

河流污染物输送对巢湖水质影响研究

毛光君¹, 杨丽标¹, 晏维金², 雷 坤^{1*}

(1.中国环境科学研究院河流与河口海岸带创新基地, 国家环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012; 2.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:研究采用零维模型,以Ⅲ类水为控制目标,对巢湖 COD_{Mn}、TP、NH₃-N 的水环境容量进行了估算,同时研究了入湖支流污染物输送对巢湖水质的影响。结果表明,Ⅲ类水质目标下巢湖 COD_{Mn}、TP、NH₃-N 的水环境容量分别为 6.21×10⁴、0.04×10⁴、0.85×10⁴ t·a⁻¹。COD_{Mn} 年均背景储量为 3.17×10⁴ t·a⁻¹,占巢湖水环境容量的 51%,而 TP 与 NH₃-N 年均背景储量均大于其水环境容量。因此,在Ⅲ类目标水质下,巢湖仅允许有 COD_{Mn} 的排放,且年均允许排放量为 3.04×10⁴ t·a⁻¹。入湖支流每年向巢湖输送 COD_{Mn} 4.56×10⁴ t、TP 0.25×10⁴ t、NH₃-N 5.15×10⁴ t,其中 COD_{Mn} 年均输送总量小于其水环境容量,但大于允许排放量。因此,入湖支流污染物的输送会加剧巢湖水质恶化,削减支流污染物排放成为控制巢湖水质恶化的关键途径。

关键词:巢湖;水环境容量;入湖支流;污染物输送

中图分类号:X524 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)01-0141-07 doi:10.11654/jaes.2014.01.018

The Influence of Pollutant Inputs from the Major Tributaries on Water Quality of Chao Lake

MAO Guang-jun¹, YANG Li-biao¹, YAN Wei-jin², LEI Kun^{1*}

(1.Chinese Research Academy of Environmental Sciences, State Environmental Protection Key Laboratory of Estuarine and Coastal Environment, Beijing 100012, China; 2.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The tributaries of a lake have great impacts on its water quality. In this study, water environmental capacities of COD_{Mn}, TP, and NH₃-N in Chao Lake were calculated using the zero-dimension model based on the national level Ⅲ water quality standard. At the same time, the influence of pollutant inputs from the major tributaries of Chao Lake on its water quality was assessed. Results showed that water environmental capacities of COD_{Mn}, TP, and NH₃-N in Chao Lake were 6.21×10⁴ t·a⁻¹, 0.04×10⁴ t·a⁻¹, and 0.85×10⁴ t·a⁻¹, respectively. The background load of COD_{Mn} accounted for 51% of its water environmental capacity, but that of TP and NH₃-N all exceeded their water environmental capacity. To meet the standards for the national level Ⅲ water quality, Chao Lake can receive only 3.04×10⁴ t·a⁻¹ of COD_{Mn}, but no more TP or NH₃-N. Annual inputs to Chao Lake from its major tributaries were estimated to be about 4.56×10⁴ t COD_{Mn}, 0.25×10⁴ t TP, and 5.15×10⁴ t NH₃-N, all greater than their allowable inflow loads. Therefore, it would be critical to reduce pollutant inflow into Chao Lake from its tributaries for improving Chao Lake water quality.

Keywords: Chao Lake; water environment capacity; tributary; pollutant inputs

我国湖泊总面积约 1200 万 hm², 占国土面积的 0.8%, 湖泊水质直接影响我国整体水质状况^[1-2]。伴随

我国社会经济的发展,大量污染物输入湖泊,使湖泊水体遭受严重污染。目前,我国约 90%的湖泊处于高中营养化状态^[3],虽然在湖泊生态恢复、水质改善等方面已经做了大量的研究治理工作,但鉴于污染现状依然严峻,湖泊治理仍将是我国政府长期规划解决的难点问题之一。

我国自“六五”规划至今一直强调并大力支持湖泊污染治理,并取得了一定成果^[4-6]。然而,湖泊水质状

收稿日期:2013-05-14

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07526-005);科技支撑项目“渤海陆源入海通量测算与总量控制技术”(2010BAC69B02)

