

# 荆江三口2016~2020年主要污染物入洞庭湖 通量分析

王丛丹, 汪梦琪, 徐志\*

长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州

收稿日期: 2022年9月27日; 录用日期: 2022年12月5日; 发布日期: 2022年12月31日

## 摘要

荆江三口是连接荆江河段与洞庭湖区的纽带, 作为入湖河流, 其污染物浓度及通量的时空变化特征备受关注。本文采用水质、水量、污染物通量等多要素综合分析方法, 研究了2016~2020年荆江三口水系8个监测断面水质和污染物通量的时空分布、变化趋势及原因。结果表明: ① 2016~2020年三口河流水体水质总体状态良好, I~III类水年均比例为83.3%~94.4%, 汛期水体质量优于非汛期。② 2016年至2020年荆江三口水系总入湖径流量松滋河 > 藕池河 > 虎渡河, 分别占总入湖径流量的52.86%、37.27%和9.87%。③ 非汛期 $COD_{Mn}$ 和 $NH_3-N$ 平均浓度大于汛期, TP平均浓度汛期大于非汛期。④ 三口水系主要污染物总入湖通量 $COD_{Mn}$ 、TP、 $NH_3-N$ 分别为 $63.11 \times 10^4$ 、 $2.54 \times 10^4$ 、 $6.25 \times 10^4$  t, 月平均入湖通量分别为 $1.13 \times 10^4$ 、 $4.54 \times 10^2$ 、 $1.12 \times 10^3$  t, 三口水系污染物入湖通量松滋河 > 藕池河 > 虎渡河, 松滋河入湖主要污染物占比58.90%~66.15%, 虎渡河占比最小为11.24%~14.16%。

## 关键词

荆江三口, 污染物通量,  $COD_{Mn}$ , TP,  $NH_3-N$

# Analysis on the Flux of Major Pollutants into Dongting Lake from the Three Outlets on Jingjiang Reach from 2016 to 2020

Congdan Wang, Mengqi Wang, Zhi Xu\*

Jingjiang Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology of Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou Hubei

作者简介: 徐志, 湖南汨罗, 出生于1992年6月, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水环境监测和水文测验与预报工作, Email: 715675680@qq.com  
\*通讯作者。

文章引用: 王丛丹, 汪梦琪, 徐志. 荆江三口2016~2020年主要污染物入洞庭湖通量分析[J]. 水资源研究, 2022, 11(6): 640-649.  
DOI: 10.12677/jwrr.2022.116069

Received: Sep. 27<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 5<sup>th</sup>, 2022; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

Three Outlets on Jingjiang reach are the link connecting Jingjiang River and Dongting Lake area. As the river flowing into Dongting Lake, the temporal and spatial variation characteristics of pollutant concentration and flux have attracted much attention. In this paper, water quality, water quantity, pollutant flux and other multi factor comprehensive analysis methods are used to study the temporal and spatial distribution, change trend and causes of water quality and pollutant flux of 8 monitoring sections of the Three Outlets on Jingjiang reach water system from 2016 to 2020. The results show that: ① From 2016 to 2020, the water quality of the Three Outlets is generally in good condition. The average annual proportion of Class I to III water is 83.3%~94.4%, and the water quality in flood season is better than that in non-flood season. ② From 2016 to 2020, the total inflow of the Three Outlets on Jingjiang reach into the Dongting Lake is Songzi River > Ouchi River > Hudu River, accounting for 52.86%, 37.27% and 9.87% of the total inflow respectively. ③ The average concentration of COD<sub>Mn</sub> and NH<sub>3</sub>-N in non-flood season is higher than that in flood season, and the average concentration of TP in flood season is higher than that in non-flood season. ④ The total fluxes of main pollutants into the lake of the Three Outlets systems COD<sub>Mn</sub>, TP and NH<sub>3</sub>-N are 63.11\*10<sup>4</sup>, 2.54\*10<sup>4</sup>, 6.25\*10<sup>4</sup> t, the monthly average flux into the lake is 1.13\*10<sup>4</sup>, 4.54\*10<sup>2</sup>, 1.12\*10<sup>3</sup> t, the flux of pollutants from the Three Outlets systems into the lake is Songzi River > Ouchi River > Hudu River, the main pollutants from Songzi River into the lake account for 58.90%~66.15%, and the minimum proportion of pollutants from Hudu River is 11.24%~14.16%.

## Keywords

Three Outlets on Jingjiang Reach, Pollutant Flux, COD<sub>Mn</sub>, TP, NH<sub>3</sub>-N

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

长江中游荆江南岸沿程河段有松滋口、太平口、藕池口和调弦口(已于 1959 年建闸控制)分流入洞庭湖[1]。荆江三口是连接荆江河段与洞庭湖区的纽带,作为入湖河流,研究其污染物通量及时空变化特征对保障洞庭湖区的水环境安全具有重要意义。

