

嘉陵江重庆段营养盐空间变化特征及营养状态评价*

张勇¹, 杨敏^{1,2}, 张晟^{1,2}, 刘朔孺¹, 张方辉¹

(1. 重庆市环境科学研究院; 2. 重庆市有机污染物环境化学行为与生态毒理重点实验室, 重庆 401147)

摘要:为研究嘉陵江水环境的演变过程以及为嘉陵江环境治理提供依据和技术支持,对嘉陵江重庆段7个断面总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chla)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、透明度(SD)、硝态氮(NO₃⁻-N)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、总溶解态磷酸盐(TDP)进行2年的连续监测,对营养盐的空间变化特征进行分析,结合相关性分析,利用单因子法和综合营养状态指数法评价水体营养盐结构和营养状态。研究结果显示,研究区水体TN,TP,Chla,COD_{Mn}含量和SD差异较大,TN和TP的值远高于发生富营养化的阈值。相关性分析表明Chla与SD,TN,COD_{Mn}相关性不显著,与TP呈极显著负相关;SD与TN,TP,COD_{Mn}呈极显著负相关,TN,TP呈极显著正相关。利用单因子评价方法表明嘉陵江重庆段水体水质以II类为主,但由于草街水库的修建导致水体流速温度等变化,故虽然嘉陵江重庆段水体总体营养状态评价低于轻度富营养化阈值,但已发生水华爆发,应引起高度重视。

关键词:嘉陵江;营养盐;空间变化;营养状态;评价

中图分类号:X824

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)05-0068-07

河流富营养化程度低于湖库等静止水体,因其流速较大,不利于浮游藻类的生长。但随城市化发展进程的加快,进入河流的污染物排放量增加,使得我国部分河流域出现了“水华”等富营养化现象^[1-3]。三峡水库蓄水运行后,水库支流来水氮、磷分布及组成对库区水体富营养化产生重大影响。河口多年平均流量 $2\ 120\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的嘉陵江是三峡水库最大的支流,其径流量占长江径流量的7.31%。嘉陵江除接纳大量工业、生活废水入河外,农业面源污染物随暴雨径流进入河流对水体水质影响也尤为重要,将直接影响三峡水库的水环境安全。为了有效控制库区水体富营养化,需深入了解嘉陵江对长江的营养盐输入和长江水质变化,研究嘉陵江营养盐浓度和结构特征。但针对嘉陵江流域水环境的研究,多集中于嘉陵江下游三峡水库入库江段的水体理化指标研究^[4-7],且研究时间序列相对较短。相对缺乏嘉陵江重庆段较长地理跨度及较长时间序列的对水体理化方面的综合系统研究,尤其是草街水库建成后,还未见嘉陵江水生态环境相关的研究报道。本文对嘉陵江重庆段水体中营养盐空间分布特征、形态组成进行研究,并对其水质和水体营养状态进行评价,以期把握嘉陵江水环境的演变过程以及环境治理提供依据和技术支持。

1 研究区概况

嘉陵江位于东经 $103^{\circ}45' \sim 109^{\circ}00'$,北纬 $29^{\circ}20' \sim 34^{\circ}25'$ 之间。嘉陵江流域大部分属亚热带湿润季风气候,上游山区冬冷霜雪较多,多风暴,常一雨成灾,中下游盆地冬暖多雾,少霜雪。嘉陵江水量丰沛,径流由降雨补给,流域年降雨量超过1 000 mm,多集中在7~9月,但年内分配不均,5~10月为汛期,水量占全年的83.4%,11~12月水量减少,至2~3月水量最枯。嘉陵江是三峡库区最大的支流之一,三峡水库175 m蓄水后嘉陵江也受回水顶托的影响。涪江为嘉陵江右岸一级支流,渠江是嘉陵江左岸的最大支流,嘉陵江上游植被条件好,森林覆盖率高,一般土壤的侵蚀都比较弱;中游地区坡耕地面积较大,森林植被少,加之降雨不均,雨量集中且强度大,致使水土流失十分严重;下游地区主要为方山丘陵区和平行岭谷区,植被较中游地区好,土壤以中度侵蚀为主。

* 收稿日期:2014-09-10 修回日期:2015-05-21 网络出版时间:2015-07-12 12:21

基金项目:国家水体污染控制与治理专项(No. 2012ZX07104-003)

作者简介:张勇,高级工程师,研究方向为环境保护,E-mail:zhang_qr@126.com;通信作者:张晟,教授级高级工程师,E-mail:shengzsts@126.com