作者简介:毛光君(1988—),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为环境规划与管理。E-mail: junjun.1988.10@163.com

* 通信作者:雷 坤 E-mail: leikun@craes.org.cn

当水库水质处于平衡状态时, $V \frac{dC}{dt} = 0$, 则式(1)

转换为:

$$Q_i C_i - Q_e C - kCV = 0 \quad (2)$$

由式(2)得出, 当 $C=C_s$ 时(C_s 为有机污染物的水质标准), 水库的最大水环境容量 W 为:

$$W = Q_i C_i - Q_e C_s + k C_s V \quad (3)$$

2.1.2 TP、NH₃-N 水环境容量模型

为了避免使用单一模型对研究结果造成的误差, 本研究分别采用 Dillon 与合田健营养盐模型对 TP、NH₃-N 水环境容量进行了估算^[16], 以二者计算均值作为巢湖最终水环境容量。

(1) Dillon 模型:

$$W = ZAC_s(Q_i/V)(1-R) \quad (4)$$

式中: Z 为湖泊平均水深, m; R 为氮、磷的滞留系数, $R = 1 - Q_e/Q_i$; A 为湖区水域面积, km²。其他符号含义同上。

(2) 合田健模型:

$$W = C_s ZA(Q_i/V + 10/Z) \quad (5)$$

式(5)中各符号含义同上。

2.1.3 模型参数值

水质模型中的参数是指物理、化学、生物过程中的常数。本研究在计算巢湖水环境容量时涉及 COD_{Mn} 的降解系数。目前, 国家重点治理的“三湖”中, 滇池和太湖 COD_{Mn} 的降解系数已基本清楚。如研究表明, 滇池草海与外海水域 COD_{Mn} 的降解系数^[5]分别为 0.23、0.005 3 d⁻¹; 太湖入湖河网 COD_{Mn} 降解系数^[6]范围为 0.07~0.1 d⁻¹。然而, 巢湖 COD_{Mn} 的降解系数至今未见详细报道。考虑到巢湖水体滞留时间较长, 水质可概化为完全均匀混合, 本研究采用实测值反推法对巢湖 COD_{Mn} 降解系数进行了反推算^[17]。

$$k = \frac{p\Delta t - m\Delta t + W_0 - W_t}{\Delta t W_0} \quad (6)$$

式中: $p\Delta t$ 为 Δt 时段内流入湖泊的污染物数量, t; $m\Delta t$ 为 Δt 时段内流出湖泊的污染物数量, t; W_0 为初始时间湖泊中污染物数量, t; W_t 为时段末湖泊中污染物数量, t。

本文根据 2005 年安徽省水文局提供的巢湖 COD_{Mn} 年负荷总量(其他年份未见 COD_{Mn} 年负荷量数据)、巢湖水质及出水量数据推算出 COD_{Mn} 的降解系数约为 0.013 d⁻¹。由于巢湖水体 COD_{Mn} 的降解系数至今未见详细报道, 尚无法借鉴其他研究对本计算结果进行校对。然而,《全国水环境容量核定技术指南》^[18]指

出, 当湖库水质为 V 类或劣 V 类时 COD_{Mn} 降解系数大致介于 0.01~0.03 d⁻¹ 之间。2002—2008 年巢湖水质处于 V 类或劣 V 类(巢湖污染物浓度数据见 3.2), 因此我们认为以 $k=0.013$ d⁻¹ 对巢湖 COD_{Mn} 水环境容量进行估算具有可行性。

水环境容量计算用到的其他重要参数为巢湖库容、年入湖及出湖水量、平均水深。本文巢湖年均水深、库容及出水量为实际监测数据, 巢湖入湖水量采用流域内降雨量乘以流域径流系数方法得到。2002—2008 年巢湖流域每月降雨量见图 2。由安徽省水文局提供的巢湖多年平均入湖水量(48×10^8 m³)及流域多年平均降雨量(1100 mm)估算得到巢湖流域径流系数约为 31%, 最终计算得到 2002—2008 年巢湖每年入湖水量(表 2)。

