

# 三峡水库对长江 N、P 营养盐截留效应的模型分析<sup>\*</sup>

张恩仁 张 经

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

**提 要** 在长江流域干、支流 N、P 营养盐现场观测资料的基础上, 利用模式分析的方法分析了三峡水库对上游营养盐的截流效应. 三峡水库投入使用后, 发育出的水库生态系统可将上游输入的 2%-7%溶解态无机氮和 13%-42%的溶解态无机磷固定于浮游生物中, 库区水体中生物有机碳总量可保持在  $0.84 \times 10^9$ - $2.65 \times 10^9$  mol 的范围. 相应地, 三峡工程可减缓长江下游及长江口区的富营养化趋势, 但却在一定程度上加剧了长江中、下游营养盐 N/P 比上升的趋势.

**关键词** 三峡水库 营养盐 模型分析

**分类号** P343.3

长江径流输送是中国东海陆源物质最主要的来源, 输入东海的溶解态物质通量约为  $1.78 \times 10^8$ - $2.00 \times 10^8$  t/a<sup>[1,2]</sup>, 因此, 长江径流携带的化学物质总量以及物质成分的改变都将对东中国海乃至西北太平洋生态系统产生重要的影响. 和三峡工程有关的水、沙以及生态、环境和健康等问题都深为人们所关注, 特别是有关库区泥沙的淤积问题在三峡工程的论证阶段已进行了深入的计算<sup>[3]</sup>. 但是有关三峡工程对长江溶解态物质通量的影响还缺乏较深入的研究. 在河流上的筑坝工程能显著降低溶解态硅向海洋的输送通量<sup>[4]</sup>, 但有关这种截流作用在多大程度上能调节径流中营养盐组分的输送仍需要针对具体的河流进行研究. 在全球范围内营养元素 N、P 向海岸带的输送量分别增加了 2.5 倍和 2 倍<sup>[5]</sup>, 这种增加趋势在长江流域也不例外. 长江宜昌上游河段 N、P 营养元素的输送通量占整个流域输送通量的 50%和 35%<sup>[6]</sup>, 因此, 三峡工程建成后, 发育出的生态系统对上游输入的溶解态营养盐的固定及其库区的拦沙作用将影响 N、P 营养盐向下游的输送通量. 本文利用一个简单的模型, 在长江干流及其各支流营养盐现场观测资料的基础上, 对即将建成的三峡水库调节 N、P 营养元素的输出进行分析, 并讨论水库对长江 N、P 入海通量的截留效应.

## 1 模型的基本方程及其数值解的获得

考虑长江三峡库区中营养元素 N 和 P. 水库蓄水后, 水库生态系统开始发育, 库区中浮游植物光合作用将水体中的溶解无机 N (DIN) 和溶解态无机 P (DIP) 转化为颗粒有机态 N 和 P. 对于淡水生态系统中的浮游生物, 其特征 C:N:P=(100-110):(10-20):1, 取平均值为 C:N:P=105:16:1, 因此库区水体光合固碳过程中 N、P 的消耗与有机碳的生成之间的计量关系式可用下式来加以描述:

<sup>\*</sup> 国家杰出青年基金 (49525609) 资助项目.

2002-04-07 收稿; 2002-12-24 收修改稿. 张恩仁, 男, 1969 年生, 讲师, 博士生.