目前,针对荆江三口的研究主要在水沙演变特征[2] [3] [4]、三口水系水质变化也有相关研究,蔡佳等[5]分析了 2016 年西洞庭湖入湖磷素的时空分布特征,结果表明:松滋河的溶解态磷显著偏高。松滋河的磷浓度表现为非汛期高于汛期,汛期主要取决于长江来水状况,非汛期主要取决于松滋口以下区间的点源污染状况。Chen 等[6]研究发现自三峡水库运行后三口泥沙输入减少使西洞庭湖总磷浓度有所下降,但是影响有限。长江三口及洞庭湖的水生态[7] [8]和基于湖区卫星遥感影像的水体质量分析[9]也有相关研究。关于污染物通量,仅有少量短时间序列的观测分析,如:田泽斌等[10]根据 2010 年洞庭湖的入湖污染物监测数据表明长江三口 COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 入湖量占 12.46%~17.18%,三口输入的污染物通量变化与三峡水库下泄流量呈较显著相关。在洞庭湖污染物通量调查方面,已有研究对三口河道关注相对少,尤其是缺乏多断面、长时间序列的观测分析。

本文基于 2016~2020 年荆江三口水量、水质监测资料,采用适合该区域的通量估算方法,计算三口分流河

道(松滋河、虎渡河和藕池河)主要污染物通量的入湖特征。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究范围

长江三口分流河道是西洞庭湖的主要来水之一,长江三口分流河道自口门以下,纵横交错,主要有松滋河、虎渡河、藕池河,其中以松滋口的分流河道松滋河(含东支、西支)水量最多,约占三口流量的 59.3% [6],三口洪道水系复杂,可分为荆南五河,分别为:松滋东河、松滋西河、虎渡河、藕池东支和藕池西支[2]。

本项目共布设水质监测断面 8 个(表 1),在新江口、沙道观(二)、弥陀寺(二)、藕池(管)、藕池(康)布设断面开展水质、水量同步监测;在杨家垱、甘家厂、黄山头南闸增加补充断面(图 1)。监测时间从 2016 年 4 月到 2020 年 12 月,监测频次为每月一次。