另外, 本文以Ⅲ类水为目标水质对巢湖 3 种污染物水环境容量进行了估算, 因此 COD_{Mn}、TP、NH₃-N 对应的 C_s 取值分别为 6.00、0.05、1.00 mg·L⁻¹ (GB 3838—2002)^[19]。

2.2 入湖河流污染物输送通量

研究采用国际常用的平均值法, 基于目标污染物

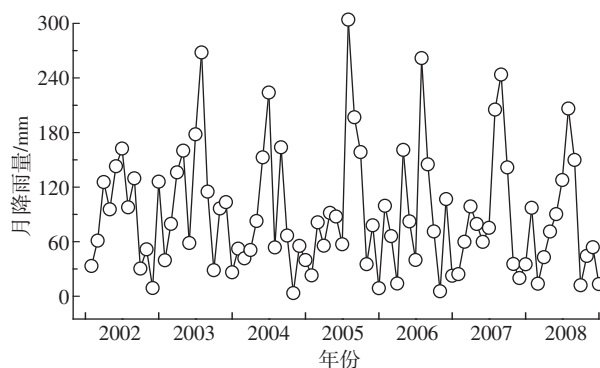


图 2 巢湖流域 2002—2008 年每月降雨量

Figure 2 Monthly rainfall in the Chao Lake watershed during 2002—2008

表 2 巢湖库容及年入、出湖水量(2002—2008 年)

Table 2 Storage capacity, input and output quantity of water in Chao Lake(2002—2008)

年份	水位/ m	水深/ m	库容/ 10 ⁸ m ³	流域年降雨量/ 10 ⁸ m ³	入湖水量/ 10 ⁸ m ³	出湖水量/ 10 ⁸ m ³
2002	9.0	2.6	18.2	151	46.9	23.3
2003	8.9	2.5	17.9	183	56.8	28.2
2004	8.7	2.5	17.5	140	43.5	21.5
2005	8.8	2.5	17.9	167	51.9	25.7
2006	8.8	2.5	17.8	152	47.4	23.5
2007	9.0	2.7	18.3	153	47.5	23.5
2008	8.9	2.5	18.2	131	40.6	20.2

的年均浓度与入湖水量估算入湖河流污染物输送通量^[20-21]。其计算公式为:

$$F(t) = C_{\text{年平均}} \times Q_{\text{年总量}} \times r \quad (7)$$

式中: $C_{\text{年平均}}$ 为目标污染物的年平均浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $Q_{\text{年总量}}$ 为入湖总水量, m^3 ; r 为单位换算系数。

由于8条支流入湖总径流量占巢湖总入湖水量的90%以上,以这8条河流污染物浓度均值代替入巢湖河流的污染物浓度 $C_{\text{年平均}}$,入湖总水量作为 $Q_{\text{年总量}}$,由流域年降雨量乘以径流系数得到(表2)。

3 结果与分析

3.1 巢湖污染物水环境容量

在选择模型和进行模型参数估算后,以Ⅲ类水为目标水质,计算得到巢湖2002—2008年 COD_{Mn} 水环境容量为 $(6.21 \sim 6.74) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,采用偏安全估计,取最小值,则 COD_{Mn} 水环境容量为 $6.21 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。Dillon 与合田健模型的计算得到巢湖 TP 水环境容量分别为 $(0.04 \sim 0.06) \times 10^4$ 、 $(0.06 \sim 0.07) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,二者计算结果无显著性差异,采用偏安全估计,取最小值,即巢湖 TP 水环境容量为 $0.04 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。同样,Dillon 与合田健模型的计算得到巢湖2002—2008年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量分别为 $(0.85 \sim 1.20) \times 10^4$ 、 $(1.17 \sim 1.35) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,同样采取偏安全估计,取最小值,巢湖 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量为 $0.85 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

