

# 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析

郑丙辉<sup>1</sup>, 曹承进<sup>2</sup>, 秦延文<sup>1</sup>, 黄民生<sup>2</sup>

(1. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012; 2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

**摘要:**以 2004~2005 年的三峡水库 3 条主要入库河流(长江、嘉陵江、乌江)中的水文、水质的调查数据为依据,研究了三峡水库入库河流中主要的水文变化特征、氮营养盐的季节性分布规律及其形态组成。结果表明,3 条入库河流的流量、流速呈现季节性变化,三峡水库入库河流的主要水文特征值已处于水华暴发的危险范围内,很容易发生水华。3 条入库河流中总氮含量年均值都在 1.55~2.15 mg/L 之间,总体偏高,乌江武隆断面的总氮浓度最高,嘉陵江北碛断面次之,长江朱沱断面最低,并且 3 条河流丰水期水体中总氮含量均高于枯水期,说明非点源对氮污染影响较大;溶解态无机氮(DIN)是总氮的主要存在形式,而其中又以硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-$ -N)为主,平均占到 DIN 的 70% 以上。氮素污染多以还原态氨氮( $\text{NH}_4^+$ -N)的形式排入水体,经过硝化作用, $\text{NH}_4^+$ -N 氧化成亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^-$ -N),然后再氧化成稳定的  $\text{NO}_3^-$ -N,并且消耗掉水体中大量的氧。入库河流水体中的  $\text{NO}_3^-$ -N 主要来自农田径流、城市污水、城市径流以及淹没土壤的释放, $\text{NH}_4^+$ -N 的来源主要是城市污水、工业废水以及少量的生活垃圾和船舶废水。

**关键词:**三峡水库入库河流;氮营养盐;污染特征;污染来源分析

中图分类号:X52 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2008)01-0001-06

## Analysis of Nitrogen Distribution Characters and Their Sources of the Major Input Rivers of Three Gorges Reservoir

ZHENG Bing-hui<sup>1</sup>, CAO Cheng-jin<sup>2</sup>, QIN Yan-wen<sup>1</sup>, HUANG Min-sheng<sup>2</sup>

(1. River and Coastal Environment Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Resource and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** According to the survey conducted from Jan. 2004 to Dec. 2005, the seasonal characters of nitrogen in the water of input rivers of Three Gorges Reservoir (TGR) were discussed, and the forms and distributions of nitrogen among three major input rivers (Changjiang river, Jialingjiang river and Wujiang river) were studied. The results indicate that some primary hydrologic values of input rivers have seasonal characters, and they are in the danger range, which might bring algal bloom. The average contents per year of total nitrogen are 1.55~2.15 mg/L in the three monitor sections of input rivers of TGR, and Wulong monitor section is more severe than the others. The contents of total nitrogen in abundant water period are much higher than them in low water period, which displays the nonpoint source pollution has far-reaching influence upon total nitrogen. The total dissolved inorganic nitrogen (DIN) is the major form of total nitrogen and further nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ -N) is dominant accounting for 70% or more of DIN. Ammoniacal nitrogen is the uppermost input form of nitrogen pollution of input rivers of TGR. Ammoniacal nitrogen was oxidated to nitroso-nitrogen, and then it was oxidated to nitrate nitrogen using up a lot of dissolved oxygen of water. Nitrate nitrogen sources include agricultural runoff, city pollution water, city runoff and slow-releasing from submersed soil, whereas nitrogen-ammonia ( $\text{NH}_4^+$ -N) origins are city pollution water, industrial pollution water, and a little source of living garbage and bilgewater.