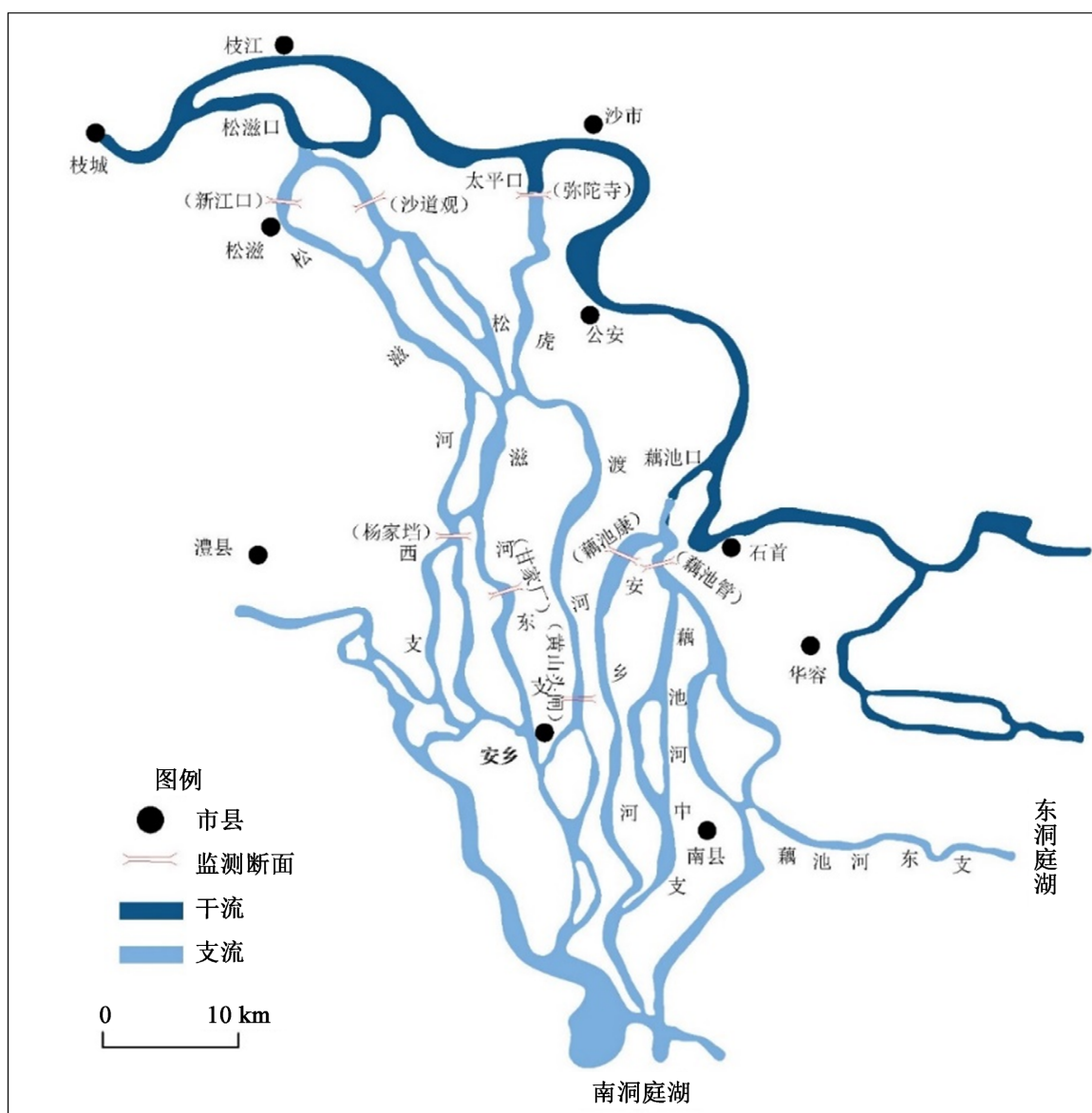


Figure 1. Layout of study area and water quality monitoring points

图 1. 研究区及水质监测点布设

**Table 1.** Distribution of sampling points in the Three Outlets in the Jingjiang reach**表 1.** 荆江三口采样点分布

序号	断面名称	河系	经度	纬度
1	新江口	松滋西河	111.983256	30.170635
2	杨家垱	松滋西河	112.067778	29.725833
3	沙道观(二)	松滋东河	111.924194	30.170638
4	甘家厂	松滋东河	112.003611	29.782778
5	弥陀寺(二)	虎渡河	112.120916	30.216694
6	黄山头南闸	虎渡河	112.190000	29.610000
7	藕池(管)	藕池河东支	112.312805	29.737027
8	藕池(康)	藕池河西支	112.316888	29.725444

## 2.2. 入湖水质

对 2016~2020 年三口水系水质进行分析,结果表明水质总体状态良好(表 2),I~III 类水年均比例为 83.3%~94.4%,年际变化无明显差异(Spearman 秩相关系数)。季节变化上,汛期(5~10 月)水质优于非汛期,5 年三口水系水体共有 15 个月份水质不满足 III 类水及以上标准,其中 9 次出现在非汛期;导致水质劣于 III 类水标准的污染物项目主要为  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP。汛期出现 2 次同时 2 条河流水质类别低于 III 类水的情况,分别是 2016 年 8 月和 2020 年 7 月,结合当时天气情况分析,可能是降雨冲刷污染物入河所致。

**Table 2.** Proportion of class I to III water entering the lake every month from 2016 to 2020 (%)**表 2.** 2016~2020 年逐月入湖 I~III 类水所占比例(%)

月 \ 年	2016	2017	2018	2019	2020
1	-	66.67	100	100	100
2	-	66.67	66.67	66.67	-
3	-	66.67	100	100	100
4	66.67	66.67	33.33	66.67	100
5	100	100	66.67	100	100
6	100	100	100	100	66.67
7	100	100	100	100	33.33
8	33.33	100	66.67	100	100
9	100	100	66.67	100	100
10	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100
平均占比	88.89	88.89	83.33	94.44	90.91

## 2.3. 污染物通量计算方法

河道过流断面的污染物通量是指时段内过流流量与污染物浓度的函数[11]。由于在线水质监测设备目前投产还不普及,水质监测频次往往为每月 1 次,因此,如何利用有限、间断的水质监测数据和实时、连续的流量数

据来提高通量计算的准确性是水质通量研究中的热点。

Webb 等[12]利用不同流量和污染物浓度数据构造了 5 个时段通量的计算公式, 并利用英国一些河流数据对不同方法的适用性进行了评估。富国[11]在螳螂川和水塘江对这 5 种计算方法进行了比对结果显示不同的污染物类型适用于不同的算法(表 3), 同时讨论了污染物浓度与径流量变化的关系, 指出点源污染类型(假定排放量恒定), 污染物通量不受径流量影响, 污染物浓度多与流量呈负相关; 非点源污染类型(上游流域无点源输入), 污染物产生量与径流量呈正比, 浓度多与流量呈正相关; 二者混合作用下, 浓度与流量关系较为复杂, 可能呈正相关、负相关、无关。

基于以上观点, 对 2016~2020 年荆江三口断面的水量与水质数据进行相关关系分析(表 4), 结果显示虎渡河(黄山头闸断面)的 COD<sub>Mn</sub>、TP 以及藕池河(藕池康和藕池管断面)的 COD<sub>Mn</sub> 浓度与流量呈显著负相关, 表明主要受点源污染影响(可能与周边城镇排污有关), 其通量适合用算法 C 计算。其他断面的污染物浓度与流量呈显著正相关或相关性不显著, 表明存在非点源污染为主或点源与非点源复合污染的情况, 其通量适合用算法 D 计算。考虑到适合算法 C 的断面较少且虎渡河和藕池河过流量小, 为方便统计污染物通量统一采用算法 D 计算。

Table 3. Estimation methods and characteristics of time-period fluxes [11]

表 3. 时段通量的估算方法及特征[11]

方法	时段通量估算式	含义	特点及应用范围
A	$W_A = K \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}$	瞬时浓度 $C_i$ 平均与瞬时流量 $Q_i$ 平均之积	对流项远大于时均离散项的情况, 弱化径流量的作用
B	$W_B = K \left( \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \right) Q_r$	瞬时浓度 $C_i$ 平均与时段平均流量 $Q_r$ 之积	对流项远大于时均离散项的情况, 强调径流量的作用
C	$W_C = K \sum_{i=1}^n \frac{C_i Q_i}{n}$	瞬时通量 $C_i Q_i$ 平均值	弱化径流量的作用, 较适合点源占优的情况
D	$W_D = K \sum_{i=1}^n C_i Q_p$	瞬时浓度 $C_i$ 与代表时段平均流量 $Q_p$ 之积	强调径流量的作用, 较适合非点源占优的情况
E	$W_E = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} Q_r$	时段通量平均浓度 $\frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$ 与时段平均流量 $Q_r$ 之积	强调时段总径流量的作用, 较适合非点源占优的情况

