

星云湖南岸主要入湖河流氮入湖污染特征及南岸调蓄系统削减效果研究

孔 燕^{1,2}, 白晓华^{1,2}

(1. 云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034)

(2. 云南高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 云南 昆明 650034)

摘 要:为明确星云湖主要入湖河流向湖体的氮素营养盐输送特征,研究以星云湖南岸4条主要入湖河流单元雨季与旱季不同形态氮素的监测数据为基础,系统研究了星云湖南岸主要入湖河流单元不同形态氮的入湖浓度时空变化及不同形态氮对入湖TN的贡献,并探讨了已建南岸带状调蓄系统入湖污染削减效果。结果表明:①星云湖南岸主要入湖河流单元TN浓度为1.1~18.69 mg/L,DTN浓度为1.88~8.61 mg/L,且农田径流污染导致雨季TN浓度均高于旱季。②南岸大多数入湖河流单元样点中氮素以NO₃-N为主,占TN 39.49%;PN和NH₃-N含量相近,分别占TN的28.50%与24.75%;DON含量相对较少,占TN的9.97%。雨季NH₃-N、NO₃-N及PN对入湖TN的贡献显著增加。③星云湖南岸四条入湖河流在经过调蓄系统调蓄后,TN浓度均呈现下降趋势,TN平均削减率达到32.35%。不同形态氮素削减效果以NO₃-N最佳,平均削减率达到58.22%;NH₃-N及PN削减效果相对不显著。④星云湖南岸带状调蓄系统应考虑不同形态氮污染季节性差异,并进一步与湖滨湿地串联,提升调蓄系统对NH₃-N与PN的削减效果。

关键词:星云湖;河流;氮污染;调蓄系统;削减效果

中图分类号:P95;X143

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2019)01-0060-06

1 引言

湖泊不仅是自然环境的重要组成部分,其流域也是人类赖以生存的重要场所^[1]。近30年来,由于人类活动强度的不断增加,湖泊水污染严重、富营养化、面积萎缩以及生态功能退化等一系列的生态环境问题凸显,成为制约湖泊生态系统健康的主要因素^[2-3]。星云湖位于云南省玉溪市江川县境内,是抚仙湖上游的唯一湖泊^[4],为云南九大高原湖泊之一。星云湖水主要靠地表径流和湖面降水补给,主要有东西大河、螺螄铺河、渔村河等12条季节性入湖河流,多年平均入湖径流量为6 200×10⁴m³,占陆面径流量的76%^[5]。入湖河流不仅是星云湖补给水源的通道,也是氮、磷等污染物入湖的主要途径^[6]。近年来由于星云湖南岸流域社会经济的快速发展,通过河道进入湖泊水体的氮、磷等营养

盐随之增加,使原本就属于重度富营养化的入湖污染负荷进一步加剧,星云湖水环境恶化更为严重^[7]。因此,研究星云湖主要入湖河流氮素污染特征和机制,对污染河道治理、入湖氮素污染控制和星云湖环境修复有重要意义。

由星云湖南岸快速社会经济发展引发的高原湖泊流域环境问题愈发凸显,已引起社会各界的重视,许多学者对星云湖流域开展了相关研究。王建云对通过入湖河流、地表散流、降尘、降水途径进入星云湖的主要污染物负荷进行了计算^[4]。吴阳等基于综合遥感调查对滇中星云湖流域水资源状况进行了评估分析^[8]。许杰玉从规划角度提出了星云湖流域水环境综合治理思路与方案^[9]。可见,星云湖相关研究多集中在TN、TP入湖负荷总量评估与综合治理思路方面,而深入研究入湖河流氮、磷入湖时空污染特征,尤其针对不同

收稿日期:2017-09-24

基金项目:云南省应用基础研究计划项目(2015FD075)

作者简介:孔燕(1987-),女,云南玉溪人,工程师,主要研究方向为高原湖泊水环境修复、湖泊水环境污染机制研究等。E-mail:151478600@qq.com

通讯作者:白晓华(1968-),男,江苏南京人,正高级工程师,主要研究方向为湖泊水环境机理、湖泊水环境动力模拟研究等。E-mail:979373286@qq.com