**Key words:** input rivers of Three Gorges Reservoir; nitrogen nutrient; pollution features; pollution source analysis

随着三峡工程的蓄水发电,综合效益的发挥,三峡库区的水环境保护问题逐渐成为国内外关注的焦点和热点,国内有关部门、科研单位、大专院校等都相继对三峡工程影响所涉及的众多生态与环境因子进行了深入调查和研究工作<sup>[1-4]</sup>。水库蓄水运行以后,对长江三峡段的水文情势已产生了显著的影响,长江、嘉陵江的水动力学条件也发生了明显的变化,长江重庆主城区段流速已减至原来的 1/4~1/5,水深加大至原来的 2 倍左右,而水面宽则约为原来的 2~3 倍<sup>[5,6]</sup>。这些变化无论是对污染物的迁移过程,还是对污染物的降解过程都可能对污染物的降解过程都有显著的影响<sup>[7]</sup>。

同时,河流流速变缓,滞留时间增长,使得河流输送氮、磷营养物质的功能受阻,蓄水初期库区水体中的总氮、总磷等营养盐浓度偏高,二期蓄水后水体呈现富营养化趋势<sup>[1]</sup>。

三峡水库水质的好坏,一方面与长江干流入库水质有关,另一方面也与嘉陵江、乌江两大支流的入库水质以及库区众多的污染源的排污有关。笔者拟

收稿日期:2007-03-21; 修订日期:2007-07-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412409)

作者简介:郑丙辉(1963~),男,博士,研究员,主要研究方向为流域水环境管理, E-mail: zhengbh@caes.org.cn

在三峡水库主要入库河流水质现状调查的基础上,对三峡水库主要入库河流(长江、嘉陵江、乌江,“三江”)中氮、磷营养盐的形态组成、分布规律以及生源要素污染的来源进行研究,以期为进一步分析三峡库区水环境的演变过程与趋势以及环境治理提供依据和技术支持.本研究将主要讨论三峡入库河流主要水文特征、氮营养盐分布特征及存在形态等问题.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

长江、嘉陵江、乌江是三峡水库的3条主要的入库河流,入库断面是指三峡水库175 m水位尾水末端在长江、嘉陵江、乌江的位置.根据三峡水库回水情况和水文水质监测断面的布设,分别设置3个采样监测断面,长江入库断面:朱沱水文站(距朝天门河道54 km);嘉陵江入库断面:北碚水文站(距朝天门河道62 km);乌江入库断面:武隆水文站(距乌江河道71 km)(图1).每个采样断面分左、中、右3点,所有采样点分为表、中、底3层<sup>[8,9]</sup>.调查时间为

2004-01-05~2005-12-06,每月采样监测1次,连续监测24个月.其中,丰水期是指5~10月,其余月份作为枯水期.

### 1.2 分析方法

水样采集后立即用0.45 μm微孔滤膜过滤,并加H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(1 mol/L)酸化保存.分析测定过滤水样中的硝态氮、亚硝态氮、氨态氮以及活性磷酸盐,同时分析测定未过滤水样中总氮(TN)、总磷(TP)含量.其中,硝态氮采用酚二磺酸光度法;亚硝态氮采用N-(1-萘基)-乙二胺光度法;氨态氮采用纳氏试剂光度法;TN采用碱性过硫酸钾氧化-UV法;TP采用过硫酸钾氧化-磷钼兰光度法,具体分析方法参照文献[8~10].水动力学参数采用多普勒河流流量测量系统(ADCP)测定,项目包括断面流量、流速、宽度、水深等.

## 2 结果与讨论

### 2.1 入库河流的主要水文特征

三峡水库3条主要入库河流在各监测断面的主要水文水质参数见表1.由表1知,2004~2005年中3条河流断面的主要参数年均值没有明显的变化,流速范围为0.90~1.60 m/s.另外,除了2005年朱沱站的平均水温(17.8℃)较低外,其余3个断面的平均水温在18.2~19.3℃,在浮游植物的适宜生长温度范围(18~25℃)内,并且2~4月份,气温、水温升温较快.每年丰水期长江朱沱断面的流速较高(0.9~2.7 m/s);而嘉陵江北碚断面、乌江武隆断面流速较小,特别是在春季2个断面的最小流速仅为0.2 m/s(北碚)、0.62 m/s(武隆).从监测结果看,三峡水库蓄水后的主要水文特征值已处于水华暴发的危险范围内,很容易发生水华.

