD<sub>Cr</sub>用重铬酸钾法(采用 GB11914-89),TSS 用重量法(采用 GB11901-89)分析。

### 1.2 污染负荷计算

1.2.1 城郊生活排放污水负荷计算方法 由于城郊排放污水排放过程中水量、水质在一定的时之内相对稳定,因此利用每月监测到的污水通量和水质可以计算该区域的生活排放污水污染物的月通量<sup>[5]</sup>,各月通量之和即为年负荷。

污染物月通量根据文献<sup>[5]</sup>计算方法计算:

$$W = C_m \cdot V$$

式中:W——污染负荷(kg/月);C<sub>m</sub>——污染物月平均浓度(mg/L);V——该集水区污水月流量(m<sup>3</sup>)。本研究中,C<sub>m</sub>和V取每个月2次或者多次采样监测的平均值。

1.2.2 降雨径流污染负荷计算方法 城郊降雨径流污染负荷采用城市降雨径流污染负荷的计算方法。由于地表径流排放污染负荷的随机性使单次降雨径流污染负荷的代表性很差,所以通常采用的是年径流污染负荷(L<sub>y</sub>)。L<sub>y</sub>可利用下式计算<sup>[5]</sup>:

$$L_y = 0.001 \sum_{i=1}^m EMC_i \cdot R_i \cdot A \cdot P_i$$

式中:0.001——单位转换系数;R<sub>i</sub>——第i场降雨的径流系数;P<sub>i</sub>——第i场降雨的降雨量(mm);A——集水区面积(km<sup>2</sup>);EMC——一场降雨的地表径流全过程排放的某污染物的平均浓度(mg/L)。在利用上式计算年降雨径流污染负荷时,需要知道一年内每场降雨径流的径流量与EMC,这是很难做到的,于是在计算过程中常采用年平均降雨量和多场降雨径流污染的平均浓度(EMC<sub>s</sub>)值<sup>[5]</sup>。因此上式可以简化为:

$$L_y = 0.001 EMC_s \cdot R \cdot A \cdot P$$

式中:R——研究区域的年径流系数;P——研究区域的多年平均降雨量(mm);A——集水区面积(km<sup>2</sup>),所以监测降雨次数越多,EMC<sub>s</sub>的代表性越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 滇池流域城郊生活生产排放污水 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 特征

根据全年每月2次(降雨时多次)采样分析数据进行统计结果见表1。从表1可以看出滇池流域城郊排放污水 COD<sub>Cr</sub>浓度在 406.00~2 121.00 mg/L,

TSS 浓度在 80.00 ~ 810.50 mg/L 之间。排放污水一年中具有很大的变异,根据各月份数据得出,这种变异主要来源于雨季和旱季的变化。研究区域 COD<sub>cr</sub> 及 TSS 浓度均高于地表水 Ⅲ类标准, COD<sub>cr</sub> 浓度是国家污水综合排放二级标准 6.26 ~ 6.59 倍, TSS 浓度是国家污水综合排放二级标准 1.70 ~ 2.07 倍。对于城郊生活生产排放污水, TSS 浓度相对较低的原因可能是由于该研究区域居民用水量相对较小,许多固体颗粒物堆积在街道、路边或沉积在明渠、暗渠中没有被雨水冲刷带走所致。统计分析结果显示, COD<sub>cr</sub> 及 TSS 浓度在所研究的 2 个区域之间差异性不显著。

## 2.2 滇池流域城郊次降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 特征

根据集中监测 10 场降雨(居民生活区—集市混合集水区监测 7 场)分析数据,计算场次降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 浓度(EMC)值见表 1。由表 1 可以看出,居民生活区场次降雨径流 COD<sub>cr</sub> EMC 值在 74.07 ~ 205.00 mg/L 之间,平均为 123.65 mg/L; TSS EMC 值在 36.50 ~ 140.14 mg/L 之间,平均为 83.16 mg/L。居民生活—集市混合区降雨径流 COD<sub>cr</sub> EMC 值在 139.45 ~ 220.51 mg/L 之间,平均为 190.94 mg/L; TSS EMC 值在 125.28 ~ 324.70 mg/L