在相同目标水质条件下,巢湖 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 3种污染物水环境容量值与其他湖泊相比表现出不同的比例范围。如杨文龙等^[6]的研究表明,滇池外海目标水质为Ⅲ类时,不同水位条件下,采用完全混合湖泊非保守污染水质模型 $[W = C_s(Q + kV)]$ 计算 COD_{Mn} 水环境容量,当 COD_{Mn} 降解系数为 0.0053 d^{-1} 时, COD_{Mn} 的水环境容量高达 $(1.65 \sim 2.80) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,当采用 Vollenweider 模型 $[W = S \times A \times Z(\sigma + Q/V)]$ 计算 TP 水环境容量,当 TP 降解系数为 0.0062 d^{-1} 时,TP 水环境容量介于 $(58 \sim 97) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间。新疆博斯腾湖在25%~90%水位频率下,水质保持在Ⅲ类时,采用二维水质模型计算 COD_{Mn} 与 TP 水环境容量,当 COD_{Mn} 的降解系数为 0.264 a^{-1} , COD_{Mn} 水环境容量介于 $(0.46 \sim 0.63) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,当 TP 降解系数为 1.377 a^{-1} 时,TP 水环境容量却高达 $(0.08 \sim 0.12) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[6]。均说明在相同水质目标下,选用不同的水环境容量计算模型与降解系数对于水环境容量计算结果影响很大。另外,湖泊类型和污染状况不同也可能导致污染物水环境容量出现差异^[22]。

3.2 巢湖污染物背景储量计算

水环境容量是在设计条件下目标水体理论上的纳污能力。在判断湖泊是否能允许污染物排放时,首先要明确湖泊在目标年污染物的背景储量。背景储量指的是湖泊现状所容纳的污染负荷。研究于2002—2008年每月连续对巢湖塘西湖区、十五里河湖区、派河湖区、忠庙湖区、兆河口湖区、一水厂取水口湖区6个样点的 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度进行监测(图1)。以6个监测点每月污染物浓度均值作为巢湖整个湖区的月浓度值。7年间巢湖 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化范围分别为 $4.14 \sim 13.14$ 、 $0.07 \sim 0.44$ 、 $0.09 \sim 3.71 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,均值分别为 5.63 、 0.26 、 $2.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图3)。3种污染物均在秋、冬两季表现出较高浓度值,而各年度之间污染物浓度没有明显差异。7年内巢湖整体水质维持在Ⅳ至劣Ⅴ类,且主要污染物为 TP 与 $\text{NH}_3\text{-N}$,表现为营养盐类污染。

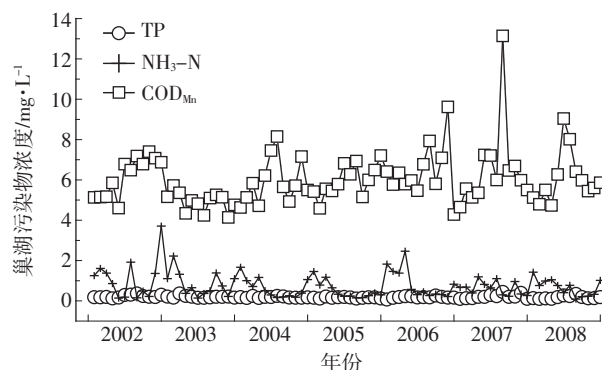


图3 巢湖2002—2008年 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 月浓度变化

Figure 3 Monthly concentrations of COD_{Mn} , TP, and $\text{NH}_3\text{-N}$ in Chao Lake during 2002—2008

结合巢湖库容数据(表2)得到巢湖2002—2008年 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年度背景储量分别介于 $(2.69 \sim 3.77) \times 10^4$ 、 $(0.10 \sim 0.14) \times 10^4$ 、 $(1.14 \sim 1.60) \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。则 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年均背景储量分别为 3.17×10^4 、 0.12×10^4 、 $1.34 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。与其对应的水环境容量相比, COD_{Mn} 年均背景储量占巢湖水环境容量的51%,而 TP 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 年均背景储量均大于水环境容量。因此,在Ⅲ类目标水质下,巢湖仅允许有 COD_{Mn} 的排放,且 COD_{Mn} 的年均允许排放量为 $3.04 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3.3 入湖河流污染物输送通量对巢湖水质影响