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150712.1221.001.html>

2 材料与方法

2.1 样品采集

于2011年8月至2013年7月,在嘉陵江支流及干流设置7个固定采样断面(图1),每月采样一次。其中渠江上的码头断面(J1)、嘉陵江上的金子断面(J2)和涪江上的玉溪断面(J3)为上游断面;三江断面(J4)、坝上断面(J5)位于草街水库湖泊区;草街大坝下游设置坝下断面(J6)、梁沱断面(J7)。每个断面各设置左、中、右3条垂线,在水面下0.5 m处采集水样。用孔径为 $0.45\ \mu\text{m}$ (GF/F)滤膜对每个水样的部分溶液进行过滤,分析总溶解态磷(TDP)和溶解性无机氮(DIN)。同时采集另一表层水样品,用作室内水化学及叶绿素分析。

2.2 样品分析方法

未经过滤的水样,经消解后用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定总氮(TN)、用5%过硫酸钾消解-钼酸铵分光光度法测定总磷(TP)、用酸性法测定高锰酸盐指数(COD_{Mn})。水样经 $0.45\ \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后,测定总溶解态磷(TDP)、硝态氮(NO_3^--N)、亚硝态氮(NO_2^--N)和氨氮(NH_4^+-N)。TDP用钼酸铵分光光度法, NO_3^--N 和 NO_2^--N 用离子液相色谱法, NH_4^+-N 用纳氏试剂比色法测定。叶绿素a(Chla)采用丙酮-分光光度计法测定,透明度(SD)采用Secchi盘法直接测定^[8]。

2.3 评价方法

水质评价采用单因子评价法评价水质类别,将断面水质指标实测值与地表水环境质量标准(GB 3838-2002)进行比较,以该样点指标反映的最低水质类别作为该断面的水质类别。采用 COD_{Mn} 、 NH_4^+-N 和TP这3个指标进行水质评价。用卡尔森综合营养状态指数(TLI)评价水体营养状态,评价指标包括Chla、 COD_{Mn} 、TN、TP和SD。 $TLI(\Sigma) < 30$ 为贫营养; $30 \leq TLI(\Sigma) \leq 50$ 为中营养; $TLI(\Sigma) > 50$ 为富营养。在同一营养状态下,指数越高,其营养程度越重^[9]。

2.4 数据处理

对于某指标进行空间分布的分析,计算各次采样该断面指标浓度的算术平均值。相关性分析及差异性统计分析用SPSS 17.0软件完成,作图采用ArcGis 9.0和origin 8.0软件。

3 结果与讨论

3.1 营养状态因子

如图2所示,嘉陵江重庆段营养状态指标空间分布差异较大。嘉陵江重庆段TN两年间变化规律相同(图2a),除J3断面明显高于其它断面,嘉陵江上的其它断面的TN浓度自上游至下游逐渐升高。2011—2012年各断面TN变化范围为 $1.79 \sim 2.82\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,J3断面平均TN最高,J1断面最低;2012—2013年各断面TN变化范围为 $1.76 \sim 2.57\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,J3断面平均TN最高,J2断面最低。嘉陵江重庆段两年内不同断面的TP变化也基本保持一致(图2b)。2011—2012年各断面TP变化范围为 $0.052 \sim 0.074\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,J3断面平均TP最高,J2断面最低;2012—2013年各断面TP变化范围为 $0.069 \sim 0.108\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,J1断面平均TP最高,J2断面最低。湖库发生富营养化的TN浓度为 $0.2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,TP浓度为 $0.02\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[9],据此标准,所有调查断面TN、TP均达到了发生富营养化的浓度条件。