Table 4. Pearson correlation coefficient of pollutant concentration and flow at the monitoring section of Three Outlets in the Jingjiang reach

表 4. 荆江三口监测断面污染物浓度与流量的 Pearson 相关系数

污染物	松滋河				虎渡河		藕池河	
	新江口	杨家垱	沙道观	甘家厂	弥陀寺	黄山头闸	藕池康	藕池管
COD <sub>Mn</sub>	0.291*	-0.194	0.088	-0.192	-0.17	-0.309*	-0.315*	-0.293*
TP	-0.134	0.356**	0.365**	-0.073	0.192	-0.412**	0.162	0.233
NH <sub>3</sub> -N	0.094	-0.039	0.045	-0.255	-0.067	0.174	-0.21	-0.241

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

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 水量时空变化

对三口水系径流量分析(图 2), 结果显示 2016 年至 2020 年荆江三口总入湖径流量为 328.59 亿 m<sup>3</sup>, 其中松滋河 > 藕池河 > 虎渡河, 分别占总入湖径流量的 52.86%、37.27%和 9.87%。2016~2020 年三口河道和枝城流

量见图 3，三口河道流量和枝城流量具有同步性，这与朱勇辉等[13]研究多年来不同阶段枝城流量与荆江三口分流量之间的相关关系结论一致。三口入湖水量主要集中在 5~10 月，水量占三口入湖总水量的 92.77%，是其他月份总水量的 12.83 倍。

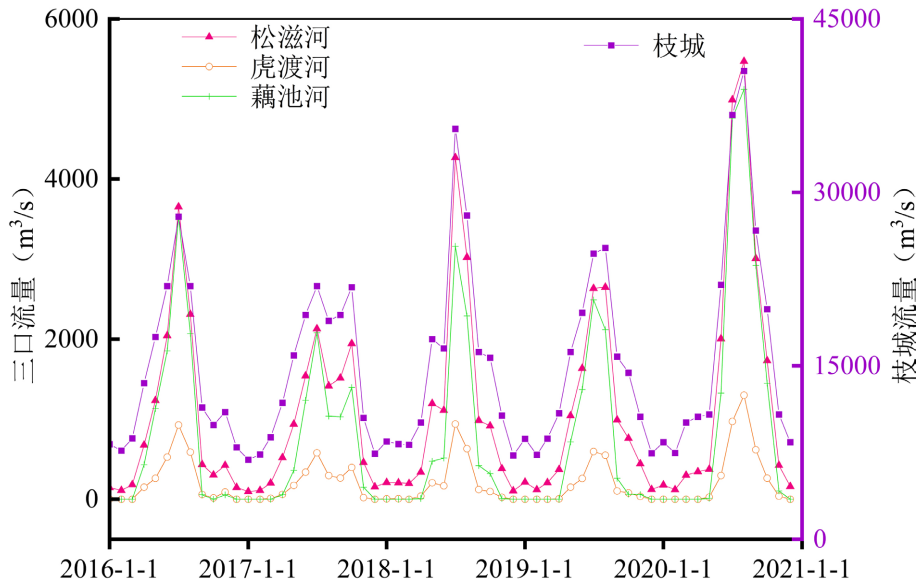


Figure 2. Three Outlets in the Jingjiang reach and Zhicheng station flow  
图 2. 荆江三口河道和枝城流量

### 3.2. 三口入湖通量随时间的变化

图 3 分别为松滋河、虎渡河和藕池河污染物通量和长江干流枝城站径流量各月变化趋势。由图可见，2016~2020 年枝城径流量年内分布不均，汛期流量偏大明显，各断面水量年际分布不完全一致。

采用上述算法计算三口水系入湖通量，2016 年 4 月~2020 年三口水系主要污染物总计入湖通量 COD<sub>Mn</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N 分别为  $63.11 \times 10^4$ 、 $2.54 \times 10^4$ 、 $6.25 \times 10^4$  t，月平均入湖通量分别为  $1.13 \times 10^4$ 、 $4.54 \times 10^2$ 、 $1.12 \times 10^3$  t。三口水系污染物统计特征值见表 5。

Table 5. Characteristic value of pollutant annual flux of the Three Outlets from 2016 to 2020  
表 5. 2016~2020 年三口污染物年通量特征值

项目		松滋河		虎渡河		藕池河	
		数值	年份	数值	年份	数值	年份
总磷年通量/(10 <sup>3</sup> t)	平均值	3.366	—	0.572	—	1.150	—
	最小值	2.678	2019	0.400	2019	0.704	2019
	最大值	4.326	2016	0.799	2020	1.800	2020
氨氮年通量/(10 <sup>3</sup> t)	平均值	7.359	—	1.768	—	3.365	—
	最小值	5.021	2019	0.986	2019	1.917	2019
	最大值	10.157	2020	2.668	2020	5.212	2020
化学需氧量年通量/(10 <sup>3</sup> t)	平均值	77.301	—	15.479	—	33.445	—
	最小值	60.364	2017	12.366	2019	24.373	2017
	最大值	128.179	2020	23.183	2020	55.500	2020

