

## 2008—2020年三峡库区小江叶绿素 *a* 的时空演变特征及驱动因子\*

唐海滨, 郑志伟, 胡 莲, 潘晓洁, 史 方, 邹 曦\*\*, 万成炎

(水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430072)

**摘 要:** 2008年至2020年期间,对三峡水库小江5个监测断面的叶绿素 *a* (Chl.*a*)及主要环境因子进行季度监测,分析小江 Chl.*a* 的时空变化特征,探讨水体 Chl.*a* 与环境因子的相关关系,解析影响小江 Chl.*a* 变化的主要环境因子。结果表明,小江 Chl.*a* 年平均浓度为(20.69±9.41) μg/L,变幅为 5.96~33.90 μg/L。Chl.*a* 浓度季节差异较大,总体呈现出春、夏、秋3个季节明显高于冬季的变化特征,且春季 Chl.*a* 浓度最高,为 34.48 μg/L;空间分布上,Chl.*a* 浓度呈现倒“N”型分布规律,黄石断面最高(29.55 μg/L),养鹿断面最低(15.23 μg/L)。Pearson 相关性分析结果显示,小江 Chl.*a* 浓度与 COD<sub>Mn</sub>、电导率、pH、溶解氧呈显著正相关关系,与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、透明度呈显著负相关关系。通过逐步回归分析,筛选得到对小江 Chl.*a* 影响最重要的5个环境因子。通径分析表明,各环境因子对水体 Chl.*a* 浓度的作用大小在时空上存在一定差异。不同季节中对水体 Chl.*a* 影响最显著的环境因子分别为:浊度(春季)、溶解氧(夏季)、NH<sub>3</sub>-N(秋季)、水温(冬季);不同断面中对 Chl.*a* 影响最显著的环境因子由上游到下游依次为:电导率(渠口)、COD<sub>Mn</sub>(养鹿)、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P(高阳)、电导率(黄石)、溶解氧(双江)。溶解氧、COD<sub>Mn</sub>是影响小江全段 Chl.*a* 最主要的环境因子,其中,溶解氧对 Chl.*a* 浓度的直接作用最大,其直接通径系数为 0.451,COD<sub>Mn</sub>对 Chl.*a* 浓度的间接作用最大,其间接通径系数为 0.204。拟合分析结果显示,Chl.*a* 与溶解氧、Chl.*a* 与 COD<sub>Mn</sub>均表现为指数函数的拟合效果最好,其次为幂函数,最后为线性函数。本研究对小江及三峡库区其他支流富营养化防控具有借鉴意义。

**关键词:** 叶绿素 *a*;三峡库区;小江;时空变化;理化因子;逐步回归分析;通径分析

## Spatiotemporal characteristics and driver analysis of chlorophyll-*a* in Xiaojiang River of the Three Gorges Reservoir from 2008 to 2020\*

Tang Haibin, Zheng Zhiwei, Hu Lian, Pan Xiaojie, Shi Fang, Zou Xi\*\* & Wan Chengyan

(Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R. China)

**Abstract:** From 2008 to 2020, we measured chlorophyll-*a* (Chl.*a*) and major environmental factors at five monitoring sites in Xiaojiang River, Three Gorges Reservoir, on a quarterly basis, analysed the spatial and temporal variation characteristics of Chl.*a*, explored the correlation between Chl.*a* and environmental factors in water bodies, and analysed the major environmental factors affecting the change of Chl.*a* in Xiaojiang River. The results showed that the annual average concentration of Chl.*a* was (20.69±9.41) μg/L with a variation of 5.96–33.90 μg/L. The Chl.*a* concentration varied seasonally, and the overall characteristics showed that the Chl.*a* concentration was significantly higher in spring, summer and autumn than in winter, and peaked at 34.48 μg/L in spring. The spatial distribution of Chl.*a* concentration showed an inverted “N” type distribution pattern, with the highest in the Huangshi section (29.5 μg/L) and the lowest in the Yanglu section (15.23 μg/L). Pearson correlation analysis showed that Chl.*a* concentration in Xiaojiang was significantly and positively correlated with COD<sub>Mn</sub>, conductivity, pH and DO, and significantly and negatively correlated with NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P and Secchi depth. Stepwise regression analysis was used to screen the five

\* 2022-10-27 收稿;2023-01-19 收修改稿。

国家重点研发计划项目(2022YFC3203905)、水利部重大科技项目(SK R-2022015)和国家自然科学基金项目(51779157,51679153)联合资助。

\*\* 通信作者;E-mail: zoux@mail.ihe.ac.cn。

most important environmental factors affecting Chl. *a*. Temporally, the most important environmental factors affecting Chl. *a* in different seasons were turbidity in spring, DO in summer, NH<sub>3</sub>-N in autumn, water temperature in winter. Spatially, the most important factors influencing Chl. *a* from upstream to downstream in different reaches were conductivity in Qukou, COD<sub>Mn</sub> in Yanglu, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P in Goyang, conductivity in Huangshi, DO in Shuangjiang. DO and COD<sub>Mn</sub> were the most important environmental factors affecting Chl. *a* in Xiaojiang River, where DO had the largest direct effect on Chl. *a* concentration with a direct path coefficient of 0.451, and COD<sub>Mn</sub> had the largest indirect effect on Chl. *a* concentration with an indirect path coefficient of 0.204. Fitting analysis showed that Chl. *a* and DO, Chl. *a* and COD<sub>Mn</sub> were best fitted with an exponential function, followed by a power function and finally a linear function. This study is important for the in-depth understanding of the spatial and temporal variation patterns and the main influencing factors of chlorophyll-*a*, and for the management of eutrophication in Xiaojiang River and other tributaries in the Three Gorges Reservoir area.

**Keywords:** Chlorophyll-*a*; Three Gorges Reservoir; Xiaojiang River; spatial-temporal variation; environmental factors; stepwise regression analysis; path analysis

随着社会经济的快速发展,水体富营养化已成为全球最突出的水环境问题之一。近年来,我国太湖、巢湖、洞庭湖等重要湖泊富营养化状况依然不容乐观<sup>[1-3]</sup>。叶绿素是浮游植物重要成分,而叶绿素 *a* 是植物光合作用重要色素,广泛存在于各种浮游植物体内,其含量和动态变化能够反映水中藻类生长状况和变化规律<sup>[4-5]</sup>。故叶绿素 *a* 常被用于表征水体浮游植物生物量,也是水体富营养化评价的重要因子<sup>[6]</sup>。因此,开展水体叶绿素 *a* 监测调查,研究叶绿素 *a* 的时空变化及其与环境因子的相互关系,能够更全面地掌握水体浮游植物动态变化及形成机制,更加准确地研判水生态环境的演变趋势。