形态氮、磷负荷及其对 TN、TP 贡献的报道较为鲜见^[10],而这些对反应氮素入湖过程 and 对其精确治理至关重要。对此,本研究通过揭示星云湖南岸主要河流不同形态氮素入湖浓度的时空变化,阐明了各形态氮入湖污染特征及其对入湖 TN 的贡献,分析了南岸带状调蓄系统对入湖氮素的削减效果,以期进一步明确星云湖主要入湖河流对湖体的氮素输移机制,为星云湖入湖河流污染综合治理提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

2.1.1 星云湖流域概况

星云湖位于云南省玉溪市江川区境内,为高原陷落型浅水湖泊,属珠江流域南盘江水系,南北长 9.09km,东西宽 4.73km,最大水深 10.81m,平均水深 6.01m。流域内山区半山区约占 65%,坝区占 21%,水域占 14%。流域地处低纬度、高海拔地带,具有气候温和、四季不分明、干湿季明显的亚热带半湿润高原季风气候的特点。多年平均降雨量 863.1mm,雨季主要集中在 5~10 月,降水量占全年降水量的 84.3%。星云湖共有东西大河、渔村河、小街河、大街河、螺蛳铺河等 12 条主要入湖河流,河道总长 132.3km^[5]。

星云湖流域涉及大街、江城、路居、雄关、前卫、安化 6 个乡镇,根据统计年鉴,2015 年末星云湖流域总人口为 19.87 万人,其中农村人口 17.23 万人,城镇人口 2.64 万人,流域内人口密度 532 人/km²。流域内产业结构比重第二产业最大,其次是第三产业,第一产业最小。土地利用主要为林地、耕地及城镇村及工矿用地,分别占流域总面积的 43.9%、33.5%以及 7.1%^[5]。

2.1.2 星云湖湖体氮素变化趋势

星云湖水功能区划为Ⅲ类, TN 多年来总体上呈上升趋势,浓度在 0.63~2.39 mg/L 之间。2000 年之前 TN 呈缓慢上升趋势,在Ⅲ类水质边缘波动;2000 年尤其是 2002 年以后, TN 急剧上升,超过Ⅲ类水质标准,2003 年超过Ⅲ类水质标准,2006、2007 年为劣Ⅲ类,2009 年 TN 有所下降,2009 至 2015 年 TN 呈现缓慢增加趋势,2013 年 TN 值达到最高点(见图 1)。

2.1.3 星云湖南岸主要入湖河流区域概况

星云湖南岸靠近江川县县城,南岸区域分布有四条星云湖主要入湖河流,自西向东依次为:大街河、大庄河、旧州河和大寨河,年径流量约占入湖河流总流量的 25%,2015 年除大寨河为Ⅲ类,大街河为Ⅳ类外,其

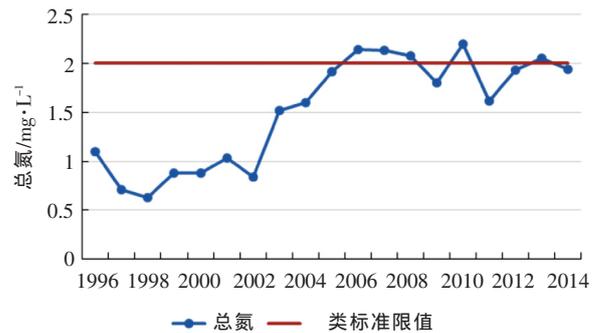


图 1 星云湖多年 TN 浓度变化趋势

Fig.1 The change trend of the annual TN concentration in the Xingyun Lake

余两条入湖河流水质为劣Ⅲ类,水质超标因子为 TN 和 TP。星云湖南岸是江川县的主要工农业区之一,以农村生活、农田径流与畜禽养殖为主的非点源污染是流域入湖污染的主体,流域内的农田大量使用化肥和农药,并采取大水漫灌的原始灌溉方式,加上雨季冲刷,所施化肥和农药大部分随雨水和灌溉废水进入星云湖。为减少入湖污染负荷,地方环保部门于 2013~2015 年实施了“星云湖南岸截污及湖滨带修复工程”,于防浪堤靠农田一侧建成了 5~20m 宽,深 2m,长 8km 的带状调蓄预处理分配系统,该系统位于农田与湖堤外侧湖滨湿地之间,主要是对农田径流废水进行截流、调蓄、沉淀后进入湖滨湿地,减少农田污染入湖负荷。