L 之间,平均为 232.44 mg/L。由表 1 可以看出,场次降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 浓度变异较大,但是这正反映了集中监测的降雨中,具有不同的降雨强度、地表污染物积累程度及场次降雨时间间隔等因素差异,所以用其来估算降雨径流污染负荷具有一定的代表性。由表 2 还可看出,次降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 浓度居民生活—集市混合区要高于居民生活区。说明居民生活—集市混合区地表污染物积累更严重。

## 2.3 城郊 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染负荷

根据生活生产排放污染物通量和降雨径流污染平均浓度(EMC<sub>s</sub>)值计算区域年污染负荷结果见表 2。可以看出,2 种类型区域年人均负荷量较为接近,但是年公顷负荷居民生活—集市混合区高于居民生活区,可能原因是由于居民生活—集市混合区集市的存在,增加了污染物的排放量。由表 2 还可看出,滇池流域城郊居民生活区、居民生活—集市混合区降雨地表径流 COD<sub>cr</sub> 年负荷所占总负荷的比例分别为 15.35% 和 10.96%; TSS 年负荷所占总负荷的比例分别为 25.73% 和 35.89%。与文献资料相比,虽然低于武汉市汉阳区径流所占比例 26.26% 和 59.37%<sup>[5]</sup>,但是滇池流域城郊降雨地表径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 污染仍然是引起入滇池水体污染的原因之一。

表 1 滇池流域城郊排放污水、次降雨径流 COD<sub>cr</sub> 和 TSS 特征

污染物	污染物特征值	城郊排放污水		城郊次降雨径流	
		居民生活区	居民生活—集市混合区	居民生活区	居民生活—集市混合区
COD <sub>cr</sub>	全年平均/(mg·L <sup>-1</sup> )	988.00 ±451.30 a	938.90 ±215.76 a	123.65 ±37.72	190.94 ±29.04
	浓度范围/(mg·L <sup>-1</sup> )	406.00 ~ 2 121.00	519.86 ~ 1 371.84	74.07 ~ 205.00	139.45 ~ 220.51
	标准变异/ %	45.68	22.98	30.50	15.21
	超标倍数	6.59	6.26	—	—
TSS	全年平均/(mg·L <sup>-1</sup> )	311.14 ±193.97 a	255.33 ±62.08 a	83.16 ±38.32	232.44 ±80.93
	浓度范围/(mg·L <sup>-1</sup> )	80.00 ~ 810.50	156.67 ~ 344.00	36.50 ~ 140.14	125.28 ~ 324.70
	标准变异/ %	62.34	24.31	46.08	34.82
	超标倍数	2.07	1.70	—	—

注:数据表示方法为:平均值 ±标准差; a 为统计检验结果; SPSS 多重比较,差异性在 0.05 水平,字母为同一指标不同区域比较,不同字母表示差异性显著,超标倍数为超国家污水综合排放二级标准倍数。

表 2 滇池流域城郊面源污染年污染负荷

区域污染物项目	COD <sub>cr</sub>		TSS	
	居民生活区	居民生活—集市混合区	居民生活区	居民生活—集市混合区
降雨地表径流负荷/(t·a <sup>-1</sup> )	5.35	6.30	3.35	7.81
生活生产排污/(t·a <sup>-1</sup> )	29.50	51.18	9.67	13.95
总负荷/(t·a <sup>-1</sup> )	34.85	57.48	13.02	21.76
径流占比例/ %	15.35	10.96	25.73	35.89
年人均负荷 [kg/(a·人)]	9.58	10.57	3.14	2.88
年公顷负荷/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	6.83	11.15	2.24	3.04
降雨地表径流年公顷负荷/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	1.17	1.46	0.73	1.81

将研究区域生活、生产排放污水 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 人均年污染负荷与武汉市城区十里铺、七里庙、五里墩等地人均年污染负荷<sup>[5,10]</sup>比较表明,滇池流域研究区域生活、生产排放污水 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 人均年污染负荷远低于李立青等研究的武汉城区人均排污水平<sup>[5]</sup>,仅为武汉城区人均年污染负荷的 0.14 倍和 0.16 倍。这主要是由于研究区域污水排放量低,再加之没有统一的污水收集系统,部分污水没有进入沟渠损失所致。但是,滇池流域城郊生活、生产排放污水 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 浓度远高于李立青等人研究区域的污水 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 浓度,所以从单位面积排污水平上看,2 个区域相当。