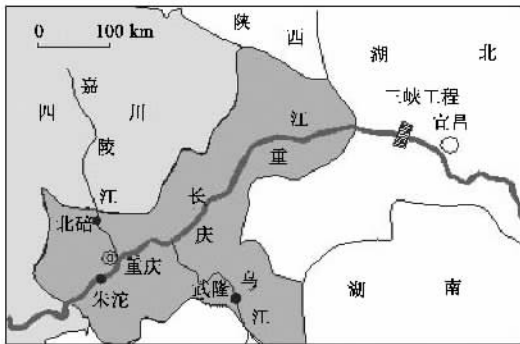


图1 三峡水库3条入库河流监测断面示意

Fig.1 Schematic map of monitoring stations in input rivers of TGR

表1 三峡水库入库河流的主要水文特征值(年均值)

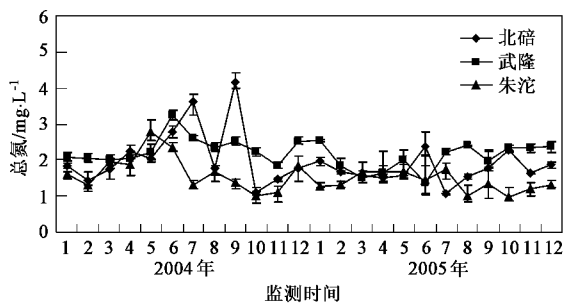
Table 1 Characteristic values of input rivers of TGR

监测断面	年份	水位/m	流量/m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	流速/m·s <sup>-1</sup>	气温/℃	水温/℃	pH
朱沱	2004	200.3	8812	1.60	18.2	18.2	8.1
	2005	200.5	8954	1.60	19.5	17.8	8.1
北碚	2004	180.1	3453	0.90	18.4	19.3	8.2
	2005	180.2	2951	0.97	18.0	18.6	8.2
武隆	2004	172.0	1202	1.30	18.7	18.1	8.1
	2005	171.1	910	1.10	19.4	18.2	8.0

### 2.2 入库河流总氮的分布

图2是三峡水库入库河流的总氮逐月分布情况,表2是3个监测断面溶解态无机氮(DIN)和总氮(TN)的数据总结.由图2、表2可知,长江朱沱断面总氮含量范围在0.96~2.77 mg/L之间,平均值为

1.55 mg/L,最大值出现于2004-05;嘉陵江北碚断面总氮含量范围为1.07~4.16 mg/L,平均值为1.96 mg/L,最大值出现于2004-09;乌江武隆断面总氮含量范围为1.40~3.30 mg/L,平均值为2.15 mg/L,最大值出现在2004-06.



“ I ”线表示每个断面9个数据的误差线,以最大值和平均值的差作上线,最小值和平均值的差作下线(每个采样断面分左、中、右3点,所有采样点分为表、中、底3层,共9个数据),下同

图2 2004~2005年三峡水库入库河流总氮含量逐月变化

Fig.2 Distribution of TN in water per month of input rivers of TGR (2004~2005)

表2 2004~2005年三峡水库入库河流氮营养盐含量变化<sup>1)</sup>/mg·L<sup>-1</sup>

Table 2 Distribution of nitrogen nutrients in water of input rivers of TGR (2004~2005)/mg·L<sup>-1</sup>

监测断面	溶解态无机氮(DIN)			总氮(TN)				
	浓度范围	枯水期	丰水期	平均值	浓度范围	枯水期	丰水期	平均值
朱沱	0.78~2.05	1.41	1.20	1.35	0.96~2.77	1.51	1.53	1.55
北碚	1.14~2.12	1.49	1.59	1.54	1.07~4.16	1.73	2.18	1.96
武隆	1.53~2.44	2.17	2.11	2.13	1.40~3.30	2.07	2.28	2.15

1)表中数据经  $t$  检验( $\alpha=0.05, n=24$ )知,北碚、武隆、朱沱3个断面数据间差异显著,而各个断面的枯水期和丰水期间数据差异不显著,其原因是氮营养盐多以溶解态存在于水体中,氮营养盐的总含量与浓度和流量均有关;3条河流间丰水期和枯水期的流量差异很大,其氮营养盐的总量(浓度、流量)经  $t$  检验差异显著,为了便于进行分析本处仍通过氮营养盐的浓度进行表述,下同