由此,本研究选取星云湖南岸四条主要入湖河流为研究区域,结合已建带状调蓄预处理分配系统,开展星云湖南岸主要入湖河流不同形态氮入湖浓度的时空变化,阐明各形态氮对 TN 的入湖贡献,并进一步研究调蓄预处理分配系统对入湖河流污染负荷削减效果,以期为相关管理部门开展主要入湖河流污染综合治理提供理论依据。

2.2 样点布设及样品采集

根据星云湖南岸主要入湖河流分布,并结合南岸带状调蓄预处理分配系统工程,样点布设分别以大寨河、旧州河、大庄河及大街河为单元,按照河道→调蓄带→河口湿地→湖体的顺序布设采样点,同时加设未连接河流的调蓄带样点作比较分析,结合现场实际地形及样品采集可行性,共布设 18 个样点(见图 2,下文以采样点 0~17 表示)。

样品共采集两次,分别为 2016 年 3 月与 2016 年 6 月,每个水样充分混合分别装入采样瓶内,加保存剂后当天带回实验室,测定 TN、NH₃-N 和 NO₃-N 等指

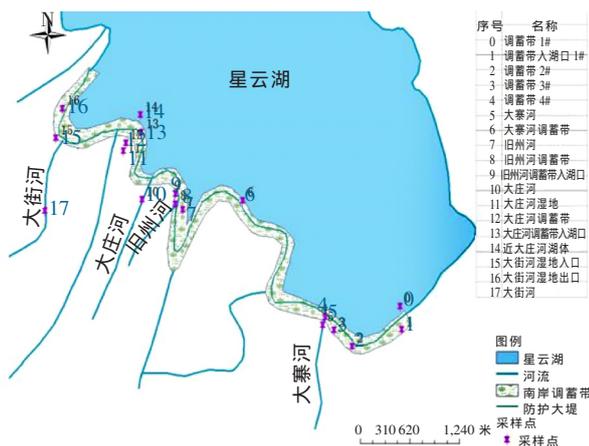


图2 星云湖南岸入湖河流单元采样点

Fig.2 The sampling sites of the south rivers into the Xingyun Lake

标,水样过 $0.45\mu\text{m}$ 混合纤维膜后测定DTN指标,样品保存及样品分析方法,按照《水和废水监测分析方法》(第四版)进行分析。

2.3 分析及计算方法

TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和DTN等指标按照《水和废水监测分析方法》(第四版)相关方法进行实验分析; $\text{NO}_2\text{-N}$ 较低,忽略不计; DON (溶解性有机氮)、 PN (颗粒态氮)、 DIN (溶解性无机氮)通过计算得到:

$$\rho(\text{DON}) = \rho(\text{DTN}) - \rho(\text{DIN})$$

$$\rho(\text{PN}) = \rho(\text{TN}) - \rho(\text{DTN})$$

$$\rho(\text{DIN}) = \rho(\text{NH}_3\text{-N}) + \rho(\text{NO}_3\text{-N})^{[11]}$$

数据统计分析及制图采用 Excel、Origin 8.5 和 ArcGIS10.2 软件进行。

3 结果与讨论

3.1 入湖河流单元氮素浓度时空变化

根据2016年3月及6月的监测结果分析,以星云湖南岸主要入湖河流大寨河、旧州河、大庄河及大街河为单元的各采样点氮素的浓度差别较为显著。由图3可见,3月监测结果显示TN浓度在 $2.19\sim 13.12\text{ mg/L}$ 之间,而6月监测TN浓度在 $1.1\sim 18.69\text{ mg/L}$ 之间,除调蓄带1样点6月为IV类标准外,其余均超过V类。3月监测值为大庄河和旧州河单元的采样点TN浓度最高,可能是由于旧州河旁边农田大蒜等作物大量种植,大肥大水问题较为严重,且距离河道及湖泊较近,污染物极易入河入湖^[9];6月监测值为大寨河单元最高,可能由于大寨河周边农田雨水冲刷土壤侵蚀较大导致^[12];3月与6月对比,总体上看大寨河单元、大街河单元、旧州河单元6月TN浓度均高于3月,可以看出