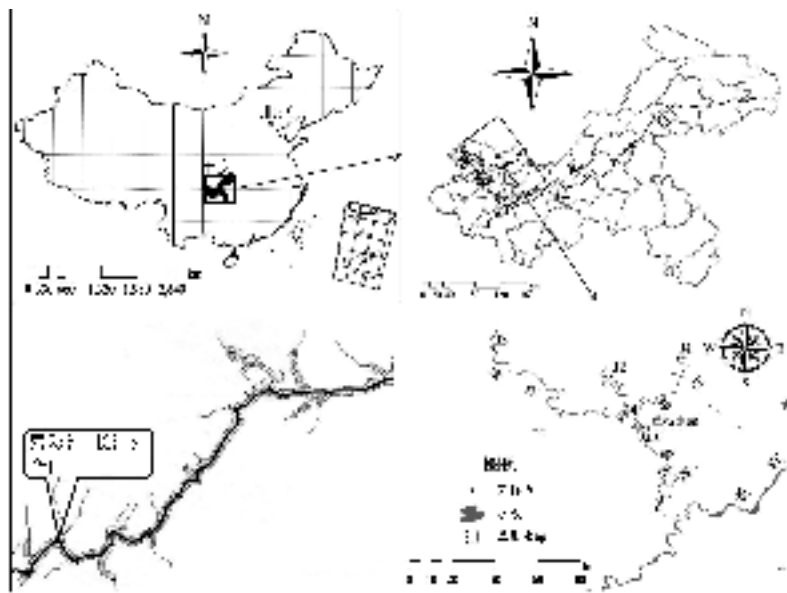


图1 监测断面示意图

Fig.1 Schematic diagram of monitoring sections

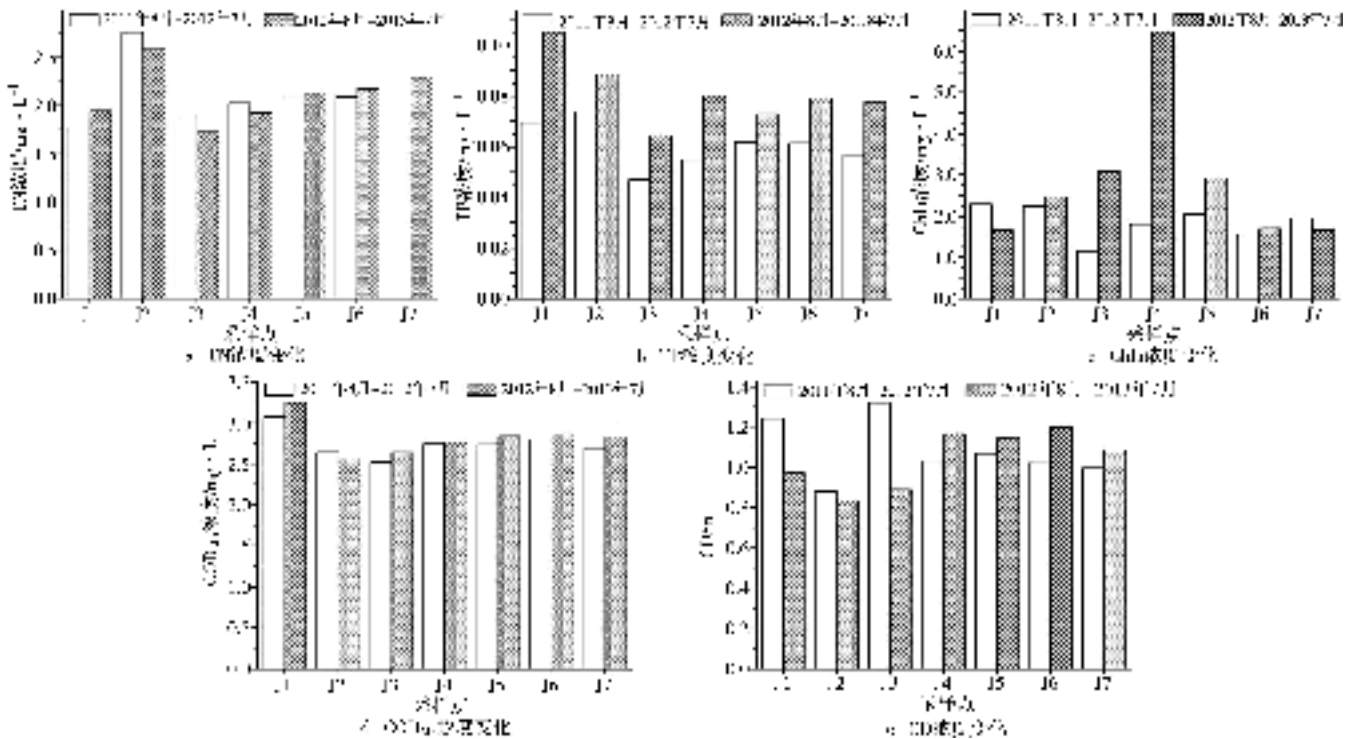


图 2 营养状态指标空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of eutrophication index

Chla 含量是水体中浮游植物生物量的综合指标,代表富营养化结果。2011—2012 年各断面 Chla 变化范围为 $1.15 \sim 2.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, J1 断面 Chla 平均值最高, J2 断面最低; 2012—2013 年各断面 Chla 变化范围为 $1.37 \sim 6.46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, J4 断面平均 Chla 最高, J7 断面最低(图 2c)。其中 J4 断面由于处于大坝上游库区内,是水华暴发最严重的地区,导致其 Chla 含量明显高于其它断面。通过对比发现嘉陵江重庆段两年内 Chla 浓度变化差异较大,可能原因是由于草街水库的修建导致嘉陵江水体在 2013 年发生较为严重的水华爆发。