$$16N + P \rightarrow 105C \quad (1)$$

式中, N、P 和 C 分别表示库区水体中的 DIN、DIP 营养盐和生物有机碳。

在非 N 限制和非 P 限制的情况, 大量的室内和现场营养盐加富实验都表明 N 或 P 营养盐浓度的增大都将提高水体中浮游植物的光合固碳速率, 在诸如光照等其他因素一定的条件下, 光合固碳过程消耗 N、P 营养盐的速率和生成有机碳的速率当取决于水体中 N、P 营养盐的水平的高低. 光合固碳速率随营养盐浓度的增大而增大的趋势, 即光合固碳过程消耗 N、P 营养盐的速率随营养盐浓度增大而增大的表观系数  $k$  会因为水体生态系统的不同而有较大的差别,  $k$  值的大小及变化当与生态系统中浮游生物的种群结构, 库区气候和光照条件以及库区水体的水化学性质等有关,  $k$  值越大, 光合固碳过程消耗 N、P 营养盐的速率亦越大. 作为一级近似, 可以用线性响应关系来描述光合固碳过程消耗 N、P 营养盐的速率以及有机碳的生成速率与营养盐浓度的关系. 再考虑到营养盐向库区的输入和 N、P 和有机碳向水库下游的输出, 即得到图 1 所示的系统模式.

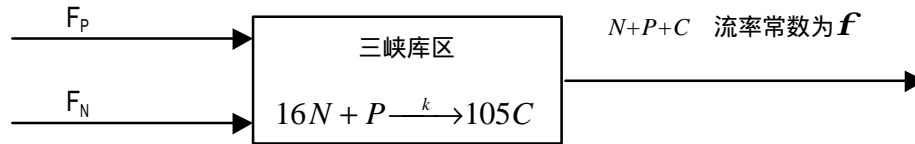


图 1 三峡库区营养盐收支及转化模式

Fig. 1 The model of nutrient budget and carbon fixation in the Three-Gorge Reservoir

需要指出的是, 图 1 为一简化了的一级近似模型, 实际上在水库水体中还存在着悬浮泥沙对溶解态营养盐的吸附以及浮游生物的死亡分解释放营养盐的过程等, 要对这些过程加以考虑, 需要用到与三峡水库相关的泥沙吸附—解吸动力学资料以及库区细菌等分解者资料, 但这些资料目前还无法获得. 本文的模型中只考虑了库区水体中光合固碳过程对 N、P 营养盐的吸收利用, 实际上其他影响库区水体中营养盐形态转化的过程在一定程度上都综合反映在水体中光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  的变化上, 因此本文以消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  作为可调参数, 据此得到的模式输出结果当能从整体上反映出三峡水库将对长江 N、P 营养盐的输送产生的影响.

根据图 1, 三峡库区水体中溶解态无机 N、溶解态无机 P 和生物有机 C 三种组分随时间的变化用如下的微分方程组来描述.

$$\begin{cases} \frac{\partial P(t)}{\partial t} = F_P - kP(t) \cdot N(t) - fP(t) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial N(t)}{\partial t} = F_N - 16kP(t) \cdot N(t) - fN(t) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial C(t)}{\partial t} = 105kP(t) \cdot N(t) - fC(t) \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $F_N$ 、 $F_P$  分别为水库上游 N、P 营养盐向库区的输入速率,  $k$  为库区水体生态系统光合固碳速率随 N、P 营养盐浓度变化的表观系数,  $f$  为库区向下游物质输出的流率系数, N 和 P 分别表示溶解态无机 N 和溶解态无机 P, C 表示生物有机碳. 式 (2) 两边乘以 16 减去

式 (3) 并积分得到

$$16P(t) - N(t) = \frac{16F_P - F_N}{f} - \left[ \frac{16F_P - F_N}{f} - (16P_0 - N_0) \right] \cdot e^{-ft} \quad (5)$$

将式 (5) 中的  $N(t)$  代入式 (2) 中, 并令

$$f(t) = k \cdot \left\{ \frac{16F_P - F_N}{f} - \left[ \frac{16F_P - F_N}{f} - (16P_0 - N_0) \right] \cdot e^{-ft} \right\} - f, \text{ 可得到迭代式}$$

$$P_{n+1} = \frac{(\Delta t \cdot f(t) - 1) + \sqrt{(\Delta t \cdot f(t) - 1)^2 + 4 \times 16k \cdot \Delta t \cdot (P_n + \Delta t \cdot F_P)}}{2 \times 16k \cdot \Delta t} \quad (6)$$

用式 (6) 求溶解态 P 与时间 t 的关系.