随着雨季的来临,雨水冲刷周边农田产生的径流大量进入星云湖河道,导致河道污染负荷不同程度升高。

而从不同的水流过程来看,河道-调蓄带-入湖口样点TN浓度整体上呈现下降的趋势,说明河道水体进入调蓄带进行了一定时间的停留沉淀,氮素浓度有所降低,经过调蓄带调蓄后,调蓄带入湖口的TN浓度得到进一步降低。有个别样点如旧州河调蓄带的TN浓度反而高于旧州河水体,可能是由于旧州河调蓄带位于村落道路旁,农村生产生活污染有可能对此段调蓄带水质造成了一定程度的影响。

由图3可见,各采样点 $\rho(\text{DTN})$ 月均值在 $1.88\sim 8.61\text{ mg/L}$ 之间,旧州河调蓄带较高,最低值出现在大庄河调蓄带入湖口。 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 月均值在 $0.30\sim 5.28\text{ mg/L}$ 之间,旧州河单元 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 较高,最高值出现在旧州河调蓄带样点,未连接河流的调蓄带样点 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 较低,最低值出现在调蓄带1#。 $\rho(\text{NO}_3\text{-N})$ 月均值在 $0.42\sim 8.26\text{ mg/L}$ 之间,大寨河最高,大庄河调蓄带入湖口最低。

大寨河、旧州河、大庄河、大街河是星云湖南岸的主要入湖河流,污染物主要来源于周边村庄生活污水和农田径流废水,这些河流中游流经大量农田,大量

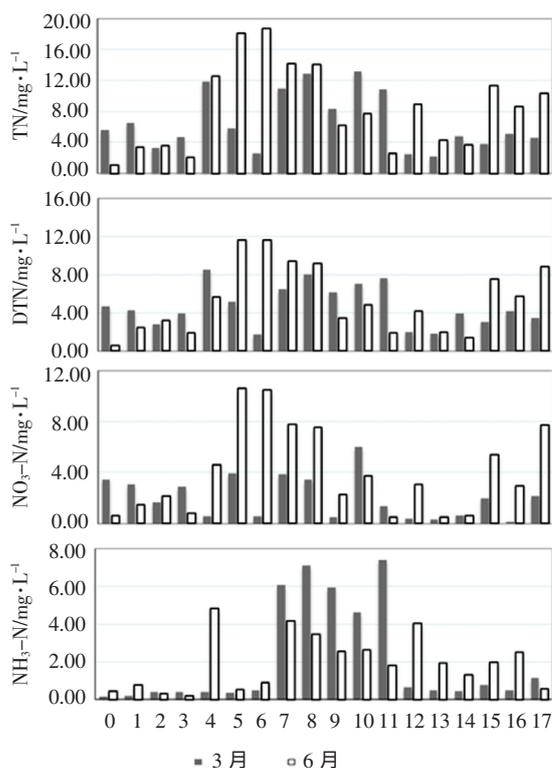


图3 星云湖南岸入湖河流单元不同形态氮素浓度

Fig.3 The contributions of the different nitrogen fractions of the south rivers into the Xingyun Lake

农村农田污染物随生活污水及雨水等途径汇入河流,导致该区域河流入湖污染较重,TN及各形态氮浓度均不同程度偏高。其中,根据监测值旧州河、大寨河单元氮污染相对严重,究其原因,该河道均穿过村庄,并且周边农田种植大蒜等蔬菜较多,农村生活污水、农田化肥流失、雨水径流污染均导致河流入湖污染较重。与此同时雨季与旱季的监测值对比说明,雨季雨水冲刷带来的周边农田污染物流失加剧了入湖河道的污染程度。

3.2 入湖河流单元不同形态氮素特征

根据两次实验数据的平均数值分析,由图4可见,星云湖南岸大多数入湖河流单元样点中氮素以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为主,占TN的12.86%~66.11%,平均值为39.49%。 PN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量相近,其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 占TN的3.86%~68.79%,平均值为28.50%; PN 占TN的11.69%~42.09%,平均值为24.75%。 DON 含量相对较少,占TN的1.14%~27.88%,平均值为9.97%。