将研究区域降雨地表径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染公顷负荷与其它地方研究结果<sup>[11-14]</sup>进行比较可以看出,研究区域居民生活—集市混合区降雨径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染公顷负荷稍小于李立青等研究的武汉城市降雨径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染负荷<sup>[5]</sup>,与张善发等研究的上海城市地表径流污染负荷<sup>[14]</sup>接近,说明滇池流域城郊降雨径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染负荷与城市降雨径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染负荷相当。

### 3 结论

(1) 滇池流域城郊排放污水居民生活区人均负荷 COD<sub>Cr</sub>为 9.58 kg/a, TSS 为 3.14 kg/a;年公顷负荷 COD<sub>Cr</sub>为 6.83 t/(hm<sup>2</sup>·a), TSS 为 2.24 t/(hm<sup>2</sup>·a)。居民生活—集市混合区人均负荷 COD<sub>Cr</sub>为 10.57 kg/a, TSS 为 2.88 kg/a;年公顷负荷 COD<sub>Cr</sub>为 11.15 t/(hm<sup>2</sup>·a), TSS 为 3.04 t/(hm<sup>2</sup>·a)。

(2) 滇池流域城郊降雨地表径流污染负荷居民生活区 COD<sub>Cr</sub>为 1.166 t/(hm<sup>2</sup>·a), TSS 为 0.729 t/(hm<sup>2</sup>·a);居民生活—集市混合区 COD<sub>Cr</sub>为 1.458 t/(hm<sup>2</sup>·a), TSS 为 1.808 t/(hm<sup>2</sup>·a)。

(3) 滇池流域城郊降雨地表径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染负荷分别占总污染负荷的 10.96%~15.35%和

25.73%~35.89%。降雨地表径流 COD<sub>Cr</sub>和 TSS 污染也是引起滇池水体污染的原因之一。

#### [参考文献]

- [1] 夏青. 流域水污染物总量控制[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996:109-110.
- [2] 黄俊,张旭,彭炯,等. 暴雨径流污染负荷的时空分布与输移特性研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):255-258.
- [3] 黄金良,杜鹏飞,欧志丹,等. 澳门城市小流域地表径流污染特征分析[J]. 环境科学,2006,27(9):1753-1759.
- [4] 边博,朱伟,黄蜂,等. 镇江城市降雨径流营养盐污染特征研究[J]. 环境科学,2008,29(1):19-25.
- [5] 李立青,尹澄清,何庆慈,等. 武汉汉阳地区城市集水区尺度径流污染过程与初期冲刷特征[J]. 环境科学学报,2006,26(7):1057-1061.
- [6] 刘忠翰,贺彬,王宜明,等. 不同流域类型降雨径流对河流氮磷入湖总量的影响[J]. 地理研究,2004,23(5):593-604.
- [7] 杨逢乐,赵磊. 合流制排水系统降雨径流污染物特征及初始冲刷效应[J]. 生态环境,2007,16(6):1627-1632.
- [8] 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.
- [9] 张德刚,汤利,陈永川,等. 滇池流域典型城郊村镇排放污水 COD<sub>Cr</sub>、TSS 特征分析[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1446-1449.
- [10] 陈能汪,张珞平,洪华生,等. 九龙江流域农村生活污水污染定量研究[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2004(43):249-253.
- [11] 任玉芬,王效科,韩冰,等. 城市不同下垫面的降雨径流污染[J]. 生态学报,2005,25(12):3225-3230.
- [12] 卓慕宁,王继增,吴志峰,等. 珠海城区暴雨径流污染负荷估算及其评价[J]. 水土保持通报,2003,23(5):35-39.
- [13] 张善发,李田,高廷耀. 上海市地表径流污染负荷研究[J]. 中国给水排水,2006,22(11):57-61.
- [14] 高超,朱继业,朱建国,等. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J]. 环境科学学报,2005,25(11):1543-1549.