巢湖污染物大部分直接来源于环湖支流输送,然而入湖河流的污染物输送通量对巢湖水质污染到底有多大贡献至今仍未明确。本文估算了入湖河流污染

物输送通量,并依此定量分析了河流污染物输送对巢湖水质的影响。2002—2008年甘埠河、店埠河、十五里河、兆河、南淝河、杭埠河、派河、丰乐河8条主要入湖支流 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 月浓度变化见图4。数据表

明, COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化范围分别为 2.2~75.2、0.01~3.61、0.01~163.00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (图4), 均值分别达到 (8.57 ± 7.38) 、 (0.59 ± 0.68) 、 $(8.08\pm 16.35)\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其中, 杭埠河与丰乐河污染程度较轻, 水质常年为Ⅲ类水;

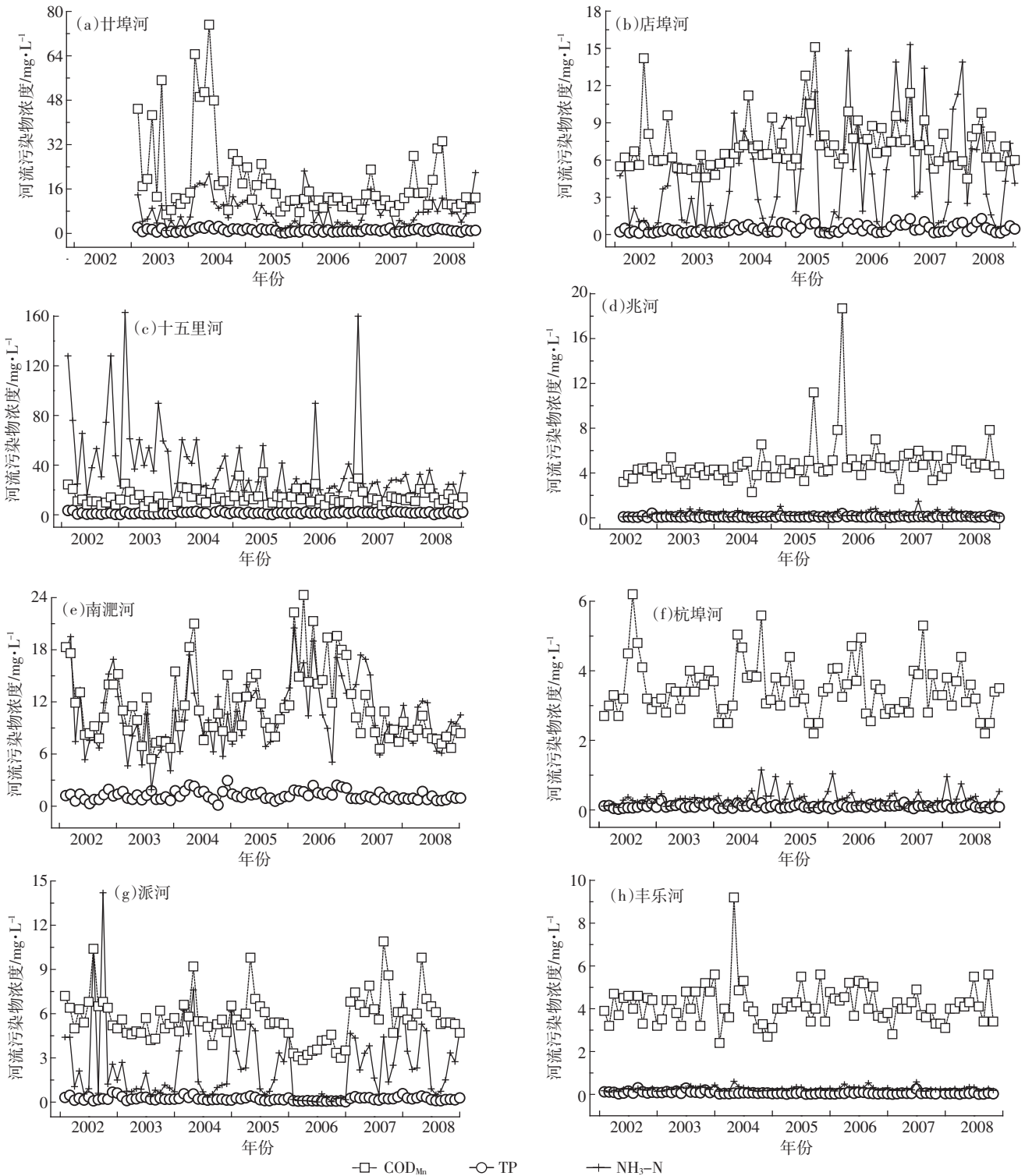


图4 8条支流2002—2008年 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 月浓度变化

Figure 4 Monthly concentrations of COD_{Mn} , TP, and $\text{NH}_3\text{-N}$ in eight tributaries during 2002 and 2008

其他6条支流污染严重,水质处于Ⅳ至劣Ⅴ类之间。8条支流3种污染物入湖浓度年均值及年入湖总水量见表3。由式(7)估算出2002—2008年 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年输送总量分别为 $(3.97\sim 5.16)\times 10^4$ 、 $(0.21\sim 0.30)\times 10^4$ 、 $(4.88\sim 6.08)\times 10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ (表3),则 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年均入湖总量分别为 4.56×10^4 、 0.25×10^4 、 $5.15\times 10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

表3 8条支流污染物入湖年均浓度及其输送年通量