面枯水期和丰水期的总氮含量差别不大.丰水期、枯水期总氮含量的差异从某一侧面反映了氮营养盐的污染源,丰水期总氮含量高,表明这些河流中的氮营养盐主要来源于流域农业面源污染.因此,可以推断乌江和嘉陵江的氮营养盐主要来源于流域内的非点源污染,长江的氮营养盐则受点源和非点源污染的程度相当.这些可能和河流流域有关,乌江发源于贵州,流经彭水、武隆,在涪陵城东注入长江;嘉陵江发源于陕西省,流经陕西、甘肃、四川、重庆,在朝天门处汇入长江,这2条江的流域多为农业耕作区,工业发展相对较差,受农业非点源污染较严重.而长江则流经四川和重庆的17个区(市)县,流域内多为工业较集中的区域,点源污染严重.

### 2.3 主要入库河流中无机氮的分布

$\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N含量之和即为溶解态无机氮(DIN)的含量. DIN含量及 $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N含量所占比例不仅能够反映河水中氮营养盐的转化情况,而且与浮游植物生长繁殖关系密切.所测三峡水库3条入库河流的DIN和TN的分布见表2.分析数据可以看出,3条入库河流中DIN的含量

对于3条入库河流而言,乌江武隆断面的总氮含量最高,嘉陵江北碚断面次之,而长江朱沱断面最低.三江水质中氮营养盐浓度总体偏高,均远远超过发生藻类疯长时TN的质量浓度( $0.2 \text{ mg/L}$ )<sup>[5,11]</sup>,存在明显的污染隐患.此外,2004-04三峡水库二期蓄水之后,库区水体总氮平均含量为 $1.56 \text{ mg/L}$ <sup>[3]</sup>,而同期3条入库河流的总氮含量分别为:嘉陵江北碚断面 $2.25 \text{ mg/L}$ ,乌江武隆断面 $2.06 \text{ mg/L}$ ,长江朱沱断面为 $1.88 \text{ mg/L}$ .3条入库河流总氮含量均明显高于库区水体.

3条入库河流,丰水期的总氮含量均高于枯水期(表2),其中乌江武隆断面丰水期与枯水期总氮含量差别最大,嘉陵江北碚断面次之,而长江朱沱断

在TN中所占的比例均在71%~93%之间,说明溶解态无机氮是三峡入库河流中氮营养盐的主要组成,高比例的溶解态氮量可以保证浮游生物对氮的充分利用.图3为2004~2005年三峡水库入库河流溶解性无机氮(DIN)各组分含量的逐月变化.乌江武隆断面和嘉陵江北碚断面无机氮年内变化规律不明显,而长江朱沱断面的可溶态无机氮的逐月变化特征明显,枯水期明显高于丰水期,说明长江干流受上游城市、工业生活排放含氮污水的影响显著;另一方面丰水期面污染源中无机氮排放浓度较低,以及径流对点源无机氮浓度也具有一定稀释作用.进一步分析可知,3条河流中3种溶解态无机氮( $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N)中又以 $\text{NO}_3^-$ -N为主,平均占到DIN的70%以上,其中以乌江武隆断面 $\text{NO}_3^-$ -N所占比例最高(>95%),长江朱沱断面次之(87%左右),嘉陵江北碚断面最低(78%左右). $\text{NH}_4^+$ -N在DIN中所占平均比例为8.8%,其中以长江朱沱断面的 $\text{NH}_4^+$ -N在DIN中所占比例最高,达到11.9%,嘉陵江北碚断面次之,为9.4%,乌江武隆断面最低,为5.2%.由于 $\text{NH}_4^+$ -N是氮的还原态,而 $\text{NO}_3^-$ -N是氮的