当 COD_{Mn} 浓度超过 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,表示水体已被有机污染。嘉陵江重庆段两年内不同断面的 COD_{Mn} 变化趋势基本一致(图 2d)。2011—2012 年各断面 COD_{Mn} 变化范围为 $2.60 \sim 3.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, J1 断面平均 COD_{Mn} 最高, J2 断面最低; 2012—2013 年各断面 COD_{Mn} 变化范围为 $2.61 \sim 3.33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, J1 断面平均 COD_{Mn} 最高, J1 断面最低。监测数据表明嘉陵江重庆段未受到有机污染。TN, TP, COD_{Mn} 含量表明嘉陵江重庆段 N 污染严重,而 P 和有机污染则相对较轻。

草街大坝上游 3 条支流断面 SD 在两年间有所波动,而库区的 J4 和 J5 断面以及大坝下游的 J6、J7 断面则相对稳定。2011—2012 年各断面 SD 变化范围为 $0.88 \sim 1.32 \text{ m}$, 均值为 1.08 m , J2 断面平均 SD 最高, J3 断面最低; 2012—2013 年各断面 SD 变化范围为 $0.83 \sim 1.20 \text{ m}$, 均值为 1.04 m , J6 断面平均 SD 最高, J3 断面最低(图 2e)。研究区地处嘉陵江中下游,紫色母岩广布,风化产物松散,易随水流失。且森林覆盖率低,强降雨冲刷裸露的地表,导致水土流失严重,这使得河流水体中悬浮物质含量高,影响水体的透明度。

3.2 营养盐结构变化及相关性分析

N/P 比值是表征水环境营养盐结构的重要指标。Justic 等^[10-12] 提出限制浮游植物生长的营养盐只有 1 种,即营养盐浓度绝对限制和相对限制法则。营养盐浓度的绝对限制法则为:可溶性 $x_{\text{SiO}_2} = 2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $x_{\text{DIN}} = 1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $x_{\text{P}} = 0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。营养盐浓度的相对限制法则为: $x_{\text{Si}}:x_{\text{P}} > 22$ 和 $x_{\text{N}}:x_{\text{P}} > 22$ 时, P 为限制因子;当 $x_{\text{N}}:x_{\text{P}} < 10$ 和 $x_{\text{Si}}:x_{\text{N}} > 1$ 时, N 为限制因子; $x_{\text{Si}}:x_{\text{P}} < 10$ 和 $x_{\text{Si}}:x_{\text{P}} < 1$, Si 为限制因子。每种营养盐浓度都大于浮游植物生长阈值,就不存在营养盐限制因子。某种营养盐浓度低于浮游植物生长阈值,该营养盐即唯一限制因子。2 种或 2 种以上营养盐浓度低于浮游植物生长阈值,需通过相对限制法则判断营养盐限制因子^[5]。由此可知, TN 和 TP 浓度值远高于阈值,两者均可满足浮游植物生长。对研究区的 7 个监测断面 TN/TP 进行计算, 2011—2012 年其比值范围为 $25.49 \sim 40.68$, 2012—2013 年其比值范围为 $18.59 \sim 29.47$, 均大于 18, 表明

出现藻类大量生长时水中 N 和 P 被大量消耗,P 优先被消耗并可能低于阈值,P 成为浮游植物的限制因子。

湖、库缓流状态下,Chla 与 N,P 间存在不同程度线性关系^[13-15]。河流涉及因子多,其为复杂环境生态体系,河流流速差异大,河流中 Chla 与 N,P 间是否存在线性关系未得知。嘉陵江重庆段空间分布范围广,污染源复杂,在流域泥沙流失和筑坝的干扰下,Chla 与富营养化指标的关系更复杂。本文对 Chla 和主要的因子 SD,TN,TP 和 COD_{Mn}进行了相关分析,结果表明 Chla 与 SD,TN,COD_{Mn}相关性不显著;与 TP 呈极显著负相关($r = -0.130, p < 0.01$) (表 1)。

SD 与 TN ($r = -0.275, p < 0.01$),TP ($r = -0.560, p < 0.01$),COD_{Mn} ($r = -0.449, p < 0.01$)呈极显著负相关(表 1),说明透明度受污染物浓度影响较大,嘉陵江 SD 主要受颗粒态物质影响较大,地表径流产生的颗粒物 N,P 含量较高。

3.3 氮磷形态分布

3.3.1 无机氮形态分布 溶解态无机氮(DIN)的含量为 NO₂⁻-N,NO₃⁻-N,NH₄⁺-N 含量之和,DIN 含量及 NO₂⁻-N,NO₃⁻-N,NH₄⁺-N 含量占比反映河水中氮营养盐的转化情况,且与浮游植物生长繁殖关系密切。总体而言,研究区水体 DIN 在 TN 中所占的比例均在 77.79%~89.91%之间,均值为 84.69% (图 3)。说明溶解态无机氮是嘉陵江重庆段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。