同样的处理方法, 将式 (5) 中的  $P(t)$  代入式 (3) 中, 并令

$$f'(t) = k \cdot \left\{ \frac{16F_P - F_N}{f} - \left[ \frac{16F_P - F_N}{f} - (16P_0 - N_0) \right] \cdot e^{-ft} \right\} + f, \text{ 可得到迭代式}$$

$$N_{n+1} = \frac{-[1 + \Delta t \cdot f'(t)] + \sqrt{[1 + \Delta t \cdot f'(t)]^2 + 4k \cdot \Delta t \cdot (N_n + \Delta t \cdot F_N)}}{2\Delta t \cdot k} \quad (7)$$

用式 (7) 求溶解态 N 与时间 t 的关系.

式 (2) 两边同乘 105 加上式 (4), 积分得到

$$C(t) = \frac{105F_P}{f} - \left[ \frac{105F_P}{f} - (105P_0 + C_0) \right] \cdot e^{-ft} - 105P(t) \quad (8)$$

利用求出的溶解态 P 与时间 t 的关系和 (8) 式即可求库区浮游生物量 C 与时间 t 的关系.

当  $\Delta t$  取微小量时, 利用式 (6)、(7) 和 (8) 可得到库区水体中溶解无机氮、溶解无机磷和生物有机碳随时间变化的近似解.

## 2 模型参数的确定及其输出结果的讨论

### 2.1 库区营养盐的输入速率 $F_N$ 、 $F_P$

三峡库区中的营养盐主要由上游的干、支流径流输入, 图 2 为长江干流和支流图, 在图中标出了 1997 年 4-5 月在三峡大坝合龙前调查长江流域营养盐背景资料的采样点, 有关样品分析及目前长江流域营养盐水平见文献<sup>[7]</sup>. 由于长江上游过度的人文活动 (毁林、农业耕作等) 造成严重的水土流失及污染物质的排放, 致使目前库区干流中的营养盐浓度显著增高, DIN 和 DIP 可分别高达  $150 \mu\text{M}$  和  $2.5 \mu\text{M}$ , 和其他的中国河流乃至世界河流中的营养盐浓度相比, 这一浓度水平都是很高的<sup>[8]</sup>. 一些支流 (如沱江) 中 DIN、DIP 可分别达到  $400-500 \mu\text{M}$  和  $20 \mu\text{M}$ .

分别达到  $400\text{--}500\ \mu\text{M}$  和  $20\ \mu\text{M}$ .

在水库所在的长江干流河段, DIN 和 DIP 的浓度分别为  $100\text{--}150\ \mu\text{M}$  和  $1.5\text{--}2.5\ \mu\text{M}$ , 占总 N、P 的 70%-90% [7]. 按三峡水库的设计蓄水量为  $395\times 10^8\text{m}^3$ , 营养盐平均浓度计算,

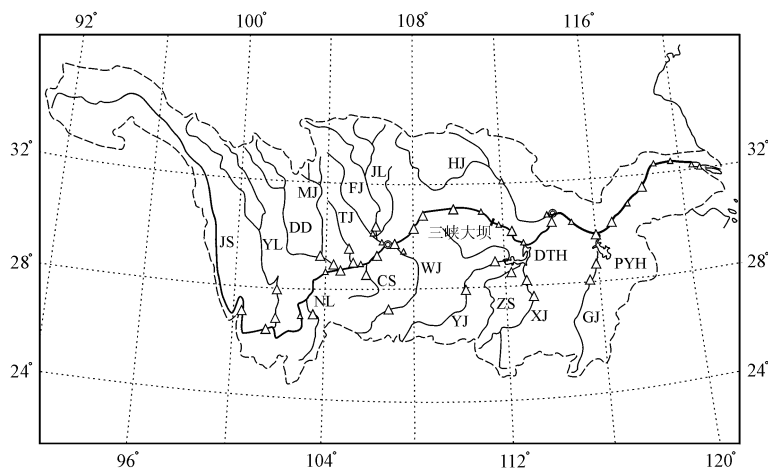


图 2 长江及其流域内的干、支流及三峡坝址

(JS:金沙江; YL: 雅砻江; DD:大渡河; NL: 牛栏江; TJ: 沱江; MJ: 岷江; CS:赤水河; FJ: 涪江; JL: 嘉陵江;