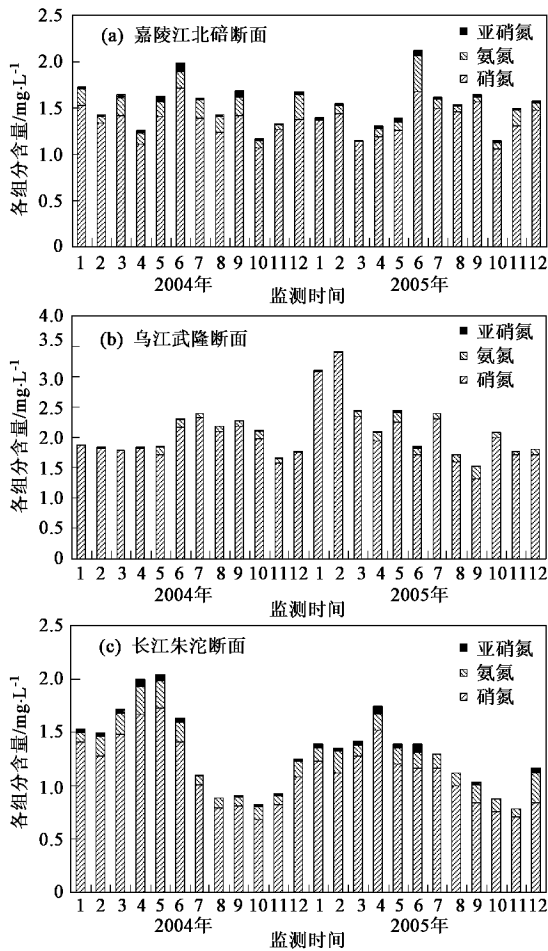


图3 2004~2005年三峡水库入库河流溶解性无机氮含量逐月变化

Fig.3 Distribution of TDN in water per month of input rivers of TGR (2004~2005)

表3 2004~2005年三峡水库入库河流3种可溶态无机氮含量分布<sup>1)</sup>/mg·L<sup>-1</sup>

Table 3 Distribution of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N in water per month of input rivers of TGR (2004~2005)/mg·L<sup>-1</sup>

项目	嘉陵江北碛断面			乌江武隆断面			长江朱沱断面		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N
浓度	1.05~1.71	-~0.39	0.01~0.08	1.32~3.40	-~0.19	-~0.03	0.68~1.73	0.07~0.28	-~0.08
枯水期	1.33	0.14	0.03	2.07	0.09	0.02	1.21	0.17	0.04
丰水期	1.39	0.16	0.04	1.98	0.12	0.03	1.05	0.14	0.04
平均值	1.36	0.15	0.03	2.02	0.11	0.02	1.13	0.16	0.04

1)“-”表示未检出

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度低于丰水期,受非点源污染较大;而朱沱断面则相反,丰水期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度低于枯水期,其受点源影响较大.NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N是氮的还原态,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N升高表明水体近期受到污染.水体中的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的主要来自未加处理或处理不完全的工业废水和生活污水、有机垃圾和家畜家禽粪便以及农施化肥,其中最大的来源是农田上施用的大量化肥<sup>[18~20]</sup>.农业面源污染往往随农田径流流入河流,因此受到降雨等条件的影

响,往往表现为丰水期高于枯水期.生活污水与工业废水排放河流的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N却往往表现出枯水期高于丰水期的特征.

稳定形态,氮污染多以还原态氮的形式排入水体,经过硝化作用,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N氧化成NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N,然后再氧化成稳定的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,这个过程要消耗掉水体中大量的氧(4.57 mg/mg)<sup>[12~16]</sup>.NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度升高表明水体近期受到污染,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N浓度升高表明水体污染物正在发生分解,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度升高表明水体曾受到污染但已完成自净<sup>[17]</sup>.