嘉陵江重庆段两年内不同断面的 NO₃⁻-N 变化基本保持与总氮相同的变化规律。2011—2012 年各断面 NO₃⁻-N 变化范围为 1.24~2.28 mg·L⁻¹,J3 断面平均 NO₃⁻-N 最高,J1 断面最低;2012—2013 年各断面 NO₃⁻-N 变化范围为 1.26~1.97 mg·L⁻¹,J3 断面平均 NO₃⁻-N 最高,J2 断面最低(图 3)。2011—2012 年各断面 NH₄⁺-N 变化范围为 0.11~0.21 mg·L⁻¹,J3 断面平均 NH₄⁺-N 最高,J2 断面最低;2012—2013 年各断面 NH₄⁺-N 变化范围为 0.12~0.15 mg·L⁻¹,J3 断面平均 NH₄⁺-N 最高,J2 断面最低(图 3)。进一步分析可知,监测断面中 DIN 又以 NO₃⁻-N 为主,平均占到 DIN 的 90.18%,其中以 J1 断面最低(88%左右)。NH₄⁺-N 在 DIN 中所占平均比例为 7.59%,其中以 J1 断面的 NH₄⁺-N 在 DIN 中所占比例最高,达到 8.81%,J7 断面最低,为 6.76%。形态相对稳定的氮为 NO₃⁻-N,而排入水体的氮主要以还原态 NH₄⁺-N 为主,在硝化作用下 NH₄⁺-N 氧化成 NO₂⁻-N,然后再氧化成稳定的 NO₃⁻-N,这个过程要消耗掉水体中的氧(4.57 mg·mg⁻¹)^[16-18]。J1 断面由于人为活动影响较大,受城市生活、工业排放含氮污水的影响显著,因此虽然 DIN 的含量较低,但 NH₄⁺-N 在 DIN 中所占比例最高,NO₃⁻-N 所占比例最低,水质状况更为严峻。而 J3 断面上游主要为嘉陵江上游地区有 9 个国家级自然保护区,森林植被覆盖率高,土壤的侵蚀都比较弱,然而,受来源于农田化肥的影响,其 NO₃⁻-N 及 NH₄⁺-N 含量均为最高。但是由于 J3 断面属于河流区,河水流速较快,溶解氧充足,污染物分解速度快,因此 NO₃⁻-N 所占比例最高,NH₄⁺-N 所占比例最低。

2011—2012 年各断面 NO₂⁻-N 变化范围为 0.040~0.047 mg·L⁻¹,均值为 0.042 mg·L⁻¹,J3 断面最高,J5 断面最低;2012—2013 年各断面 NO₂⁻-N 变化范围为 0.031~0.055 mg·L⁻¹,均值为 0.037 mg·L⁻¹,J3 断面平均 NO₂⁻-N 最高,J2 断面最低。相较于其他研究^[4],嘉陵江各断面 NO₂⁻-N 浓度均较低且有降低的趋势。

3.3.2 磷形态组成 总溶解态磷酸盐(TDP)含量为经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后水样测定的总磷含量,而总颗粒态磷酸盐(TPP)浓度为未经过滤水样测定 TP 浓度与 TDP 相减。藻类生长与 TDP 密切相关,需对 TDP 进一步分析,图 4 是 2011—2013 年嘉陵江重庆段 TDP/TP 变化趋势。可以看出,TDP/TP 表现出明显的空间分布特

表 1 富营养化指标相关性

Tab.1 Correlation of eutrophication index		Chla	SD	TN	TP	COD _{Mn}
Chla	1					
SD	0.059	1				
TN	0.004	-0.275**	1			
TP	-0.130**	-0.560**	0.359**	1		
COD _{Mn}	0.022	-0.449**	0.326**	0.442**	1	

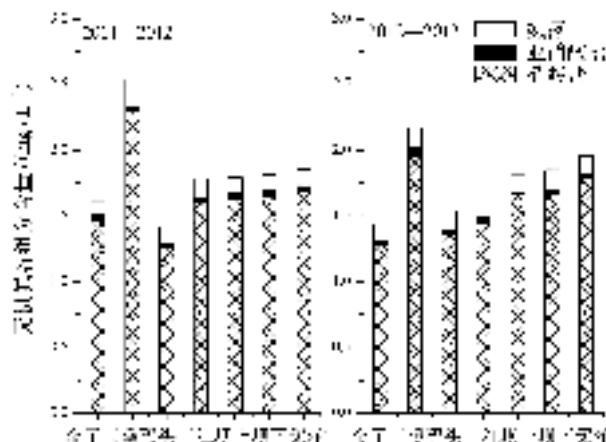


图 3 2011—2013 年溶解性无机氮含量空间变化特征
Fig.3 Spatial distribution of DIN from 2011 to 2013