WJ: 乌江; HJ: 汉水; YJ: 沅江; ZS: 资水; XJ: 湘江; GJ: 赣江; DTH: 洞庭湖; PYH: 鄱阳湖;  $\triangle$ 营养盐采样点)

Fig. 2 Sampling sites along the main channel and its tributaries of the Yangtze River Catchments

可得到将来库区中溶解态无机 N、P 的初始总量约为  $4.74\times 10^9\text{mol}$  和  $5.92\times 10^7\text{mol}$ , 根据水库上游各入库干、支流的径流量[3], 可得到上游向水库输入溶解态无机 N、P 的速率  $F_N$ 、 $F_P$  分别为  $1.44\times 10^8\text{mol/d}$  和  $1.79\times 10^6\text{mol/d}$ .

## 2.2 营养盐消耗速率系数 $k$ 和水库输出流率系数 $\phi$

对三峡库区生态系统初级生产速率的估计或数值计算需要结合有关光照强度、水化学参数以及库区地形、地貌学方面的资料进行估计或计算, 这些资料目前还无法有效地获得. 图 3 给出了中国淡水湖泊和主要大型水库生态系统的初级生产量 (PP) 与总无机磷 (TP) 的现场调查结果, 图中数据包括了 31 个淡水湖泊和 8 个大型水库的资料[9], 在一定程度上可作为对三峡库区生态系统光合速率进行估计的参考. 同时图 3 还给出了基于经验公式 (9) 计算得到的一些水库的初级生产量养盐的关系, 公式 (9) 中  $[\text{TP}]_i$  为向库区

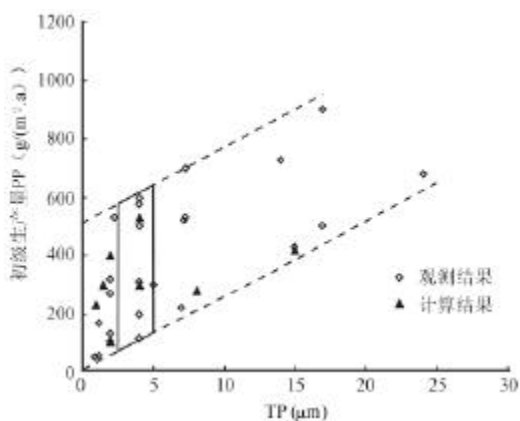


图 3 中国部分湖泊和水库的 TP, PP

Fig.3 TP, PP in some Chinese lakes and reser-

输入的 P 通量,  $T_w$  为水库的冲洗时间<sup>[10]</sup>.

$$\sum C \text{ (g/(m}^2 \cdot \text{a))} = 7 \left[ \frac{([TP]_i / (1 + \sqrt{T_w}))^{0.76}}{0.3 + 0.011([TP]_i / (1 + \sqrt{T_w}))^{0.76}} \right] \quad (9)$$

图 3 显示出现场资料和经验式输出结果基本都分布在图中两条虚线之间的区域. 以当前三峡库区 TP 在 2.5-5.0  $\mu\text{M}$  的范围内变动, 则认为三峡库区光合固碳速率在 65-636g/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) 的范围内变动是合理的 (即图 3 中的平行四边形区域). 考虑到三峡水库的蓄水面积约为 1050 $\text{km}^2$ , 则库区浮游生物的固碳速率约为  $5.7 \times 10^9$ - $5.6 \times 10^{10}$ mol/a, 再结合目前库区河段的溶解无机 N、P 水平可近似确定出库区光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  的变化范围为  $5.0 \times 10^{-13}$  -  $5.0 \times 10^{-12}$   $\text{mol}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ . 式 (10) 为近似估计库区光合固碳速率系数  $k$  的表达式.

$$k = \frac{PP}{105P \cdot N} \quad (10)$$

式 (10) 中的 PP 为光合固碳速率 (mol/d), N 和 P 分别为库区溶解态无机 N 和 P 的量 (mol).