不同入湖河流单元各形态氮含量对TN的贡献差异显著,未连接河流调蓄带、大寨河单元、旧州河河体及调蓄带、大庄河河体、大街河河体及大街河湿地入口中氮素以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为主,占TN的40%以上;旧州河单元和大庄河单元的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 占TN的30%以上;调蓄带4号点、大寨河单元与大街河湿地出入口 PN 占TN的28%以上。其中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 贡献最高值出现在大街河河体, $\text{NH}_3\text{-N}$ 贡献最高值出现在大庄河湿地, PN 贡献最高值出现在调蓄带4号点, DON 贡献最高值出现在大街河湿地出口。大街河是流经江川县县城的主要河流,河流沿途受到城市生活污染,部分未截入污水管网的城市生活污水汇入河道,可能是大街河河体 $\text{NO}_3\text{-N}$ 对TN贡献较高的主要原因,而大街河河水经过大街河湿地处理后, $\text{NH}_4\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 一定程度上有所削减, DON 对TN的贡献上升。大庄河湿地 $\text{NH}_3\text{-N}$ 对TN贡献较高,主要由于采样时湿地中有大量水生植物,部分水生植物腐烂区域出现水华现象,溶解氧较低所致。调蓄带4号点 PN 对TN的贡献较高,可能与调蓄带4号点未连接河流,周边农田暴雨径流直接进入调蓄带有关。

不同形态氮对入湖TN贡献的月变化差异较为明显。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及 PN 对入湖TN的贡献均为6月高于3月,其中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 PN 所占TN比例6月较3月相对明显升高,可见雨季 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及 PN 对入湖TN的贡献显著增加,说明雨季暴雨对研究区农田冲刷产生的径流导致入河入湖污染负荷呈上升趋势。而 DON 对入湖TN的贡献则为6月相对3月大幅度

降低, DON 对入湖TN的贡献在旱季较高,可能由于秋冬季土壤中颗粒状残骸和微生物细胞在冻结的条件下,能释放出较多生物活性高的 DON ,使得河流中 DON 的活性较高^[13]。可见,星云湖南岸入湖河流单元在雨季和旱季产生的TN入湖负荷均以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及 PN 为主,而雨季相较旱季也出现了明显升高的趋势,同时 DON 对入湖TN的贡献也不容忽视。

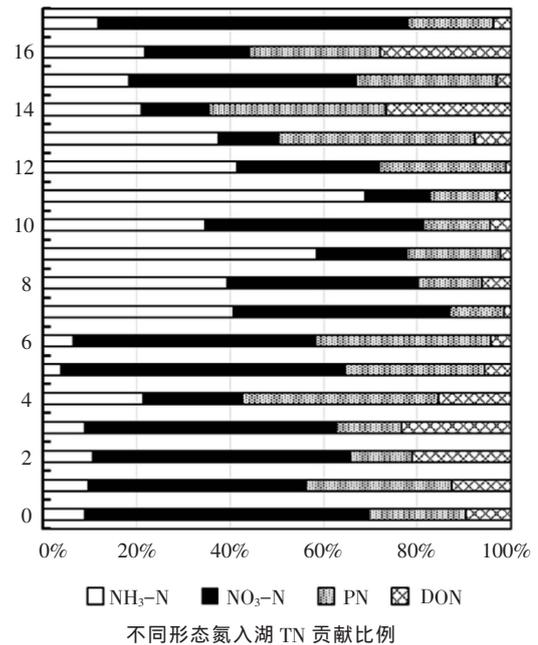


图4 星云湖南岸入湖河流单元不同形态氮入湖贡献

Fig.4 The contributions of the different nitrogen fractions of the south rivers into the Xinyun Lake