征,2011—2012 年各断面 TDP/TP 变化范围为 47.45 %~64.50 %,均值为 58.78 %,J5 断面最高,J2 断面最低;2012—2013 年各断面 TDP/TP 变化范围为 41.55 %~46.23 %,均值为 43.77 %,J4 断面最高,J5 断面最低。

已有研究表明 TDP 占 TP 的比例较小可能是由于发育的水生态系统使得更多的溶解态磷转化为悬浮态磷造成的^[16,19]。在本研究中,嘉陵江重庆段自草街水库蓄水后两年 TDP 比例有降低趋势,但比较后发现 2012—2013 年度与 2011—2012 年度的 TDP 浓度并无显著差异,造成此现象的原因是 2012—2013 年度 TP 浓度显著高于 2011—2012 年度,尤其是河流区的 J1~J3 断面。沉积物中磷释放受温度影响,温度升高沉积物中的微生物活性增强,生物扰动作用和沉积物有机物的矿化速率被提高,有机磷和不溶性磷分别向无机磷转化和可溶性磷转化,从而促进沉积物中磷释放^[20]。此外,在生物活动增加条件下,间隙水耗氧速率加快,水体溶解氧下降,水体环境由氧化向还原状态转化,有利于 Fe^{3+} 还原,加快了沉积物中铁结合态磷的释放^[21]。王庭建等^[21]对南京玄武湖沉积物中磷释放进行模拟研究,结果表明 35℃ 下磷的释放量比 25℃ 下提高了 1 倍。Liikanen^[22]的研究也表明,无论溶解氧水平如何,沉积物中磷的释放量都随温度的升高而增大,温度升高 1~3℃,沉积物中总磷的释放量增加 9 %~57 %。对比两年数据可以发现,2012—2013 年度研究区水温(均值为 19.60℃)高于 2011—2012 年度(均值为 19.22℃),且水温与 TP 呈极显著正相关关系($r=0.753, p<0.01$),因此,研究区两年监测数据 TDP 占 TP 的比例降低可能与环境条件变化(水温升高)有关。

3.4 水质及营养状态评价

3.4.1 水质评价 单因子水质评价结果如表 2 所示。

2011—2012 年间各断面评价结果无明显差异,均为 II 类水质;2012—2013 年间各断面总体依然以 II 类水质为主,但是,在 J1 断面水质为 III 类水质,显示出一定的水质差别。表明同比上一年,2013 年嘉陵江重庆段下游断面有水质恶化趋势。因此需要加强对人为活动比较强烈区域的水质监测,防止因为人类生产生活对嘉陵江水体质量的影响,进而威胁居民的饮用水安全。

3.4.2 水体营养状态评价 综合营养状态指数法评价的结果如图 5 所示。可以看出,研究期间各断面 TLI 值范围均为 40 左右,为中营养状态,无明显的地域分异现象。2011—2012 年,各断面 TLI 值范围为 41.4~46.2, J2 断面最高, J3 断面最低,均值为 44.4。2012—2013 年,各断面 TLI 值范围为 44.3~46.5, J6 断面最低, J4 断面最高均值为 45.6。与上一周年相比,虽然同处于中营养状态,但各断面营养水平均有不同程度的升高,以 J2, J4 和 J5 断面最为显著。可见,河流筑坝渠化后,水体流态发生改变,水体营养程度加重,导致发生水体富营养化。结合两年数据,综合评价嘉陵江重庆段水体综合营养状态为中营养(TLI 为 41.4~46.5,均值为 45.0),但已接近轻度富营养化阈值(TLI 为 50),应引起高度重视。

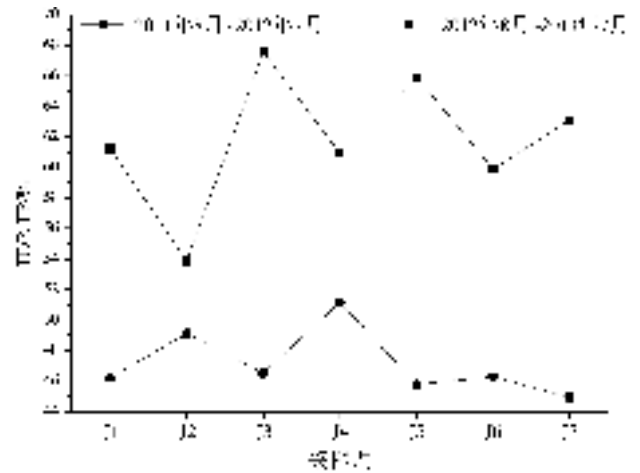


图 4 2011—2013 年 TDP/TP 变化趋势

Fig. 4 Changing trend of TDP/TP from 2011 to 2013

表 2 单因子水质评价分类

Tab. 2 Results of water quality assessment

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
2011—2012	II	II	II	II	II	II	II
2012—2013	III	II	II	II	II	II	II