三峡大坝建成运行后,水文形势、水动力条件发生着显著变化,库区支流水系由此产生了新的水环境问题,尤其是库区水体富营养化受到广大学者的关注<sup>[7]</sup>。据统计,三峡水库蓄水后入库支流富营养化状况日趋严重,发生水华的支流数量逐年增加,2004 年有 6 条支流暴发水华,而 2013 年已上升至 20 余条<sup>[8]</sup>。大坝阻隔导致支流流速变缓,水体滞留时间增加,是导致支流水华的主要原因<sup>[9]</sup>。三峡水库蓄水已有 10 余年,库区支流逐渐由河流生境向湖库生境转换,这一过程水生态系统结构也发生了一系列变化。浮游植物作为水体重要的初级生产者,全面认识三峡库区入库支流浮游植物的时空动态变化特征,对于研判水环境的演变趋势、水华发生机制等具有重要意义。但是,针对入库支流基于长时间序列下叶绿素 *a* 的时空变化特征以及与环境因子相互关系的系统性研究相对较少。

小江是三峡库区消落区面积最大、变动回水区较长以及常年流量较大的一条支流,具有典型性。本研究以小江为研究对象,在 2008—2020 年间对小江 5 个监测断面进行 4 个季度 Chl. *a* 的定期监测调查,分析小江 Chl. *a* 的时空演变特征,研究小江 Chl. *a* 不同断面及季节与水体主要理化因子的相关性,通过逐步回归分析,筛选出时空上影响 Chl. *a* 相对重要的环境因子,采用通径分析解析不同季节、不同断面小江 Chl. *a* 主要的驱动因子,旨为小江及三峡库区其它支流富营养化治理提供理论参考。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

小江,也称彭溪河,位于三峡库区北岸(30°49′~31°42′N, 107°56′~108°54′E),为一级主流,全长 184.2 km,流域面积 5173 km<sup>2</sup>。小江上游共南河和北河两条支流,于开县汇合,三峡水库蓄水后,在开县新城下游 4.5 km 处修建了汉丰湖大坝,至此形成了小江。根据小江地形地貌特征、水文水力特征、水系分布特点及重要闸坝分布等情况,研究区域主要为汉丰湖大坝以下至入三峡水库口,总长约 72 km。本研究共设置 5 个监测断面,分别为渠口(31°08′11″N, 108°29′12″E)、养鹿(31°04′56″N, 108°33′57″E)、高阳(31°05′48″N, 108°40′22″E)、黄石(30°59′44″N, 108°42′58″E)和双江(30°57′53″N, 108°42′03″E)(图 1)。

### 1.2 样品采集

在 2008—2020 年间,于每年 3、6、9、12 月监测各个断面的叶绿素 *a* 浓度及水体主要理化因子,采集水面下约 30 cm 的表层水。监测指标包括水温(WT)、pH、溶解氧(DO)、电导率(Cond)、浊度(Turb)、总碱度(TBN)、透明度(SD)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、硝酸盐氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、正磷酸盐(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)、高锰酸

盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、叶绿素 *a* (Chl.*a*) 14 项。其中,WT、DO、pH、Turb、SD 现场测定,其余指标将水样 24 h 内带回实验室测定。

### 1.3 样品测定

WT、pH、DO、Turb、Cond 采用 YSI Pro 多参数水质测量仪原位测定,SD 采用赛氏盘现场测定。实验室测定,TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,NH<sub>3</sub>-N 采用纳氏试剂分光光度法,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 采用紫外分光光度法,TP、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 采用钼酸铵分光光度法,COD<sub>Mn</sub> 采用酸性高锰酸钾法,TBN 采用酸碱指示剂滴定法,Chl.*a* 采用丙酮萃取分光光度法,具体测定方法严格按照《水与废水监测分析方法(第四版)》<sup>[10]</sup> 进行。

### 1.4 数据处理

数据整理采用 WPS Office 中的 WPS 表格软件,制图使用 Origin 8.0,统计分析使用 R 4.2.1。本文对 Chl.*a* 与水体环境因子进行 Pearson 相关分析和和双侧显著性检验,采用逐步线性回归筛选对小江 Chl.*a* 影响相对重要的环境因子,采用通径分析解析各个重要环境因子在不同季节、不同断面对 Chl.*a* 浓度的作用大小,采用线性及非线性拟合构建小江全段 Chl.*a* 与其主要环境因子的回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 小江叶绿素 *a* 时空动态变化分析

2008—2020 年期间,研究区域内小江 Chl.*a* 年平均浓度为(20.69±9.41) μg/L,变幅范围在 5.96~33.90 μg/L 之间,最小值出现在 2008 年,最大值出现在 2019 年(图 2)。整体趋势表现为上下波动,波动周期大约为 3 年。同时发现,Chl.*a* 浓度中位数也呈上下波动变化,但波动幅度较均值小。两者比较可知,各年中 Chl.*a* 浓度的均值高于中位数,表明数据中较低值的数量相对较多,而较大值的数值比较小值的数值大得多。实际中,本研究更加关注叶绿素 *a* 在高浓度的变化情况,故采用均值比中位数更符合实际需要。此外,异常值数值有所增加。

小江 5 个监测断面 Chl.*a* 浓度时空变化如图 3 所示。在季节上,整体表现为春季、夏季、秋季 3 个季节远高于冬季的变化规律,Chl.*a* 浓度由高到低依次为,春季(34.48 μg/L)、秋季(27.61 μg/L)、夏季(20.21 μg/L)、冬季(2.01 μg/L)。其中,春季、夏季 Chl.*a* 浓度均在黄石断面最高,分别为 59.11、31.98 μg/L;秋季 Chl.*a* 浓度在高阳断面最高,为 37.95 μg/L;冬季 Chl.*a* 浓度在渠口断面最高,为 3.24 μg/L。Chl.*a* 浓度除了随季节变化外,还呈现出不同的空间差异性,即在空间上呈倒“N”型分布特征,Chl.*a* 年平均浓度最高值出现在黄石断面