3.3 入湖河流单元经调蓄带后削减效果

根据两次实验数据的平均数值分析,不同入湖河流单元经过调蓄带后对不同形态氮素的削减效果具有较大差异(见表1)。未连接河流调蓄带单元中调蓄带入湖口的不同形态氮素均高于调蓄带中,各氮素削减率在-119.65~-29.27%之间,其中TN削减率为-46.55%, PN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的削减率也为负值,主要是由于湖体水位偏高,湖水从溢流口倒灌所致。大寨河单元及大街河单元虽然入湖口 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 PN 浓度高于河体,但由于 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在调蓄过程中得到大幅削减,入湖口TN浓度相对于河体仍然有所下降,大寨河单元和大街河单元中河水经调蓄带后TN削减率分别为10.77%与7.62%,水体氮素经过调蓄带具有一定的削减效果。旧州河单元河体中TN和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 经调蓄带后具有较好的削减效果,TN削减率达到42.16%,其中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 削减较为明显,削减率达到75.78%。大庄河单

表1 星云湖南岸不同入湖河流单元经带状调蓄系统后削减率(%)

Table1 The reduction rate of rainwater regulate system for the south rivers into the Xingyun Lake

	NH ₃ -N	NO ₃ -N	PN	TN
未连接河流调蓄带	-59.77	-29.27	-119.65	-46.45
大寨河单元	-51.75	21.04	-25.78	10.77
旧州河单元	16.92	75.78	0.86	42.16
大庄河单元	66.37	91.40	7.88	68.86
大街河单元	-69.54	44.66	-41.60	7.62

注:削减率正值表示经过调蓄带单元削减后氮素浓度有所下降,负值表示削减效果经过调蓄带单元削减后氮素浓度升高。

元河体中不同形态氮素经过调蓄带系统后均有较好的削减效果,TN 削减率达到 68.86%,其中 NO₃-N 削减较高,达到 91.40%,NH₃-N 削减率也达到了 66.37%,主要是由于大庄河调蓄带系统中配置有大庄河湿地,河水经过湿地和调蓄带净化后,入湖口氮素浓度大幅下降,可见配有湿地的调蓄带系统对入湖河流氮素削减效果更好。

据图 5 可见,四条入湖河流经过调蓄系统调蓄后,TN 浓度均呈现下降趋势,TN 平均削减率达到 32.35%。四条入湖河流单元不同形态氮素削减效果以 NO₃-N 最佳,NO₃-N 平均削减率达到 58.22%;NH₃-N 削减效果除旧州河单元与大庄河单元相对较好外,大寨河单元与大街河单元均不理想;PN 削减效果四条入湖河流单元均相对不理想。不同入湖河流单元经调蓄带调蓄后氮素削减效果有所差异,可能与调蓄带承接大量河水与农田径流废水,调蓄带内氮素浓度较高有关,经监测对比,未连接河流且无溢流口的调蓄带中各形态氮素浓度均低于连接河道的调蓄带,可见河水与农田径流废水进入调蓄带后也造成了局部调蓄带氮素浓度的升高,较高的来水浓度也一定程度上致使污染削减效果较不理想。同时,采样期间星云湖水位上涨,部分调蓄带溢流口水倒灌,也可能导致调蓄效果不佳。

4 结论

(1)2016 年 3 月及 6 月星云湖南岸主要入湖河流大寨河、旧州河、大庄河及大街河单元 TN 浓度在 1.1~18.69mg/L 期间,除调蓄带 1 样点 6 月为四类标准外,其余均超过五类水质标准。各入湖河流单元 DTN 浓度在 1.88~8.61mg/L 之间,NH₃-N 浓度在 0.30~5.28mg/L 之间,NO₃-N 浓度在 0.42~8.26mg/L 之间。大寨河单元、大街河单元、旧州河单元 TN 及各形态氮浓度均不同程度偏高,且雨季 TN 浓度均高于旱季,可见星云湖南岸入湖河流周边大量农田种植及农村生活污水污染对入湖河流的污染较重,且雨季农田径流污染进一步加重了入湖污染负荷。