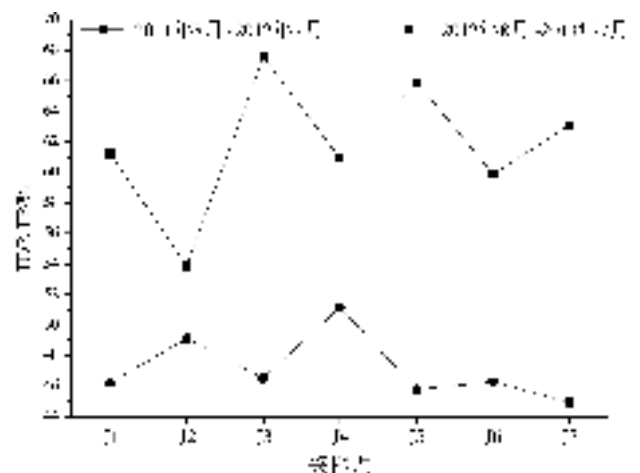


图 5 营养状态评价

Fig. 5 Trophic states assessment

4 结论

1) 嘉陵江重庆段氮污染较重,磷和有机污染相对较轻,但总氮、总磷浓度值已达到产生富营养化的营养盐浓度条件,其中P是发生富营养化的限制因子。Chla与SD, TN, COD_{Mn}相关性不显著,Chla与TP呈极显著负相关;SD与TN, TP, COD_{Mn}呈极显著负相关;TN, TP呈极显著正相关性。

2) 溶解态无机氮是嘉陵江重庆段氮营养盐的主要组成,溶解态无机氮又以NO₃⁻-N为主要存在形态。研究区TDN比例有降低趋势,表明草街水库运行后水生生态系统得到逐渐发育,但主要原因是由于环境条件变化(水温升高)导致水体TP浓度升高所致。

3) 单因子评价方法表明嘉陵江重庆段在研究期间水质以II类为主,综合营养状态指数法评价法表明在研究期间水体水质为中等营养状态,但已接近轻度富营养化阈值。

参考文献:

- [1] 马经安,李红清. 浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 575-577.
Ma J A, Li H Q. Preliminary discussion on eutrophication status of lakes, reservoirs and rivers in China and overseas [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(6): 575-577.
- [2] 张晟,李崇明,郑丙辉,等. 三峡库区次级河流营养状态及营养盐输出影响[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 500-505.
Zhang S, Li C M, Zheng B H, et al. Trophic states and nutrient output of tributaries in Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science, 2007, 28(3): 500-505.
- [3] 张晟,李崇明,王毓丹,等. 乌江水污染调查[J]. 中国环境监测, 2003, 19(1): 23-26.
Zhang S, Li C M, Wang L D, et al. Water pollution investigation of Wujing. Environmental Monitoring in China, 2003, 19(1): 23-26.
- [4] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J]. 环境科学, 2008, 29(2): 310-315.
Zheng B H, Cao C J, Qin Y W, et al. Analysis of nitrogen distribution characters and their sources of the major input rivers of Three Gorges Reservoir [J]. Environmental Science, 2008, 29(2): 310-315.
- [5] 刘婷婷. 嘉陵江水体中碳、氮、磷季节变化及其输出[D]. 重庆:西南大学, 2009.
Liu T T. Seasonal variation and output of C P N in jialing river [D]. ChongQing: Southwest University, 2009.
- [6] 李松,张晟,刘景红,等. 嘉陵江营养盐分布特征及对三峡水库的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23): 7228-7230.
Li S, Zhang S, Liu J H, et al. The nitrogen distribution characters of jialing river on Three Gorges Reservoir. Anhui Journal of Agricultural Science, 2007, 35(23): 7228-7230.
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. Monitoring and analysis methods of water and wastewater [M]. 4th ed. Beijing: China Environment Science Press, 2002.
- [8] 金相灿,屠清英. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990.
Jin X C, Tu Q Y. Lake eutrophication survey practice [M]. Beijing: China Environment Science Press, 1990.
- [9] Justic D, Rabalais N N, Turner R E, et al. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. Estuarine Coastal and Shelf Sci, 1995, 40: 339-356.
- [10] 杨东方,张经,陈豫,等. 营养盐限制的唯一性因子探讨[J]. 海洋科学, 2001, 25(12): 49-51.
Yang D F, Zhang J, Chen Y, et al. The uniqueness of nutrient limitation [J]. Marine Sciences, 2001, 25(12): 49-51.
- [11] 李军,刘丛强,王仕禄,等. 太湖水体溶解营养盐(N、P、Si)的冬夏二季变化特征及其与富营养化的关系[J]. 地球与环境, 2005, 33(1): 63-67.
Li J, Liu C Q, Wang S L, et al. Seasonal variations in composition and distribution of dissolved nutrients in the water column of Taihu lake, China [J]. Earth And Environment, 2005, 33(1): 63-67.
- [12] Prairie Y T, Duarte C M, Kalff J. Unifying nutrient-chlorophyll relationships in lakes [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1989, 46: 1176-1182.
- [13] Jones J R, Knowlton M F. Limnology of Missouri reservoirs: an analysis of regional patterns [J]. Lake and Reservoir Management, 1993, 8: 17-30.
- [14] Erwin E, Van Nieuwenhuysse, Jones J R. Phosphorus-chlorophyll relationship in temperate streams and its variation with stream catchment area [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1996, 53: 29-36.
- [15] Tchobanoglous G, Burton F L, Stensel D H. Wastewater