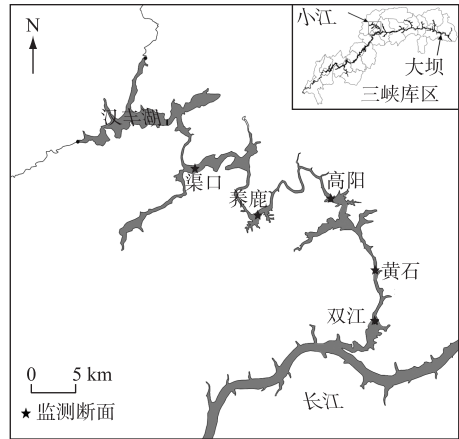


图 1 小江研究区域采样点位置

Fig.1 Location of sampling sites in Xiaojiang River

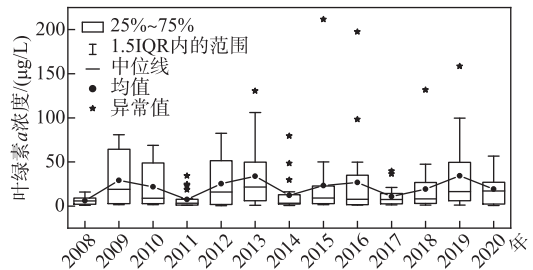


图 2 小江叶绿素 *a* 的年度变化

Fig.2 Annual variation of chlorophyll-*a* in Xiaojiang River

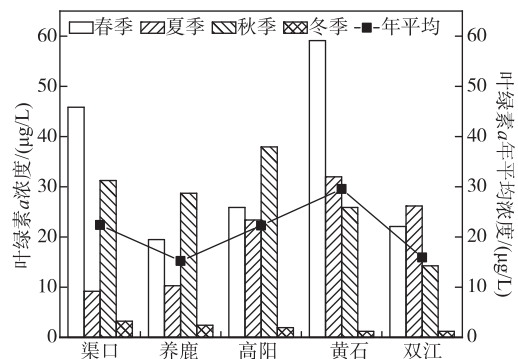


图 3 小江各监测断面叶绿素 *a* 的时空变化

Fig.3 Spatiotemporal variation of chlorophyll-*a* in different monitoring sections of Xiaojiang River

(29.55  $\mu\text{g/L}$ ), 最低值出现在养鹿断面(15.23  $\mu\text{g/L}$ )。

## 2.2 小江叶绿素 *a* 与环境因子的相关分析

由 Pearson 相关分析可知,小江各监测断面 Chl.*a* 浓度与环境因子的相关性有所差异(表 1)。渠口断面, Chl.*a* 浓度与 Cond 和 DO 呈极显著正相关( $P<0.01$ );养鹿断面, Chl.*a* 浓度与  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  相关性较强,其中与  $\text{NO}_3^-$ -N 呈显著负相关,与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  呈显著正相关;高阳断面, Chl.*a* 浓度与  $\text{PO}_4^{3-}$ -P、WT、Cond 和 DO 相关性较强,其中,与  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 呈显著负相关,与 WT、Cond 和 DO 呈正相关关系;黄石断面, Chl.*a* 浓度与  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P 呈显著负相关,与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、pH 和 DO 呈显著正相关;双江断面, Chl.*a* 浓度与  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、SD 呈显著负相关,与 DO 呈显著正相关。整个河段上,与小江 Chl.*a* 浓度显著相关的环境因子包括  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、Cond、pH、DO 和 SD,其中,与  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、SD 呈负相关关系,与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、Cond、pH、DO 呈正相关关系。

表 1 小江各监测断面叶绿素 *a* 与环境因子的 Pearson 相关分析  
Tab.1 Pearson correlation analysis of chlorophyll-*a* and environmental factors in sections of Xiaojiang River

指标	渠口	养鹿	高阳	黄石	双江	小江全河段
TN	-0.306	-0.063	0.059	-0.130	-0.005	0.003
$\text{NH}_3$ -N	-0.001	0.311	-0.275	-0.163	-0.073	-0.046
$\text{NO}_3^-$ -N	-0.302	-0.360*	-0.300	-0.390*	-0.394*	-0.258**
TP	-0.102	0.193	-0.104	0.040	-0.092	0.022
$\text{PO}_4^{3-}$ -P	-0.226	-0.196	-0.547**	-0.567**	-0.577**	-0.302**
$\text{COD}_{\text{Mn}}$	0.337	0.525**	0.218	0.718**	0.320	0.428**
TBN	0.201	-0.134	-0.299	0.051	0.047	-0.069
WT	0.085	0.317	0.494**	-0.087	0.194	0.095
Cond	0.546**	0.156	0.475**	0.060	0.198	0.229**
pH	-0.038	0.207	0.236	0.374*	0.069	0.238**
DO	0.485**	0.326	0.434*	0.736**	0.606**	0.462**
Turb	-0.204	-0.161	-0.093	-0.189	-0.092	-0.096
SD	-0.011	-0.220	-0.220	-0.208	-0.389*	-0.187*
TN/TP	-0.009	-0.214	0.022	-0.229	0.055	-0.110

\* 表示显著相关  $P<0.05$ ; \*\* 极显著相关,  $P<0.01$ 。

## 2.3 小江叶绿素 *a* 与环境因子的逐步回归分析

为进一步分析 Chl.*a* 浓度与环境因子之间的定量关系及其主要影响因子,以 Chl.*a* 浓度为因变量,以环境因子为自变量,采用逐步回归分析,建立不同季节/不同监测断面的 Chl.*a* 浓度与环境因子间的回归关系,逐步剔除不显著的变量,最终得到逐步回归方程(表 2、表 3)。分析结果显示,小江不同季节影响 Chl.*a* 浓度的环境因子有明显差异。其中,春季在极显著水平下共有 4 个环境因子入选,分别为  $\text{NH}_3$ -N、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、Cond 和 Turb;夏季有 DO 和 SD 共 2 个环境因子入选,秋季有  $\text{NH}_3$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、pH 和 Cond 共 4 个环境因子入选,冬季有 TN、TP、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、WT 共 4 个环境因子入选。

表 2 小江不同季节叶绿素 *a* 与环境因子的回归方程  
Tab.2 Stepwise multiple regression equation between chlorophyll-*a* and environmental factors in different seasons in Xiaojiang River

季节	逐步回归方程	$R^2$	$F$	$P$
春	$\text{Chl.}a = -71.269 - 100.110\text{NH}_3\text{-N} + 13.018\text{COD}_{\text{Mn}} + 0.102\text{Cond} + 6.729\text{Turb}$	0.83	45.02	0.001
夏	$\text{Chl.}a = -63.192 + 15.210\text{DO} - 14.744\text{SD}$	0.37	11.16	0.000
秋	$\text{Chl.}a = -154.342 + 149.699\text{NH}_3\text{-N} - 25.387\text{NO}_3^- \text{-N} + 22.713\text{pH} - 0.314\text{Turb}$	0.34	4.509	0.004
冬	$\text{Chl.}a = 11.237 - 1.269\text{TN} + 46.270\text{TP} - 47.923\text{PO}_4^{3-} \text{-P} - 0.504\text{WT}$	0.25	2.916	0.035

如表3所示,通过逐步回归分析,筛选出对小江 Chl.a 浓度影响最重要的5个环境因子,分别为  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、DO 和 SD。其中,小江全河段 Chl.a 与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、DO 呈极显著正相关,与  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、SD 呈极显著负相关。不同断面筛选出的对 Chl.a 有显著影响的环境因子各不相同,渠口断面为 TN、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和 Cond,养鹿断面有  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、WT、pH 和 Turb,高阳断面为 TP、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P、Cond;黄石断面为  $\text{PO}_4^{3-}$ -P、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、DO;双江为  $\text{PO}_4^{3-}$ -P、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、DO、SD。其中,黄石、双江断面构建的回归方程相关系数相对较大,分别为 0.81、0.75。