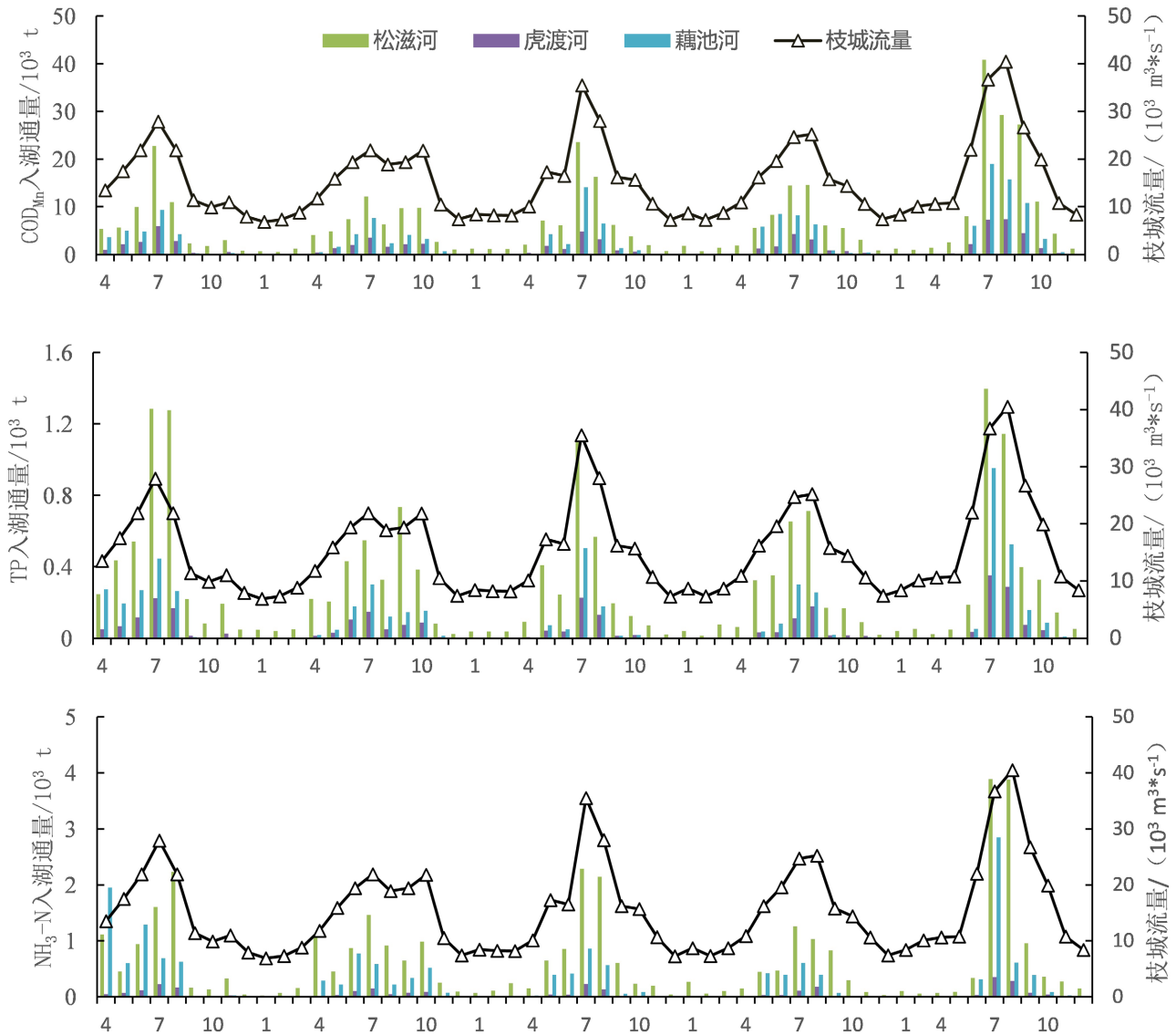


Figure 3. Comparison of Zhicheng flow and the Three Outlets pollutants entering the Dongting Lake  
图 3. 枝城流量与三口污染物入湖通量对比

主要污染物  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$  入湖通量与枝城流量(三峡下泄流量)呈显著正相关, Spearman 相关系数分别为 0.950、0.901 和 0.851, 从污染物通量变化趋势分析, 枯水期受三峡大坝控泄, 三口水系入湖污染物通量较低, 进入汛期后入湖通量随即增大, 7、8 月份达到最高值。

从污染物通量年际变化来看(图 4、表 5), 除松滋河总磷最大年通量出现在 2016 年外, 其余各水系污染物最大年通量时间均为 2020 年, 其主要是受水量影响, 分析三口河道年度过流量发现, 2016~2020 年三口水系各年度过流量分别占时间段内总过流量的 18.52%、16.52%、18.05%、16.15%和 30.76%。在排除 2020 年度来水明显偏大导致污染物通量明显增加的情况, 对各年污染物通量变化趋势进行对比发现, 三口水系 TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$  入湖通量的变化趋势逐渐减小;  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  入湖通量总体呈上升趋势, 但按 Spearman 秩相关系数检验, 变化趋势无显著差异。