### 2.3.1 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N

总体上看,2004~2005年3条入库河流NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N年平均含量在0.10~0.16 mg/L范围内.其中,长江朱沱断面NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的含量在0.07~0.28 mg/L之间(表3),平均为0.16 mg/L,枯水期高于丰水期,2004-04、2004-05以及2005-12出现高值;嘉陵江北碛断面的浓度范围在0~0.39 mg/L之间,平均为0.15 mg/L,丰水期高于枯水期,最高值出现在2005-06,而2005-01、2005-03均未检出;乌江武隆断面的含量为0~0.19 mg/L,平均值为0.11 mg/L,丰水期高于枯水期,2004-01~2004-04、2004-12以及2005-01、2005-02未检出,最高值出现在2005-09.参照相关标准<sup>[10]</sup>,2004、2005年长江朱沱断面NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N平均含量均超出了地表水I类标准(0.15 mg/L),而嘉陵江北碛断面2004年NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N年平均含量也超出了地表水I类标准.

综合3条入库河流的数据可以看出,长江朱沱断面NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N平均含量最高,嘉陵江北碛断面次之,武隆断面最低.其中,北碛断面和武隆断面枯水期的

影响,往往表现为丰水期高于枯水期.生活污水与工业废水排放河流的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N却往往表现出枯水期高于丰水期的特征.

据调查,长江沿岸NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的主要排放区域为重庆、涪陵、万州,3个城市的排放量分别占总排放量的45.20%、28.05%和1.86%<sup>[21]</sup>,其中长江和嘉陵江多流经此区域,而乌江流域多为农村、山区,从而导致NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N分布的差异.

### 2.3.2 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

三峡水库入库河流中 2004 ~ 2005 年硝酸盐氮的浓度随时间的变化总体上趋于平稳(图 2)。其中, 朱沱断面 2 a 硝酸盐氮的浓度范围为 0.68 ~ 1.73 mg/L(表 3), 枯水期的浓度高于丰水期, 2a 的平均值为 1.13 mg/L, 比 20 世纪 70 年代长江中硝酸盐氮的浓度(1.17 mg/L, 表 4)略有下降; 北碚断面硝酸盐氮的浓度范围为 1.05 ~ 1.71 mg/L, 丰水期的含量高于枯水期, 2a 的平均值为 1.36 mg/L, 较 20 世纪 70 年代的值(1.15 mg/L)高; 而乌江武隆断面近 2a 的浓度范围为 1.32 ~ 3.40 mg/L, 枯水期高于丰水期, 2a 的平均值为 2.02 mg/L, 较上世纪 70 年代的数据(1.18 mg/L)明显升高, 并且 2005-01、2005-02 的浓度(3.08 mg/L、3.40 mg/L)明显高于其它月份。

表 4 三峡水库 3 条主要入库河流 20 世纪 70 年代的主要水质参数<sup>1)</sup>/mg·L<sup>-1</sup>

Table 4 Distribution of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N in water of input rivers of TGR in 1970s/mg·L<sup>-1</sup>

氮营养盐	嘉陵江武胜断面	长江寸滩断面	乌江武隆断面
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.06	0.03	0.04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	1.15	1.17	1.18

1) 数据来源于长江上游水文统计年鉴(1970 ~ 1979)

综合 3 条入库河流的数据, 可以看出, 乌江武隆断面的平均浓度最高, 嘉陵江北碚断面次之, 长江朱沱断面最低。武隆断面和朱沱断面的枯水期的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的浓度均高于丰水期, 而北碚断面则相反, 说明武隆断面和朱沱断面的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的含量受点源污染影响较大, 而北碚断面的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的含量与非点源污染关系密切。原因可能与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的来源有关, 农田过度使用化肥、河道污水、污灌、垃圾填埋场等都是硝酸盐氮污染的主要来源<sup>[18-20]</sup>。乌江流域农业农田、污灌污染比较严重<sup>[22]</sup>, 从而导致硝酸盐含量较其它 2 个断面高。另外, 30 多年来 3 条河流中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的含量也发生了一定的变化, 其中长江中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的变化不大, 乌江和嘉陵江中的浓度显著升高, 尤以乌江最甚, 流域内人口高速增长, 农田过度使用化肥可能是其主要原因。