表3 小江不同监测断面叶绿素a与环境因子的回归方程

Tab.3 Stepwise multiple regression equation between chlorophyll-a and environmental factors at different sampling sites in Xiaojiang River

监测断面	逐步回归方程	$R^2$	F	P
渠口	$\text{Chl.}a = -17.555 - 10.341\text{TN} + 5.292\text{COD}_{\text{Mn}} + 0.075\text{Cond}$	0.48	7.698	0.001
养鹿	$\text{Chl.}a = -238.489 + 8.182\text{COD}_{\text{Mn}} + 1.840\text{WT} + 23.416\text{pH} - 0.239\text{Turb}$	0.49	6.736	0.001
高阳	$\text{Chl.}a = -45.327 + 177.942\text{TP} - 643.827\text{PO}_4^{3-}\text{-P} + 0.210\text{Cond}$	0.53	10.48	0.000
黄石	$\text{Chl.}a = -54.525 - 357.689\text{PO}_4^{3-}\text{-P} + 8.297\text{COD}_{\text{Mn}} + 9.528\text{DO}$	0.81	39.5	0.000
双江	$\text{Chl.}a = -26.609 - 191.011\text{PO}_4^{3-}\text{-P} + 3.573\text{COD}_{\text{Mn}} + 7.319\text{DO} - 7.702\text{SD}$	0.75	21.51	0.000
小江全河段	$\text{Chl.}a = -22.528 - 7.181\text{NO}_3^-\text{-N} - 168.726\text{PO}_4^{3-}\text{-P} + 4.980\text{COD}_{\text{Mn}} + 6.646\text{DO} - 4.722\text{SD}$	0.51	32.07	0.000

2.4 小江叶绿素a与环境因子的通径分析

在逐步回归分析结果上,采用通径分析计算各重要环境因子对小江不同季节 Chl.a 浓度的作用大小,(附表 I 和图4)。不同季节,各环境因子对水体 Chl.a 浓度的影响有明显差异。春季时,对小江 Chl.a 间接作用最大的环境因子为  $\text{NH}_3$ -N ( $\sum r_{ij}P_j = 0.266$ ),直接作用最大的环境因子为 Turb ( $P_i = 0.753$ ),均为正向影响;夏季时,对小江 Chl.a 间接作用最大的环境因子为 SD ( $\sum r_{ij}P_j = 0.083$ ),直接作用最大的因子为 DO ( $P_i = 0.415$ ),均为正向影响;秋季时,对小江 Chl.a 间接作用最大的环境因子为 pH ( $\sum r_{ij}P_j = -0.131$ ),为负向影响,而直接作用最大的因子为  $\text{NH}_3$ -N ( $P_i = 0.413$ ),为正向影响;冬季时,对小江 Chl.a 间接作用最大的环境因子为 TP ( $\sum r_{ij}P_j = -0.787$ ),为负向影响,而直接作用最大的因子为 TP ( $P_i = 0.727$ ),为正向影响。总体上,对

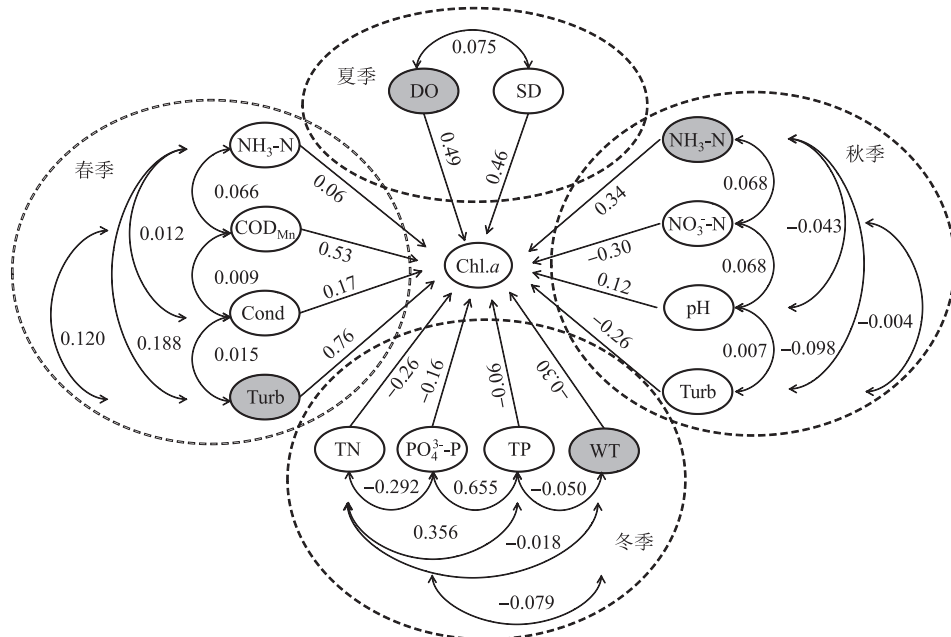


图4 小江不同季节叶绿素a与环境因子的通径分析图

Fig.4 Path analysis model of chlorophyll-a and environmental factors in different seasons in Xiaojiang River

水体 Chl.*a* 浓度影响最显著的环境因子分别为: Turb (春季, 通径系数  $P_{ij} = 0.76$ )、DO (夏季,  $P_{ij} = 0.49$ )、 $\text{NH}_3\text{-N}$  (秋季,  $P_{ij} = 0.34$ ) 和 WT (冬季,  $P_{ij} = -0.30$ )。