### 3.3. 污染物通量空间变化趋势

统计 2016~2020 年三口监测断面逐月监测数据, 按不同分期进行分析, 其中汛期为 5~10 月、其余各月为非

汛期。由图 5 可知,非汛期  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  平均浓度平均值大于汛期,TP 平均浓度则相反。 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  平均浓度非汛期大于汛期,可能多受周边城镇排污影响,非汛期三口河道过流量小,部分河段出现断流状态,污染物富集在河道导致浓度升高。

总磷可以分为颗粒态磷和溶解态磷,长江磷以颗粒态为主,受泥沙影响显著[14],且长江干流含沙量与流量呈显著正相关[15],进入汛期,三口水系过流量加大,是出现 TP 浓度升高的原因,表征三口水系 TP 浓度汛期大于非汛期。

比较 2016~2020 年,监测期(整个监测时段)、汛期、非汛期三口水系污染物入湖贡献率(图 6)。污染物入湖通量松滋河 > 藕池河 > 虎渡河。在监测期,松滋河入湖主要污染物占比最大 58.90%~66.15%,虎渡河占比最小为

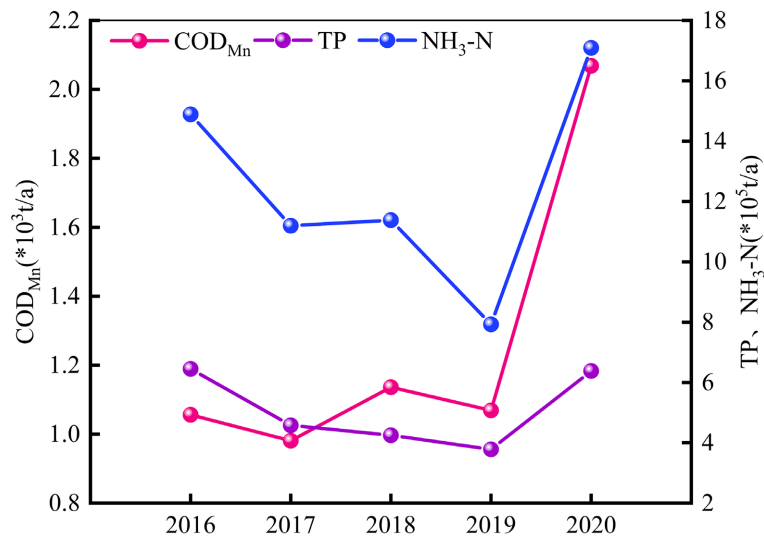


Figure 4. Interannual variation of pollutant flux into the Dongting Lake

图 4. 污染物入洞庭湖通量年际变化

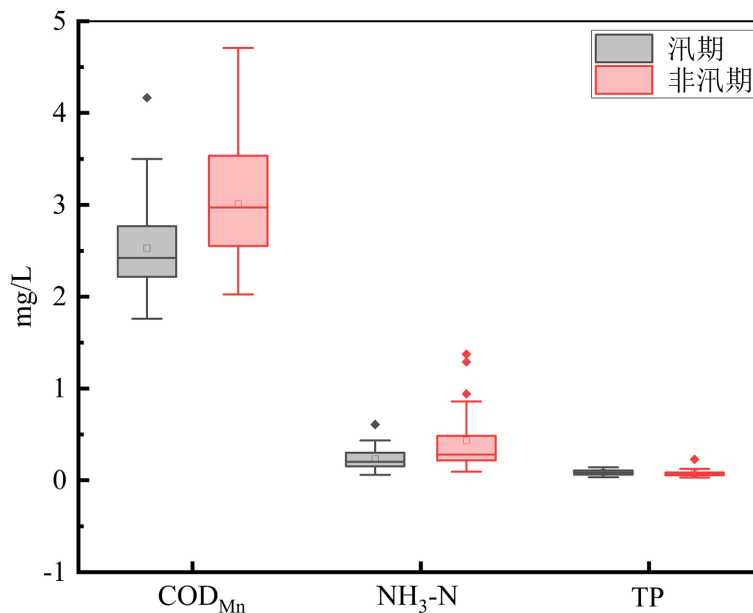


Figure 5. Distribution characteristics of main pollutants in water-division period