(2)星云湖南岸大多数入湖河流单元样点中氮素以 NO₃-N 为主,平均占 TN 39.49%;PN 和 NH₃-N 含量相近,分别平均占 TN 的 28.50%与 24.75%;DON 含量相对较少,平均占 TN 的 9.97%。不同入湖河流单元各形态氮含量对 TN 的贡献差异显著,NO₃-N 对 TN 的贡献最高值出现在大街河河体,NH₃-N 贡献最高值出现在大庄河湿地,PN 贡献最高值出现在调蓄带 4 号点,DON 贡献最高值出现在大街河湿地出口。雨季 NH₃-N、NO₃-N 及 PN 对入湖 TN 的贡献显著增加,说明雨季暴雨径流导致氮污染负荷呈上升趋势,同时 DON 对入湖 TN 的贡献也不容忽视。

(3)星云湖南岸四条入湖河流在经过调蓄系统调蓄后,TN 浓度均呈现下降趋势,TN 削减率在 7.62%~68.86%之间,平均削减率达到 32.35%。不同形态氮素削减效果以 NO₃-N 最佳,NO₃-N 削减率在 21.04%~91.40%之间,平均削减率达到 58.22%;NH₃-N 削减效果除旧州河单元与大庄河单元相对较好外,大寨河单元与大街河单元均不理想;PN 削减效果四条入湖河流单元均相对不理想。大庄河单元河体中不同形态氮素经过调蓄带系统后入湖口氮素浓度大幅下降,可见配有湿地的调蓄带系统对入湖河流氮素削减效果更好。

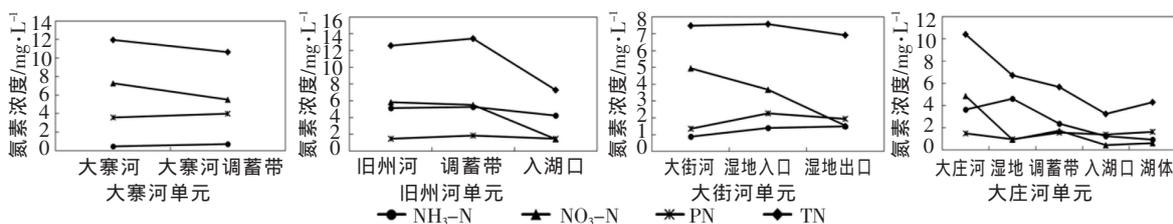


图5 星云湖南岸入湖河流单元不同形态氮素入湖变化过程

Fig.5 The variation of different nitrogen fractions in the process of rivers inflow

不同入湖河流单元经调蓄带调蓄后氮素削减效果有所差异,可能与调蓄带承接大量河水与农田径流废水,调蓄带内氮素浓度较高有关,同时星云湖水位上涨导致部分调蓄带溢流口湖水倒灌可能影响调蓄效果。

参考文献:

- [1] 金相灿. 中国湖泊环境 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995. (JIN Xiangcan. Chinese Lake Environment [M]. Beijing: Ocean Press, 1995. (in Chinese))
- [2] 刘鸿亮. 湖泊富营养化控制 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011. (LIU Hongliang. Lake Eutrophication Control [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011. (in Chinese))
- [3] 高伟,陈岩,徐敏,等. 抚仙湖水质变化(1980—2011年)趋势与驱动力分析[J]. 湖泊科学, 2013,25(5):635-642. (GAO Wei, CHEN Yan, XU Min, et al. Trend and driving factors of water quality change in Lake Fuxian (1980-2011) [J]. Journal of Lake Sciences, 2013,25(5):635-642. (in Chinese))
- [4] 王建云. 玉溪市星云湖入湖污染物分布研究初步研究 [J]. 重庆环境科学, 2001,4,23(2):56-61. (WANG Jianyun. A preliminary study on the pollutants distribution of Xingyun lake in Yuxi city [J]. Chongqing Environmental Science, 2001,4,23(2):56-61. (in Chinese))
- [5] 星云湖水环境保护治理“十三五”规划[R]. 2015. (“13th Five Year” plan of Xingyun lake in water environmental protection and pollution control [R].2015. (in Chinese))
- [6] 金相灿,辛玮光,卢少勇,等. 入湖污染河流对接纳湖湾水质的影响 [J]. 环境科学研究,2007,20(4) :52-56.(JIN Xiangcan, XIN Weiguang, LU Shaoyong, et al. Effect of polluted inflow river on water quality of Lake Bay [J]. Research of Environmental Sciences, 2007,20(4):52-56. (in Chinese))
- [7] 张世涛,冯明刚,李荫玺. 近现代星云湖的环境变化与生态对策[M]. 北京: 地质出版社,2007. (ZHANG Shitao, FENG Minggang, LI Yinxi. The Environmental Changes and Ecological Countermeasures of Modern Xingyun Lake [M]. Beijing: Geology Publishing House, 2007. (in Chinese))
- [8] 吴阳,甘淑,王策,等. 基于综合遥感调查的滇中星云湖流域水资源状况评估分析[J]. 浙江农业科学, 2016,57(8):1304-1307. (WU Yang, GAN Shu, WANG Ce, et al. Evaluation and analysis of water resources in the Xingyun lake basin based on comprehensive remote sensing survey [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2016,57(8):1304-1307. (in Chinese))
- [9] 许杰玉. 星云湖流域水环境污染特征分析与综合整治研究[A]. 中国环境科学学会学术年会论文集(2015) [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015:1983-1987. (XU Jieyu. Analysis and comprehensive remediation of water environment pollution in the Xingyun lake basin [A]. Proceedings of the Chinese Academy of Environmental Sciences (2015) [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015:1983-1987. (in Chinese))
- [10] 冯明刚. 玉溪市星云湖环境现状及可持续发展研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005. (FENG Minggang. Present Environmental Situation and Sustainable Development of Xingyun Lake in Yuxi City [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2005. (in Chinese))
- [11] 李乐,王海芳,王圣瑞,等. 滇池河流氮入湖负荷时空变化及形态组成贡献[J]. 环境科学研究, 2016,29(6):829-836. (LI Le, WANG Haifang, WANG Shengrui, et al. Spatial and temporal changes in nitrogen loading of rivers into Dianchi lake and contributions of different components [J]. Research of Environmental Sciences, 2016,29(6):829-836. (in Chinese))
- [12] 王厚防,唐鹏翥. 星云湖环境问题研究进展[J]. 安徽农学通报, 2010,16(11):183-185. (WANG Houfang, TANG Chongpeng. Research progress on environmental problems of Xingyun lake [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010,16(11):183-185. (in Chinese))
- [13] WIEGNER T N, SEITZINGER S P. Seasonal bioavailability of dissolved organic carbon and nitrogen from pristine and polluted freshwater wetlands [J]. Limnology and Oceanography, 2004,49(5):1703-1712.

Nitrogen Pollution Characteristics of South Rivers into Xingyun Lake and Reduction Effect of Rainwater Regulate System

KONG Yan^{1,2}, BAI Xiaohua^{1,2}

(1. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China;

2. Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau Lake Watershed, Kunming 650034, China)

Abstract: Based on the wet and dry season nitrogen concentration data of the 4 south inflow rivers of the Xingyun Lake, this paper studied the spatial and temporal changes in nitrogen concentration of different fractions, discussed the pollution reduction effect of south rainwater regulation system, with a goal of providing scientific support for further control over pollutant input. The results show: (1) The change in total nitrogen (TN) concentration of the south rivers into the Xingyun Lake ranges from 1.1 to 18.69 mg/L, and the TN concentration in rainy season is higher than that in dry season because of the farmland runoff pollution. (2) The N concentration of the south rivers into the Xingyun Lake is given priority to NO₃-N, averaging 39.49% of TN; the proportion of PN and NH₃-N are similar, averaging 28.50% and 24.75% respectively; the proportion of DON is relatively low, averaging 9.97% of TN. The input amount contributions of NH₃-N, NO₃-N and PN increase significantly in the rainy season. (3) After regulating south rainwater system, the TN concentration of the 4 south inflow rivers show a trend of decline, reducing 32.35% on average. NO₃-N reduction effect is most obvious, reducing 58.22% on average, in contrast to a relatively low reduction rate of NH₃-N and PN. (4) The rainwater regulate system should consider seasonal differences of the nitrogen pollution with various forms, and further combined with lakeside wetland to improve the reduction effects of NH₃-N and PN.

Key words: Xingyun Lake; river; nitrogen pollution; rainwater regulate system; reduction effect