如图 5 所示, 对小江全段 Chl.*a* 影响最显著的环境因子为 DO ( $P_{ij} = 0.55$ ), 且自上游渠口到下游双江的 5 个监测断面, 对 Chl.*a* 影响最显著的环境因子依次为: Cond (渠口,  $P_{ij} = 0.55$ )、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  (养鹿,  $P_{ij} = 0.53$ )、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  (高阳,  $P_{ij} = -0.55$ )、Cond (黄石,  $P_{ij} = 0.74$ ) 和 DO (双江,  $P_{ij} = 0.61$ )。其中, 渠口断面, 对小江 Chl.*a* 间接作用最大的环境因子为 TN ( $\sum r_{ij}P_j = -0.080$ ), 为正向影响, 直接作用最大的因子为 Cond ( $P_i = 0.534$ ), 为负向影响; 养鹿断面, 对小江 Chl.*a* 间接作用和直接作用最大的环境因子均为 Turb ( $\sum r_{ij}P_j = 0.290$ 、 $P_i = -0.450$ ); 高阳断面, 对小江 Chl.*a* 间接作用最大的环境因子为 TP ( $\sum r_{ij}P_j = -0.550$ ), 直接作用最大的因子为  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ( $P_i = -0.568$ ), 均为负向影响; 黄石断面, 对小江 Chl.*a* 间接作用最大的环境因子为  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  ( $\sum r_{ij}P_j = 0.333$ ), 直接作用最大的因子为 DO ( $P_i = 0.530$ ), 均为正向影响; 双江断面, 对小江 Chl.*a* 间接作用最大的环境因子为  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ( $\sum r_{ij}P_j = -0.301$ ), 为负向影响, 直接作用最大的因子为 DO ( $P_i = 0.627$ ), 为正向影响。小江全段, 对 Chl.*a* 间接作用最大的环境因子为  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  ( $\sum r_{ij}P_j = 0.204$ ), 最小的环境因子为  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ( $\sum r_{ij}P_j = 0.021$ ); 直接作用最大的环境因子为 DO ( $P_i = 0.451$ ), 为正向影响, 最小的环境因子为  $\text{NO}_3\text{-N}$  ( $P_i = -0.158$ ), 为负向影响。DO、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  决定系数  $d_i$  分别为 0.303、0.221, 其值远高于其它 3 个环境因子, 两者占决定系数之和的 77.5%。由此可知, DO、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  是影响小江 Chl.*a* 最主要的环境因子 (附表 II)。

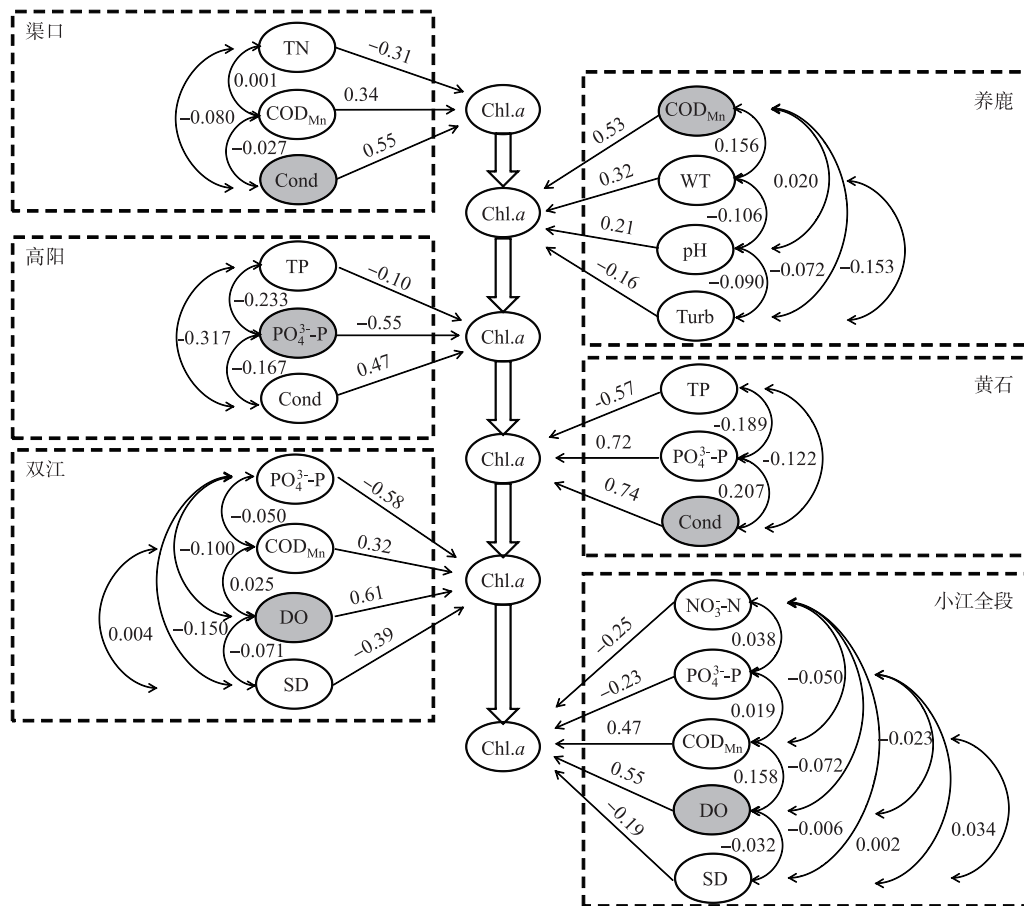


图 5 小江不同监测断面叶绿素 *a* 与环境因子的通径分析图  
 Fig.5 Path analysis model of chlorophyll-*a* and environmental factors at different sampling sites in Xiaojiang River

## 2.5 小江叶绿素 *a* 与关键环境因子的拟合分析

进一步,采用线性函数、幂函数、指数函数 3 种常用函数拟合分析小江 Chl.*a* 与最主要环境因子(DO、COD<sub>Mn</sub>)的关系。如图 6 所示,Chl.*a* 与 DO、Chl.*a* 与 COD<sub>Mn</sub> 的拟合结果均表现为:指数函数的拟合效果最好,其次是幂函数,最后是线性函数。其中,Chl.*a* 浓度与 DO 呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数  $R^2$  为 0.38,构建的指数函数方程为  $y=1.062e^{0.369x}+0.707$ ;Chl.*a* 浓度与 COD<sub>Mn</sub> 呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数  $R^2$  为 0.35,构建的指数函数方程为  $y=3.185e^{0.460x}+3.406$ 。

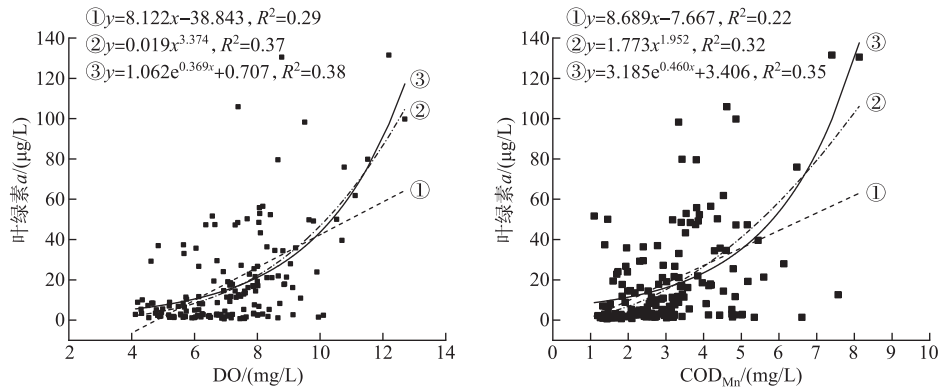


图 6 小江叶绿素 *a* 与 DO、COD<sub>Mn</sub> 的拟合结果

Fig.6 Fitting results of chlorophyll-*a* with DO and COD<sub>Mn</sub> in Xiaojiang River