图 5. 主要污染物分水期分布特征



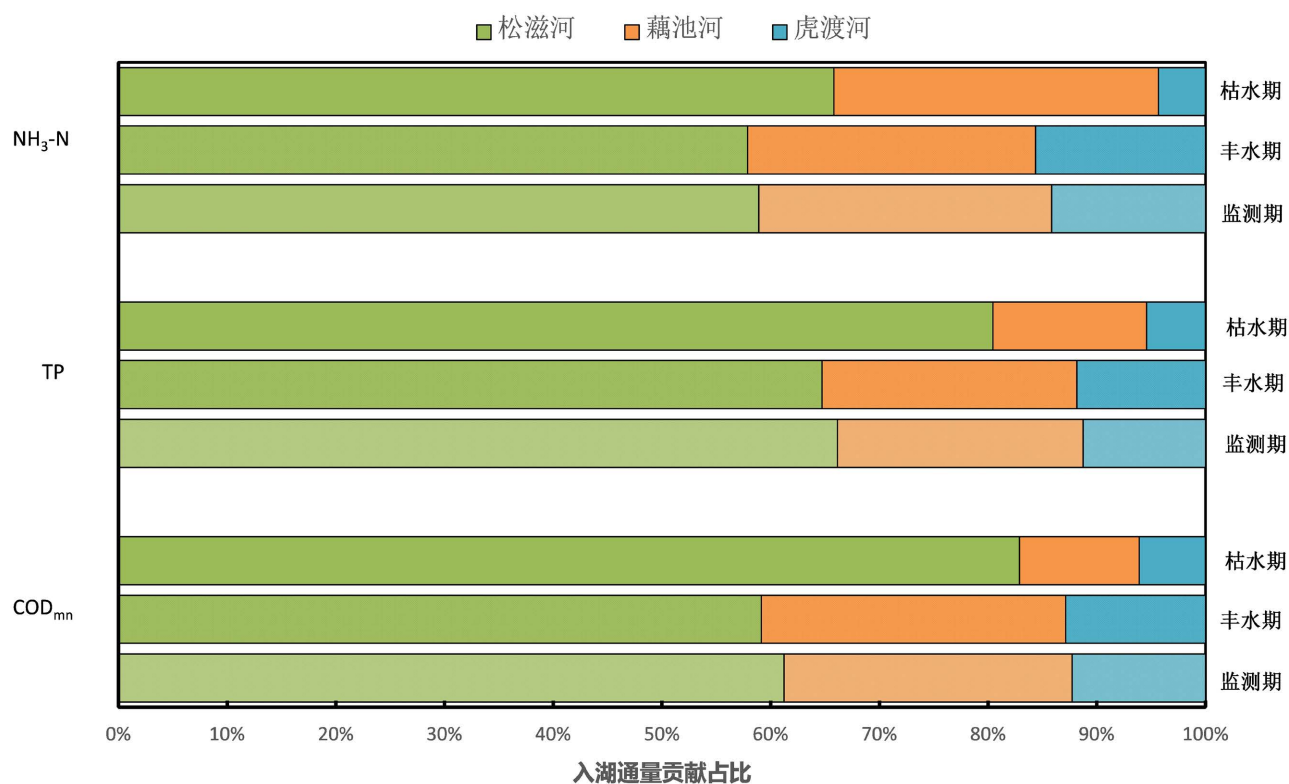


Figure 6. Spatial composition of flux from the Three Outlets to the lake from 2016 to 2020

图 6. 2016~2020 年三口入湖通量的空间组成

11.24%~14.16%。汛期，相较整个监测时段，三口入湖污染物贡献率松滋河占比略有减少，占比减少了 1.03%~2.10%，除藕池河的氨氮贡献率同步减小了 0.44%外，其他污染物虎渡河和藕池河贡献率占比略有增大。非汛期，相较整个监测时段，松滋河污染物贡献率占比提升明显，提升了 6.91%~21.66%，藕池河氨氮贡献率也提升了 2.93%，其余占比均为减小。非汛期松滋口入湖污染物贡献率增加可能与太平口、藕池口个别月份断流有关。

#### 4. 结论

1) 2016~2020 年荆江三口河流水体水质总体状态良好，I~III 类水年均比例为 83.3%~94.4%，年际变化无明显差异。季节变化上，汛期(5~10 月)水质优于非汛期。

2) 对 2016~2020 年荆江三口断面的水量与水质数据进行相关关系分析，结果表明水体主要以非点源污染为主或点源与非点源复合污染的情况，根据该现象找到更准确的污染物通量计算公式。

3) 2016 年至 2020 年荆江三口总入湖径流量为 328.59 亿  $m^3$ ，其中松滋河 > 藕池河 > 虎渡河，分别占总入湖径流量的 52.86%、37.27%和 9.87%。2016 年 4 月~2020 年(缺 2020 年 2 月)三口总入湖通量  $COD_{Mn}$ 、TP、 $NH_3-N$  分别为  $63.11 \times 10^4$ 、 $2.54 \times 10^4$ 、 $6.25 \times 10^4$  t，月平均入湖通量分别为  $1.13 \times 10^4$ 、 $4.54 \times 10^2$ 、 $1.12 \times 10^3$  t。

4) 2016~2020 年期间荆江三口水系  $COD_{Mn}$  和  $NH_3-N$  平均浓度非汛期 > 汛期，可能与非汛期河道过流量减小小污染物浓度富集有关。TP 浓度平均值汛期 > 非汛期，主要与颗粒态磷含量有关。三口水系污染物入湖通量松滋河 > 藕池河 > 虎渡河，非汛期相较整个监测时段，松滋河污染物贡献率占比提升明显，提升了 6.91%~21.66%，藕池河氨氮贡献率也提升了 2.93%，其余占比均为减小。非汛期松滋口入湖污染物贡献率增加可能与太平口、藕池口个别月份断流有关。