### 2.3.3 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N

水体中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 超过 1 mg/L 时, 即会使水生生物的血氧结合氧的能力降低; 超过 3 mg/L 时, 可在 24 ~ 96 h 内使金鱼、鳊鱼死亡; 含量超过 10 mg/L 时不适宜于饮用。亚硝酸盐氮与胺作用生成的亚硝胺有致癌、致畸作用<sup>[15]</sup>。长江朱沱断面水体中的 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N

浓度最高(平均值 0.04 mg/L), 嘉陵江北碚断面次之(0.03 mg/L), 乌江武隆断面最低(0.02 mg/L)(表 3)。武隆断面和朱沱断面水体中的 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 含量在 2 a 的 7、8 和 10、11 月份均未检出, 而朱沱断面和北碚断面在 2 a 的 4 ~ 6 月份均出现高浓度, 其中 2004-06 北碚断面和 2005-06 朱沱断面最高(均达到 0.08 mg/L), 应该引起高度关注。与上世纪 70 年代三江中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的数据相比较(表 4), 可知 3 条河流中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的浓度均有所下降。

### 2.4 三峡水库入库河流中氮污染的来源

造成三峡水库入库河流氮污染的污染源可以分为点源和非点源 2 大类型。点源是指通过排放口或管道排放污染物的污染源, 它的量可以直接测定或者量化。点源主要包括工业废水、城镇生活污水、固体废物处置场等。非点源是指点源以外的污染源, 主要包括由降雨产流过程, 把地表和大气中溶解的和固态的污染物带入湖泊水域而使湖泊遭受污染的所有污染源<sup>[23, 24]</sup>。包括城镇地表径流、农业地表径流、林区地表径流、矿区地表径流、大气降雨降尘、水产养殖业和流动船舶。其中, 点源污染对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 均有贡献, 而非点源污染则对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的影响较大。

具体而言, 3 个监测断面丰水期的总氮含量均高于枯水期, 而乌江武隆断面丰水期的含量最高, 嘉陵江北碚断面次之, 而长江朱沱断面枯水期和丰水期的总氮含量差别不大, 说明乌江和嘉陵江的总氮含量与流域内的非点源污染关系较大, 长江的总氮则受到点源和非点源污染的程度相当。而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 则是北碚断面和武隆断面丰水期的含量高于枯水期, 受非点源污染也较大; 朱沱断面则相反, 丰水期 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度低于枯水期, 其受点源影响较大。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 出现高值可能是由于沿岸径流输入以及悬浮物颗粒的释放造成的, 是城市生活污水、工业废水和农村人畜排泄物的特征。

三峡水库入库河流氮污染源中 TN 的来源主要包括农田径流、城市污水和城市径流。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的来源主要是城市污水、工业废水、淹没土壤, 另外还有少量来自生活垃圾和船舶废水<sup>[18, 22]</sup>。随着 2003 年三峡水库的蓄水, 大量的农田被淹没, 由于淹没土壤带来的氮污染负荷随之上升, 另一方面, 由于对流域内的污染进行了相应的治理措施, 工业废水被集中处理, 它以其它的形式(如城市污水等)排放, 因此工业废水对氮污染的贡献大大降低, 而城市污水的贡献随

之升高。2004年三峡库区直排三江的工业废水为24 663.00万t,氨氮为1 451.50 t;直排三江的城市污水49 851.63万t,氨氮为8 281.76 t,另外,库区施用的氮肥7.57万t,有机氮农药155.72 t也都是氨氮的污染源<sup>[18]</sup>。其中,重庆主城区、涪陵区、长寿区和石柱县(西沱镇)为三峡水库入库河流氮污染的主要排污区域。

### 3 结论

(1) 三峡水库3条主要入库河流在各监测断面的主要水文、气温、水温、pH值(年均值)没有明显的变化。3个断面的平均水温在18.2~19.3℃,2~4月份,气温、水温升速较快。此外,每年丰水期长江朱沱断面的流速较高(0.9~2.7 m/s);而嘉陵江北碛断面、乌江武隆断面流速较小。