## 3 讨论

### 3.1 叶绿素 *a* 的时空变化特征

不同季节、不同采样点影响水体叶绿素 *a* 浓度的环境因子往往存在差异<sup>[11-12]</sup>。在本研究中,小江叶绿素 *a* 在季节上表现为春季、夏季、秋季远高于冬季的变化规律(图 3)。有关研究表明,温度是影响浮游植物生长的关键因子,随着水温的升高,浮游植物光合作用加强,生长速度加快,故冬季叶绿素含量往往较低<sup>[13]</sup>。此外,三峡库区冬季持续蓄水,使得小江水位升高,水环境容量增大,这可能是叶绿素冬季最低的另一个原因。小江水温常年保持在 5℃ 以上,除冬季外,其它时间水温基本都在 20℃ 以上,适宜的水温条件有利于藻类生长,导致小江春、夏、秋 3 个季度 Chl.*a* 浓度整体高于冬季。本研究中,Chl.*a* 浓度在春季最高,这与郭劲松等<sup>[14]</sup> 研究结论一致。夏季 Chl.*a* 浓度较春季有所下降,这主要与上游来水流量明显增加有关,水体交换频率加快,水力停留时间缩短,不利于藻类的附着和大量生长<sup>[15]</sup>。在当前全球气候变暖的背景下,水温的升高促进藻类在春季的提前生长,尤其是蓝藻等,故春季水华值得重点关注<sup>[16]</sup>。小江 Chl.*a* 浓度空间分布上呈现倒“N”型分布特征,在黄石最高而养鹿最低。同时发现,不同断面影响 Chl.*a* 的环境因子有所差异。各监测断面所构建的逐步回归方程中,除高阳外,其他断面 Chl.*a* 均与 COD<sub>Mn</sub> 有关,且呈正相关关系,故建议今后在小江水华预警监测中增加对 COD<sub>Mn</sub> 的同步监测。高阳及下游的 3 监测断面 Chl.*a* 均与 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 密切相关,这可能与下游回水有关。以往研究中,对长时间序列下 Chl.*a* 的时空变化特征以及与环境因子相互关系的系统性研究相对较少。潘晓洁等<sup>[17]</sup> 研究指出,高阳是小江水华暴发最敏感的水域。本研究中,高阳断面 Chl.*a* 浓度仅在秋季时最高,而春夏两季 Chl.*a* 浓度最高则出现在黄石断面,这与研究时间尺度的长短有关。此外,三峡库区蓄泄水过程,引起小江回水段营养盐和叶绿素的变化,有待于后续进一步研究。

### 3.2 水体理化因子对叶绿素 *a* 的影响

通过逐步回归分析,本研究筛选出对小江叶绿素 *a* 影响最重要的 5 个环境因子,分别为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、COD<sub>Mn</sub>、DO 和 SD。营养盐是浮游植物生长的必要元素,而浮游生物代谢及死亡也能增加水体营养盐浓度,两者相互作用。目前普遍认为,浮游藻类的生物量与水体中的营养盐浓度变化趋势相同<sup>[18-19]</sup>,本研究中小

江叶绿素  $a$  与 TN、TP 也呈正相关关系(表 1)。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 作为可溶性营养盐,易被浮游植物吸收利用,故有时表现为与叶绿素  $a$  呈显著负相关关系,这与吴怡等的研究一致<sup>[20]</sup>。可看出,溶解态氮磷才是小江浮游生物生长的限制因素,今后可加强对小江可溶性营养盐的动态监测。小江 Chl. $a$  浓度与 COD<sub>Mn</sub> 有一定的正相关关系,与已有研究相同<sup>[21]</sup>。DO 是浮游植物代谢过程中的重要能源物质,浮游植物生消会引起水体 DO 浓度变化,两者互为作用。小江 Chl. $a$  与 DO 呈正相关关系,这与藻类光合作用释放溶解氧有关,即 Chl. $a$  浓度越高,浮游植物数量越多,浮游植物在光合作用中释放氧分子,使水体中 DO 浓度增加。因此,DO 常常作为叶绿素  $a$  变化的被动因子<sup>[22]</sup>。小江 Chl. $a$  浓度与透明度呈负相关,水体透明度是藻类数量的直观表现,透明度越高,藻密度就越低,反之,透明度越低,藻密度越高,这与杨子超等<sup>[23]</sup> 研究结果相同。已有研究表明,藻类生长的最佳氮磷质量比为 7.2:1,如果氮磷比高于 7.2,则被认为是磷限制,而低于 7.2 则氮为限制因子<sup>[24]</sup>。本研究中氮磷质量比为 22.4,故小江可能是磷限制水体,这与回归分析结果一致。磷也是洞庭湖、太湖等国内很多富营养化水体中主要影响因子,而氮通常十分丰富不再成为影响分布的限制因子<sup>[22-23,25]</sup>。此外,除了以上影响因子,流速、光照、调水以及生物因素也会影响藻类的生长<sup>[26-29]</sup>。