Table 3 Annual mean concentrations and inputs of pollutants entering Chao Lake

年份	污染物入湖年均浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			入湖总水量/ $\times 10^8\text{ m}^3$	污染物输送通量/ $\times 10^4\text{ t}$		
	COD_{Mn}	TP	$\text{NH}_3\text{-N}$		COD_{Mn}	TP	$\text{NH}_3\text{-N}$
2002	8.96	0.52	10.4	46.9	4.20	0.24	4.88
2003	9.09	0.52	10.7	56.8	5.16	0.30	6.08
2004	9.28	0.49	10.46	43.5	4.04	0.21	4.55
2005	9.62	0.5	10.72	51.9	4.99	0.26	5.56
2006	9.94	0.51	10.76	47.4	4.71	0.24	5.10
2007	10.24	0.53	11.08	47.5	4.86	0.25	5.26
2008	9.78	0.55	11.33	40.6	3.97	0.22	4.60
均值	9.56	0.52	10.78	47.8	4.56	0.25	5.15

COD_{Mn} 年均入湖总量是巢湖允许排放量的1.5倍,远远大于巢湖允许排放量,而TP与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的背景储量已大于Ⅲ类水条件下巢湖水环境容量,入湖河流污染物输送会加剧巢湖水质的恶化。因此,为治理巢湖污染,必须在环湖支流流域范围内控制点源与面源污染,削减河流污染源。

4 讨论

巢湖每月污染物浓度监测数据显示,截止2008年巢湖整体水质维持在Ⅳ至劣Ⅴ类。本文未收集到2009—2010年巢湖每月水质监测数据,但中国水环境质量公报数据显示,至2010年巢湖水质未达到“十一五”规划目标要求。因此,巢湖污染治理仍将是今后的重点关注课题。

不少学者对巢湖入湖河流污染物输送通量进行了定量研究^[9]。但这些研究往往只是定性描述河流污染物输送对巢湖水环境容量的影响。河流污染物输送通量是否超出巢湖的承受能力,二者的定量关系如何,目前仍未见相关研究报道。本文同时计算了入湖河流 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的输送通量及对应的巢湖水环境容量,定量分析了二者的响应关系,为识别治理巢湖污染的关键途径提供了有效信息。从本文的研究结果看, COD_{Mn} 年均入湖总量已远远大于巢湖允