(2) 2004~2005三峡水库入库河流中总氮含量平均值在1.55~2.15 mg/L之间,总体偏高,乌江武隆断面的总氮浓度最高(2.15 mg/L),嘉陵江北碛断面次之(1.96 mg/L),而长江朱沱断面最低(1.55 mg/L),并且随季节变化较小。

(3) 溶解态无机氮(DIN)是三峡入库河流中氮营养盐的主要组成,占总氮的71%~93%;其中以NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N为主,平均占到DIN的70%以上,武隆站的比例最高。

(4) 入库河流中乌江武隆断面的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度最高,嘉陵江北碛断面次之,长江朱沱断面最低;而NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N分布差别比较小,长江朱沱断面略高,嘉陵江北碛断面次之,武隆断面最低;朱沱断面和北碛断面的NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N浓度高于武隆断面。

#### 参考文献:

[1] 张远,郑丙辉,刘鸿亮,等.三峡水库蓄水后氮、磷营养盐的特征分析[J].水资源保护,2005,21(6):23-26.  
 [2] 张远,郑丙辉,刘鸿亮.三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):254-258.  
 [3] 郑丙辉,张远,富国,等.三峡水库营养状态评价标准研究[J].环境科学学报,2006,26(6):1022-1030.  
 [4] 罗专溪,张远,郑丙辉,等.三峡水库蓄水初期水生态环境特

征分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(6):781-785.

[5] 李锦绣,廖文根.三峡库区富营养化主要诱发因子分析[J].科技导报,2003,(2):49-52.  
 [6] 钟成华.三峡水库对重庆库段生态环境影响及整治对策研究[R].重庆:重庆市环境科学研究院,2002.  
 [7] 曹明,蔡庆华,刘瑞秋,等.三峡水库库首初期蓄水前后理化因子的比较研究[J].水生生物学报,2006,30(1):12-19.  
 [8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002.239-284.  
 [9] HJ/T 91-2002,地表水和污水监测技术规范[S].  
 [10] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].  
 [11] Thomann R V, Mueller J A. Principle of surface water quality modeling and control[M].New York: Haper & ROV,1987.  
 [12] 张恩仁,张经.三峡水库对长江N、P营养盐的截留效应的模型分析[J].湖泊科学,2003,15(1):41-48.  
 [13] Tchobanoglous G, Burton F L, Stensel D H. Wastewater Engineering- I : Treatment and Reuse[M].(4th ed).New York: McGraw-Hill Inc,2003.62-63.  
 [14] Jones J G. Denitrification in freshwater[A]. In: Golterman H L ed. Denitrification in the Nitrogen Cycle[C]. New York: Plenum Press, 1985.225-239.  
 [15] 徐亚同,史家梁,张明.污染控制微生物工程[M].北京:化学工业出版社,2001.93-96.  
 [16] 曲雨梅,姚德,丛丕福.辽东湾氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价[J].环境科学,2006,27(2):263-267.  
 [17] 翟敏,岳喜同,宋爱芹.济宁市农村生活饮用水卫生状况调查[J].环境与职业医学,2006,23(1):64-65.  
 [18] 国家环境保护总局.长江三峡工程生态与环境监测公报[R].北京:国家环境保护总局,2005.  
 [19] 梁秀娟,肖长来,杨天行,等.密云水库中氮分布及迁移影响因素研究[J].中国科学 D 辑,2005,35(增刊 I ):272-280.  
 [20] 邢光熹,曹亚澄,施书莲,等.太湖地区氮的污染源和反硝化[J].中国科学 B 辑,2001,31(2):131-137.  
 [21] 孙阳,王里奥,袁辉.三峡水库氮磷污染贡献率估算[J].重庆大学学报,2004,27(10):138-141.  
 [22] 三峡水库水污染控制课题技术领导小组.三峡水库水污染控制研究总报告[R].三峡水库水污染控制课题技术领导小组,2003.  
 [23] 金相灿.中国湖泊水库环境调查研究[M].北京:中国环境科学出版社,1990.  
 [24] 金相灿,屠清英.湖泊富营养化调查规范[M].(第二版).北京:中国环境科学出版社,1990.114-132,292-293.