#### 4 附录

附表 I ~ II 见电子版(DOI: 10.18307/2023.0512)。

#### 5 参考文献

- [ 1 ] Fu Z, Guo J, Huang DZ *et al.* The evolution and influencing factors of eutrophication in Dongting Lake. *Environmental Chemistry*, 2022, **41** (8): 2636-2645. [符哲, 郭晶, 黄代中等. 洞庭湖的富营养演变特征及影响因素. *环境化学*, 2022, **41**(8): 2636-2645.]
- [ 2 ] 张辉, 杨雄. 综合营养状态指数法在巢湖水体富营养化评价中的应用. *安徽农学通报*, 2018, **24**(9): 84-87.
- [ 3 ] Wang Z, Zou H, Yang GJ *et al.* Spatial-temporal characteristics of chlorophyll- $a$  and its relationship with environmental factors in Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2014, **26**(4): 567-575. DOI:10.18307/2014.0411. [王震, 邹华, 杨桂军等. 太湖叶绿素  $a$  的时空分布特征及其与环境因子的相关关系. *湖泊科学*, 2014, **26**(4): 567-575.]
- [ 4 ] Carneiro FM, Nabout JC, Vieira LCG *et al.* Determinants of chlorophyll- $a$  concentration in tropical reservoirs. *Hydrobiologia*, 2014, **740** (1): 89-99. DOI:10.1007/s10750-014-1940-3.
- [ 5 ] Kasprzak P, Padisak J, Koschel R, *et al.* Chlorophyll- $a$  concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass? *Limnologia*, 2008, **38**(3-4): 327-338. DOI:10.1016/j.limno.2008.07.002.
- [ 6 ] Bricker SB, Ferreira JG, Simast T. An integrated methodology for assessment of estuarine eutrophic status. *Ecological Modelling*, 2003, **69** (1): 39-60. DOI:10.1016/S0304-3800(03)00199-6.
- [ 7 ] Zou X, Pang XJ, Zheng ZW *et al.* Temporal-spatial variation of chlorophyll- $a$  and environmental factors in the Xiaojiang River backwater of Three Gorges Reservoir. *Journal of Hydroecology*, 2017, **38**(4): 48-56. [邹曦, 潘晓洁, 郑志伟等. 三峡水库小江回水区叶绿素  $a$  与环境因子的时空变化. *水生态学杂志*, 2017, **38**(4): 48-56.]
- [ 8 ] Yang ZH, Yang SC, Li D *et al.* Numerical simulation of eutrophication and its test of ecological operation schedule in Xiaojiang River, the tributary of Three Gorges Reservoir. *J Lake Sci*, 2016, **28**(4): 755-764. DOI:10.18307/2016.0408. [杨中华, 杨水草, 李丹等. 三峡水库支流小江富营养化模型构建及在水量调度控藻中的应用. *湖泊科学*, 2016, **28**(4): 755-764.]
- [ 9 ] Cai QH, Sun ZY. Water environment and aquatic ecosystem of Three Gorges Reservoir, China: progress and prospects. *J Lake Sci*, 2012, **24**(2): 169-177. DOI:10.18307/2012.0201. [蔡庆华, 孙志禹. 三峡水库水环境与水生态研究的进展与展望. *湖泊科学*, 2012, **24**(2): 169-177.]
- [ 10 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [ 11 ] Ge Y, Zhou YF, Lv DW *et al.* Temporal and spatial distribution of chlorophyll- $a$  and its relationship with environmental factors in Yangcheng West Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, **26**(7): 1068-1075. [葛逸, 周彦锋, 吕大伟等. 阳澄西湖叶绿素  $a$  的时空分布及其与环境因子的关系. *长江流域资源与环境*, 2017, **26**(7): 1068-1075.]
- [ 12 ] Yang ZC, Li YL, Qiu XC *et al.* Spatial-temporal distribution of Chlorophyll- $a$  and its relationship with environmental factors in Shahu Lake. *Journal of Hydroecology*, 2020, **41**(2): 77-82. [杨子超, 李延林, 邱小琼等. 沙湖叶绿素  $a$  的时空分布特征及其与环境因子的关系. *水生态学杂志*, 2020, **41**(2): 77-82.]
- [ 13 ] Zhu KX, Bi YH, Hu ZY. Responses of phytoplankton functional groups to the hydrologic regime in the Daning River, a tributary of Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*, 2013, **450**: 169-177. DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.01.101.
- [ 14 ] Guo JS, Chen Y, Li Z *et al.* Seasonal variation of Chlorophyll- $a$  and its potential relationship with various algal species in Xiaojiang River backwater area, Three Gorges Reservoir. *Environmental Science*, 2011, **32**(4): 976-981. [郭劲松, 陈园, 李哲等. 三峡小江回水区叶绿

- 素 *a* 季节变化及其同主要藻类的相互关系. 环境科学, 2011, **32**(4): 976-981.]
- [15] Li Z, Zhang ZY, Yang ZH *et al.* Effects of flow speed on the change of in situ growth rates of algae in Pengxi River back-water zone, Three Gorges Reservoir. *J Lake Sci*, 2015, **27**(5): 880-886. DOI:10.18307/2015.0514. [李哲, 张曾宇, 杨中华等. 三峡彭溪河回水区流速对藻类原位生长速率的影响. 湖泊科学, 2015, **27**(5): 880-886.]
- [16] Lv H, Yang J, Liu LM *et al.* Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(9): 5917-5928. DOI:10.1007/s11356-014-2534-3.
- [17] Pang XJ, Huang YF, Zheng ZW *et al.* Characteristics of blooms outbreak characteristics and its cause analysis during early summer in Xiaojiang River of Three Gorges Reservoir. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(11): 1944-1952. [潘晓洁, 黄一凡, 郑志伟等. 三峡水库小江夏初水华暴发特征及原因分析. 长江流域资源与环境, 2015, **24**(11): 1944-1952.]
- [18] 王俊, 韦肖杭, 姚伟忠等. 南太湖水体叶绿素 *a* 含量与氮磷浓度的关系. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, **30**(3): 190-193, 204.
- [19] Zhao HQ, Wei XH, Yao WZ *et al.* Relationships between chlorophyll-*a* content and TN, TP concentrations in coastal waters of South Taihu Lake. *Journal of Hydroecology*, 2011, **32**(5): 59-63. [赵汉取, 韦肖杭, 姚伟忠等. 南太湖近岸水域叶绿素 *a* 含量与氮磷浓度的关系. 水生态学杂志, 2011, **32**(5): 59-63.]
- [20] Wu Y, Guo YF, Cao X *et al.* Eutrophication and spatial distribution of chlorophyll-*a*, nitrogen and phosphorus in Fu-Nan River, Chengdu City. *Environmental Monitoring in China*, 2013, **29**(4): 43-49. [吴怡, 郭亚飞, 曹旭等. 成都府南河叶绿素 *a* 和氮、磷的分布特征与富营养化研究. 中国环境监测, 2013, **29**(4): 43-49.]
- [21] Ruan XH, Shi XD, Zhao ZH *et al.* Correlation between chlorophyll-*a* concentration and environmental factors in shallow lakes in plain river network areas of Suzhou. *J Lake Sci*, 2008, **20**(5): 556-562. DOI:10.18307/2008.0502. [阮晓红, 石晓丹, 赵振华等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 *a* 与环境因子的相关关系. 湖泊科学, 2008, **20**(5): 556-562.]
- [22] Zhang GG. Spatial-temporal distribution of chlorophyll-*a* and its correlation with environment factors in Dongting Lake. *Environmental Monitoring in China*, 2016, **32**(4): 84-90. [张光贵. 洞庭湖水体叶绿素 *a* 时空分布及与环境因子的相关性. 中国环境监测, 2016, **32**(4): 84-90.]
- [23] 杨世莉, 何莹, 祁云宽. 抚仙湖水体透明度及主要影响因子变化分析. 环境科学导刊, 2022, **41**(4): 1-6.
- [24] Klausmeier C, Litchman E, Daufresne T *et al.* Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton. *Nature*, 2004, **429**(6988): 171-174. DOI:10.1038/nature02454.
- [25] Wu HQ, Li QH, Li Q *et al.* Study on temporal and spatial changes of water eutrophication in cyanobacteria accumulation area of Taihu Lake. *Environmental Pollution and Control*, 2022, **44**(7): 926-932. [武晗琪, 李琦晖, 李琪等. 太湖北部蓝藻集聚区水体富营养化时空变化研究. 环境污染与防治, 2022, **44**(7): 926-932.]
- [26] Wen XL, Feng RN, Zhang G *et al.* Temporal variations of chlorophyll-*a* concentration and their relationships with abiotic and biotic factors in two small shallow lakes. *J Lake Sci*, 2017, **29**(6): 1421-1432. DOI:10.18307/2017.0614. [温新利, 冯若楠, 张根等. 两小型浅水湖泊水体叶绿素 *a* 浓度的季节变化及与理化因子和生物因子的关系. 湖泊科学, 2017, **29**(6): 1421-1432.]
- [27] Desortova B, Puncocharb P. Variability of phytoplankton biomass in a lowland river; Response to climate conditions. *Limnologica*, 2011, **41**(3): 160-166. DOI:10.1016/j.limno.2010.08.002.
- [28] 王晓青, 黄舸. 小江水文气象条件对水体氮、磷、叶绿素 *a* 的影响研究. 水利科技与经济, 2013, **19**(12): 1-5.
- [29] Song WW, Xu Q, Fu XQ *et al.* Research on the relationship between water diversion and water quality of Xuanwu Lake, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, **15**(6): 1262. DOI:10.3390/ijerph15061262.