- Engineering- I : Treatment and Reuse [M]. 4th ed. New York: Mc Graw-Hill Inc, 2003: 62-63.
- [16] Jones J G. Denitrification in fresh water [C]//Golterman H L. Denitrification in the Nitrogen cycle. New York: Plenum Press, 1985: 225-239.
- [17] 曲丽梅, 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.
Qu L M, Yao D, Cong P F. Inorganic nitrogen and phosphate and potential eutrophication assessment in Liaodong Bay [J]. Environmental Science, 2006, 27(2): 263-267.
- [18] 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.
Zhang E R, Zhang J. Analysis of the Three Gorge Reservoir impacts on the retention of N and P in the Yangtze river [J]. Journal of Lake Sciences, 2003, 15(1): 41-48.
- [19] Eckert W, Nishri A, Parparova R. Factors regulating the flux of phosphate at the sediment-water interface of a sub-tropical calcareous lake: A simulation study with intact sediment cores [J]. Water, Air & Soil Pollution, 1997, 99(1/2/3/4): 401-409.
- [20] Gonsiorczyk T, Casper P, Koschel R. Variations of Phosphorus release from sediments in stratified lakes [J]. Water, Air & Soil Pollution, 1997, 99(1/2/3/4): 427-434.
- [21] 王庭健, 苏睿, 金相灿, 等. 城市富营养湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. 环境科学研究, 1994, 7(4): 12-20.
Wang T J, Su R, Jin X C, et al. The effects to water quality of phosphorus loading and its release in the sediments of urban eutrophic lakes [J]. Research of Environmental Sciences, 1994, 7(4): 12-20.
- [22] Liikanen A N U. Effect of temperature and oxygen availability on green house gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake [J]. Biogeochemistry, 2002, 59: 269-286.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Spatial Variation of Nutrients and Trophic States Evaluation in Chongqing Segment of Jialing River

ZHANG Yong¹, YANG Min^{1,2}, ZHANG Sheng^{1,2}, LIU Shuoru¹, ZHANG Fanghui¹

(1. Chongqing Research Academy of Environmental Sciences; 2. Chongqing Key Laboratory of Organic Pollutants Environmental Chemical Behavior and Ecotoxicology, Chongqing 401147, China)

Abstract: In order to understand the evolution process of water environment and provide technical support for environmental governance in Jialing River, Total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), chlorophyll a (Chla), permanganate index (COD_{Mn}), transparency (SD), nitrate (NO_3^- -N), nitrite (NO_2^- -N), ammonia (NH_4^+ -N) and total dissolved phosphate (TDP) were determined in Chongqing segment of Jialing River during 2 years conductive study. The nutrient structure and trophic status of water were also assessed by the means of correlation analysis, single-factor and c integrated nutrition state index evaluation method. The result showed that the value of TN, TP, Chla, COD_{Mn} and SD were different in each section in Chongqing segment of Jialing River. The concentrations of TN and TP were much higher than threshold of eutrophication occurrence. Correlation analysis found Chla have not significantly correlated with SD, TN, COD_{Mn} , while posed an extremely significant negative correlation with TP. Moreover, TN posed an extremely significant positive correlation with TP, and SD showed an extremely negative correlation with TN, TP and COD_{Mn} , respectively. The result of single-factor evaluation indicated water quality was Class II in Chongqing segment of Jialing River. However, the flow and temperature of Jialing River were changed due to the construction of Caojie Reservoir, resulted in algal bloom outbreaks even the trophic state evaluation of Jialing River is below the threshold of light eutrophic. Therefore, high attention should be paid on the water quality of Jialing River.

Key words: Jialing River; nutrients; spatial variation; trophic states; evaluation

(责任编辑 黄颖)