许排放量,而TP与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的背景储量已大于Ⅲ类水条件下巢湖水环境容量,入湖河流污染物输送会加剧巢湖水质的恶化。因此,对巢湖的入湖污染物输送来源进行分析具有重要意义。本文未对巢湖流域点源污染物排放量进行统计,无法判断陆源和点源污染物贡献比例。有研究已经表明,巢湖N、P的面源入湖量分别占全湖输入量的74%和68%。因此,在点源排放逐渐得到控制的条件下,如何采取更有效措施进一步削减面源污染将是今后巢湖治理面临的关键问题。

另外,本文河流污染物输送通量可能过高反映了流域面源贡献。首先,文中计算河流污染物入湖通量时没有考虑河流输送过程中污染物的滞留问题。已有的研究已经表明,36%~76%的陆源氮在河流输送过程中被滞留,约60%的陆源性磷在河道中发生沉积滞留, COD_{Mn} 在河流中的滞留量也相当可观。而本文并未对污染物的河流滞留量进行估算,这在一定程度上高估了河流输送通量对巢湖水环境容量的影响。其次,监测数据显示,除丰乐河、兆河外,其他6条河流 COD_{Mn} 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均浓度很高,从侧面反映出次级流域内点源或者混合源排放对河流水质有较大影响,因此河流污染物入湖通量较高不能片面归责于面源贡献。

5 结论

以零维湖/库模型和Ⅲ类水为控制目标计算得到巢湖 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量分别为 6.21×10^4 、 0.04×10^4 、 $0.85\times 10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,只允许 COD_{Mn} 排放,允许的 COD_{Mn} 排放量为 $3.04\times 10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的背景储量均大于Ⅲ类水质目标下的环境容量,背景储量对巢湖水质影响较大。 COD_{Mn} 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年均入湖总量分别为 4.56×10^4 、 0.25×10^4 、 $5.15\times 10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。 COD_{Mn} 年均入湖总量远大于巢湖允许排放量。而TP与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的背景储量已大于Ⅲ类水条件下巢湖水环境容量,入湖河流污染物输送通量会加剧巢湖水质的恶化。另外,陆源污染物输送也对巢湖水质影响较大,应进一步加强陆源污染控制。由于没有考虑河流对污染物的滞留及次级流域内点源和混合源排放对河流的影响,本文在一定程度上可能高估了河流污染物输送对巢湖水环境的影响。

参考文献:

- [1] 董晓丹,周琪,周晓东.我国河流湖泊污染的防治技术及发展趋势

- [J]. 地质与资源, 2004, 13(1):26-29.
- DONG Xiao-dan, ZHOU Qi, ZHOU Xiao-dong. Technology and development of pollution prevention and treatment on rivers and lakes in China[J]. *Geology and Resources*, 2004, 13(1):26-29.
- [2] 刘润堂, 许建中, 冯绍元, 等. 农业面源污染对湖泊水质影响的初步分析[J]. 中国水利, 2002, 6:1-5.
- LIU Run-tang, XU Jian-zhong, FENG Shao-yuan, et al. Analysis of impact of non-point pollution from agriculture to lake water quality[J]. *China Water Resources*, 2002, 6:1-5.
- [3] 刘兆德, 虞孝感, 王志宪. 太湖流域水环境污染现状与治理的新建议[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4):465-473.
- LIU Zhao-de, YU Xiao-gan, WANG Zhi-xian. The current water pollution of Taihu drainage basin and the new management proposals[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(4):465-473.
- [4] 兰国辉. 我国水环境容量研究概述[J]. 科技信息, 2010, 25:150-166.
- LAN Guo-hui. Review of water environment capacity in China[J]. *Science & Technology Information*, 2010, 25:150-166.
- [5] 杨文龙, 杨常亮. 滇池水环境容量模型研究及容量计算结果[J]. 云南环境科学, 2002, 21(3):20-23.
- YANG Wen-long, YANG Chang-liang. Dianchi water environment capacity model research and calculation results[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2002, 21(3):20-23.
- [6] 罗 缙, 逢 勇, 罗清吉, 等. 太湖流域平原河网区往复流河道水环境容量研究[J]. 河海大学学报, 2004, 32(2):144-146.
- LUO Jin, PANG Yong, LUO Qing-ji, et al. Study on water environmental capacity for reversing current channels in plain river network region in Taihu Lake basin[J]. *Journal of Hehai University*, 2004, 32(2):144-146.
- [7] 张 帆, 徐建新, 徐晨光. 辽宁省典型流域水环境容量计算与分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5):231-234, 237.
- ZHANG Fan, XU Jian-xin, XU Chen-guang. Calculation and analysis of the water environment capacity for the typical watershed in Liaoning Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(5):231-234, 237.
- [8] 刘 凌, 崔广柏. 湖泊水库水体氮、磷允许纳污量定量研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(6):1053-1058.
- LIU Ling, CUI Guang-bai. Waste load allocations of the nitrogen and phosphorus in lake and reservoir[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(6):1053-1058.
- [9] 储 茵, 夏守先. 丰乐河污染输出特征研究[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(3):476-482.
- CHU Yin, XIA Shou-xian. Characteristics of pollutant export from Fengle River[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2009, 36(3):476-482.
- [10] YAN Wei-jin, ZHANG Shen, SUN Pu, et al. How do nitrogen inputs to the Changjiang basin impact the Changjiang River nitrate: A temporal analysis for 1968-1997[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17:1091.
- [11] YAN Wei-jin, Mayorca E, LI Xin-yan, et al. Increasing anthropogenic nitrogen inputs and riverine DIN exports from the Changjiang River basin under changing human pressures[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24:GB0A06.
- [12] 殷福才, 张之源. 巢湖富营养化研究进展[J]. 湖泊科学, 2003, 15(4):377-384.
- YIN Fu-cai, ZHANG Zhi-yuan. Survey of Chaohu Lake eutrophication research[J]. *Journal of Lake Science*, 2003, 15(4):377-384.
- [13] 王 睿. 巢湖流域水环境质量评价与水质预测模型研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- WANG Rui. Study on models for assessing and predicting water quality of the Chao Lake[D]. Hefei: Hefei Industrial University, 2006.
- [14] 王宝贞. 水污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- WANG Bao-zhen. Water pollution control[M]. Beijing: High Education Press, 1990.
- [15] 李卫平, 李畅游, 王 丽, 等. 不同数学模型下的乌梁素海水环境氮磷容量模拟计算[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊):379-385.
- LI Wei-ping, LI Chang-you, WANG Li, et al. Analog calculation of nitrogen and phosphorus capacities in Wuliangsuhai water environment under different mathematic models[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl):379-385.
- [16] 王玉敏, 周孝德, 李家科. 湖泊水环境容量迭加计算方法研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6):108-112.
- WANG Yu-min, ZHOU Xiao-de, LI Jia-ke. The research on water environment capacity in Lake-Taking Bosten Lake as an example[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(6):108-112.
- [17] 方子云. 水资源保护手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
- FANG Zi-yun. Water resources protection manual[M]. Nanjing: Hehai University Press, 1988.
- [18] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[S]. 北京: 2003.
- Chinese Academy for Environmental Planning. National water environmental capacity verification manual[S]. Beijing: 2003.
- [19] 国家环保总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002 全国地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC. GB 3838-2002, Surface water environmental quality standard[S]. Beijing: Environmental Science Press, 2003.
- [20] 王卫平, 洪华生, 张玉珍, 等. 九龙江污染物入海通量初步估算[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2):45-47, 57.
- WANG Wei-ping, HONG Hua-sheng, ZHANG Yu-zhen, et al. Preliminary estimate for the contaminations fluxes from Jiulong River to the sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(2):45-47, 57.
- [21] Mostar F, Meybeck M. Compared performances of different algorithms for estimating annual nutrient loads discharged by the eutrophic River Loire[J]. *Hydrological Processes*, 2005, 9:429-444.
- [22] 黄留芳, 刘臣辉, 范海燕. 基于 SMS 软件的不同类型湖泊水质特征分析[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(5):37-40.
- HUANG Liu-fang, LIU Chen-hui, FAN Hai-yan. Water quality analysis of different types of lakes based on SMS[J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2010, 17(5):37-40.