附表 I 小江不同季节叶绿素 *a* 与环境因子的通径分析表Appendix Tab. I Path analysis results of chlorophyll-*a* and environmental factors in different seasons in Xiaojiang River

季节	因变量	自变量	间接通径系数 $r_{ij}P_i$													直接通径系数 $P_i$	决定系数 $d_{ij}$
			NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP	COD <sub>Mn</sub>	WT	Cond	pH	DO	Turb	SD	$\sum r_{ij}P_i$		
春	Chl <sub>a</sub>	NH <sub>3</sub> -N	—	—	—	—	—	0.066	—	0.012	—	—	0.188	—	0.266	-0.206	0.003
		COD <sub>Mn</sub>	-0.040	—	—	—	—	—	—	0.009	—	—	0.120	—	0.090	0.440	0.053
		Cond	-0.021	—	—	—	—	0.026	—	—	—	—	0.015	—	0.020	0.150	0.221
		Turb	-0.067	—	—	—	—	0.070	—	0.003	—	—	—	—	0.007	0.753	0.303
夏	Chl <sub>a</sub>	DO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.075	0.075	0.415	0.240
		SD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.083	—	—	0.083	0.377	0.212
		NH <sub>3</sub> -N	—	0.068	—	—	—	—	—	—	-0.043	—	-0.098	—	-0.073	0.413	0.116
秋	Chl <sub>a</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.111	—	—	—	—	—	—	—	0.068	—	-0.004	—	-0.047	-0.253	0.090
		pH	-0.070	-0.068	—	—	—	—	—	—	—	—	0.007	—	-0.131	0.251	0.014
		Turb	0.111	-0.003	—	—	—	—	—	—	-0.005	—	—	—	0.104	-0.364	0.068
冬	Chl <sub>a</sub>	TN	—	—	—	-0.292	0.356	—	-0.018	—	—	—	—	—	0.047	-0.307	0.068
		PO <sub>4</sub> -P	—	—	-0.144	—	0.655	—	-0.050	—	—	—	—	—	0.460	-0.620	0.026
		TP	—	—	-0.150	-0.558	—	—	-0.079	—	—	—	—	—	-0.787	0.727	0.004
		WT	—	—	-0.015	-0.087	0.160	—	—	—	—	—	—	—	0.058	-0.358	0.090

附表 II 小江不同监测断面叶绿素 *a* 与环境因子的通径分析表Appendix Tab. II Path analysis results of chlorophyll-*a* and environmental factors at different sampling sites in Xiaojiang River

监测断面	因变量	自变量	间接通径系数 $r_{ij}P_j$											直接通径系数 $P_i$	决定系数 $d_{ij}$
			NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP	COD <sub>Mn</sub>	WT	Cond	DO	Turb	SD	$\sum r_{ij}P_j$		
渠口	Chl. <i>a</i>	TN	—	—	—	—	0.000	—	-0.080	—	—	—	-0.080	-0.230	0.096
		COD <sub>Mn</sub>	—	0.000	—	—	—	—	-0.027	—	—	—	-0.027	0.367	0.116
		Cond	—	0.034	—	—	-0.018	—	—	—	—	—	0.016	0.534	0.303
		COD <sub>Mn</sub>	—	—	—	—	—	0.156	—	—	0.020	—	0.103	0.427	0.281
养鹿	Chl. <i>a</i>	WT	—	—	—	—	0.158	—	—	—	-0.106	—	-0.101	0.421	0.102
		pH	—	—	—	—	0.021	-0.114	—	—	—	—	-0.182	0.392	0.044
		Turb	—	—	—	—	0.068	0.143	—	—	0.078	—	0.290	-0.450	0.026
		TP	—	—	-0.233	—	—	—	-0.317	—	—	—	-0.550	0.450	0.010
高阳	Chl. <i>a</i>	PO <sub>4</sub> -P	—	—	—	0.184	—	—	-0.167	—	—	—	0.018	-0.568	0.303
		Cond	—	—	0.170	-0.256	—	—	—	—	—	—	-0.086	0.556	0.221
		PO <sub>4</sub> -P	—	—	—	—	-0.189	—	—	-0.122	—	—	-0.311	-0.259	0.325
黄石	Chl. <i>a</i>	COD <sub>Mn</sub>	—	—	0.127	—	—	—	—	0.207	—	—	0.333	0.387	0.518
		DO	—	—	0.060	—	0.151	—	—	—	—	—	0.210	0.530	0.548
		PO <sub>4</sub> -P	—	—	—	—	-0.050	—	—	-0.100	—	-0.150	-0.301	-0.279	0.336
双江	Chl. <i>a</i>	COD <sub>Mn</sub>	—	—	0.061	—	—	—	—	0.025	—	0.004	0.090	0.230	0.102
		DO	—	—	0.045	—	0.009	—	—	—	—	-0.071	-0.017	0.627	0.372
		SD	—	—	-0.106	—	-0.002	—	—	0.113	—	—	0.004	-0.394	0.152
		NO <sub>3</sub> -N	—	—	0.038	—	-0.050	—	—	-0.072	—	-0.006	-0.091	-0.159	0.063
小江全段	Chl. <i>a</i>	PO <sub>4</sub> -P	0.024	—	—	—	0.019	—	—	-0.023	—	0.002	0.022	-0.252	0.053
		COD <sub>Mn</sub>	0.030	—	-0.018	—	—	—	—	0.158	—	0.034	0.204	0.266	0.221
		DO	0.025	—	0.013	—	0.093	—	—	—	—	-0.032	0.099	0.451	0.303
		SD	-0.005	—	0.003	—	-0.042	—	—	0.068	—	—	0.023	-0.213	0.036