## 参考文献

- [1] 卢金友, 罗恒凯. 长江与洞庭湖关系变化初步分析[J]. 人民长江, 1999, 30(4): 24-26.  
LU Jinyou, LUO Hengkai. A preliminary analysis of the changes in the relationship between the Yangtze River and Dongting Lake. Yangtze River, 1999, 30(4): 24-26. (in Chinese)
- [2] 彭玉明, 段文忠, 陈永华. 荆江三口变化及治理设想[J]. 泥沙研究, 2007(6): 59-65.  
PENG Yuming, DUAN Wenzhong and CHEN Yonghua. Changes of the three ports of Jingjiang and assumptions on governing it. Journal of Sediment Research, 2007(6): 59-65. (in Chinese)
- [3] 魏轩, 刘瑜, 胡家彬. 三峡水库试验性蓄水后荆江三口分流变化[J]. 人民长江, 2020, 51(8): 99-103.  
WEI Xuan, LIU Yu and HU Jiabin. Variation of the three outlets of the Jingjiang River after the experimental impoundment of the Three Gorges Reservoir. Yangtze River, 2020, 51(8): 99-103. (in Chinese)
- [4] 许全喜, 胡功宇, 袁晶. 近 50 年来荆江三口分流分沙变化研究[J]. 泥沙研究, 2009(5): 1-8.  
XU Quanxi, HU Gongyu and YUAN Jing. Study on the change of the three streams of Jingjiang River in the past 50 years. Journal of Sediment Research, 2009(5): 1-8. (in Chinese)
- [5] 蔡佳, 王丽倩, 陈建湘, 等. 西洞庭湖入湖河流磷的污染特征[J]. 环境科学研究, 2018, 31(1): 70-78.  
CAI Jia, WANG Lijqing, CHEN Jianxiang, et al. Characteristics of phosphorus pollution in rivers entering the West Dongting Lake. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(1): 70-78. (in Chinese)
- [6] CHEN, X., MCGOWAN, S., XU, L., ZENG, L. and YANG, X. Effects of hydrological regulation and anthropogenic pollutants on Dongting Lake in the Yangtze floodplain. Ecohydrology, 2016, 9(2): 315-325. <https://doi.org/10.1002/eco.1637>
- [7] 汪梦琪, 汪金成, 王琪, 等. 洞庭湖区平水期浮游生物群落结构特征及富营养化现状[J]. 生态学杂志, 2018, 37(8): 2418-2429.  
WANG Mengqi, WANG Jincheng, WANG Qi, et al. Structural characteristics and eutrophication status of plankton community in Dongting Lake area during flat water period. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(8): 2418-2429. (in Chinese)
- [8] 严广寒, 殷雪妍, 汪星, 等. 长江三口-西洞庭湖环境因子对浮游植物群落组成的影响[J]. 中国环境科学, 2019, 39(6): 2532-2540.  
YAN Guanghan, YIN Xueyan, WANG Xing, et al. Effects of environmental factors on the composition of phytoplankton community in the third estuary of the Yangtze River and the West Dongting Lake. China Environmental Science, 2019, 39(6): 2532-2540. (in Chinese)
- [9] 彭保发, 陈哲夫, 李建辉, 等. 基于 GF-1 影像的洞庭湖区水体水质遥感监测[J]. 地理研究, 2018, 37(9): 1683-1691.  
PENG Baofa, CHEN Zhefu, LI Jianhui, et al. Remote sensing monitoring of water quality in Dongting Lake area based on GF-1 images. Geographical Research, 2018, 37(9): 1683-1691. (in Chinese)
- [10] 田泽斌, 王丽婧, 李小宝, 等. 洞庭湖出入湖污染物通量特征[J]. 环境科学研究, 2014, 27(9): 1008-1015.  
TIAN Zebin, WANG Liqian, LI Xiaobao, et al. Characteristics of pollutant flux into and out of Dongting Lake. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(9): 1008-1015. (in Chinese)
- [11] 富国. 河流污染物通量估算方法分析(I)——时段通量估算方法比较分析[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 1-4.  
FU Guo. Analysis of flux estimation methods of river pollutants (I)—Comparative analysis of flux estimation methods in time periods. Research of Environmental Sciences, 2003, 16(1): 1-4. (in Chinese)
- [12] WEBB, B. W., PHILLIPS, J. M., et al. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme. Science of the Total Environment, 1997, 194-195(1): 379-389.  
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(96\)05377-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(96)05377-6)
- [13] 朱勇辉, 郭小虎, 李凌云. 2020 年汛期荆江三口分洪能力及洞庭湖出流变化[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 210-215.  
ZHU Yonghui, GUO Xiaohu and LI Lingyun. Flood diversion capacity of the three Jingjiang River outlets and changes in outflow from Dongting Lake during the flood season in 2020. Yangtze River, 2020, 51(12): 210-215. (in Chinese)
- [14] 周建军, 张曼, 李哲. 长江上游水库改变干流磷通量, 效应与修复对策[J]. 湖泊科学, 2018, 30(4): 865-880.  
ZHOU Jianjun, ZHANG Man and LI Zhe. Dams altered Yangtze River phosphorus and restoration countermeasures. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(4): 865-880. (in Chinese)
- [15] 徐慧娟, 黎育红, 孙燕. 长江宜昌水文站流量, 含沙量和悬移质粒度关系[J]. 长江流域资源与环境, 2006(A01): 110-115.  
XU Huijuan, LI Yuhong and SUN Yan. The relationship between flow, sediment content and suspension particle size at the Yichang Hydrological Station of the Yangtze River. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006(A01): 110-115. (in Chinese)