2010 年三峡工程建成后, 水库的蓄水量约为  $395 \times 10^9 \text{m}^3$ , 水库的平均冲洗时间 (即水库的水交换周期) 约为 33d, 据此得到水库向下游输出物质的平均流率系数  $\phi$  约为  $0.03 \text{d}^{-1}$ .

### 2.3 N、P 营养盐及生物有机碳的稳态水平

图 4 为以当前三峡库区溶解态 N、P 营养盐水平和零生物有机碳量为初始态的模式输出结果, 所取营养盐消耗速率系数  $k$  的值近可能反映库区光合固碳能力的变化范围. 结果显示: 系统的弛豫时间为 2-3 个水交换周期, 系统达到稳态所需的时间与光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数的变化关系不大, 但系数  $k$  的变化显著影响着库区水体中的溶解态 N、P 营养盐和生物有机碳水平的高低. 在三峡水库可能的的光合固碳速率变化范围内, 即当光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  在  $5.0 \times 10^{-13} \text{mol}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  到  $5.0 \times 10^{-12} \text{mol}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  的范围内变化时, 稳态时溶解态 N、P 营养盐和生物有机碳的变化范围分别为  $(4.39-4.67) \times 10^9 \text{mol}$ 、 $(3.44-5.16) \times 10^7 \text{mol}$  和  $(0.84-2.65) \times 10^9 \text{mol}$ , 溶解态 N 和 P 的稳态水平随  $k$  值的增大而降低, 生物有机碳的稳态水平随着  $k$  值的增大而增大. 图 5 进一步考查了营养盐消耗速率系数  $k$  的变化对库区溶解态 N、P 营养盐和生物有机碳水平的影响. 假设  $k_1$  段、 $k_2$  段、 $k_3$  段和  $k_4$  段分别具有不同的光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数, 且将前一段的稳态溶解态 N、P 和生物有机碳值作为下一  $k$  变化后的模式计算的初始状态,  $k_1$  段、 $k_2$  段、 $k_3$  段和  $k_4$  段的营养盐消耗速率系数值分别取  $1.0 \times 10^{-12}$ 、 $3.0 \times 10^{-12}$ 、 $5.0 \times 10^{-12}$  和  $1.0 \times 10^{-12} \text{mol}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , 横坐标为在段与段处非连续的时间坐标, 结果表明在营养盐向库区的输入速率和水库的物质输出流率一定的情况下, 库区内营养盐稳态水平的高低取决于库区光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  的大小, 而与前一个稳态水平无关, 且每一  $k$  值对应的稳态 N、P 营养和生物有机碳水平与图 4 中同一  $k$  值对应的稳态 N、P 营养一致. 这一结果表明当库区生态系统的光合固碳消耗 N、P 营养盐的速率系数  $k$  发生变化 (如季节的更替), 库区 N、P 营养盐和生物有机碳将能很快调节到相应的稳态水平. 结合图 4 和图 5 可以看出, 系统中营养盐和有机碳水平变化程度实际上取决于库区光合固碳速率系数的变化程度.

## 2.4 N、P 营养盐的转化

由于三峡水库生态系统的发育,上游输入的溶解态 N、P 营养盐在一定程度上将被浮游生物固定,但其对溶解态 P 营养盐比对 N 营养盐固定的百分率要高.考虑到三峡库区可能的光合固碳速率的变化范围(图 3 中的平行四边形区域),根据本文模式输出的结果可得到三峡水库对溶解态 N 的转化率仅为 2%-7%,而对溶解态 P 的转化率可高达 13%-42%,相应地,库区水体中生物有机碳总量在  $0.84 \times 10^9$ - $2.65 \times 10^9 \text{ mol}$  的范围内变化.

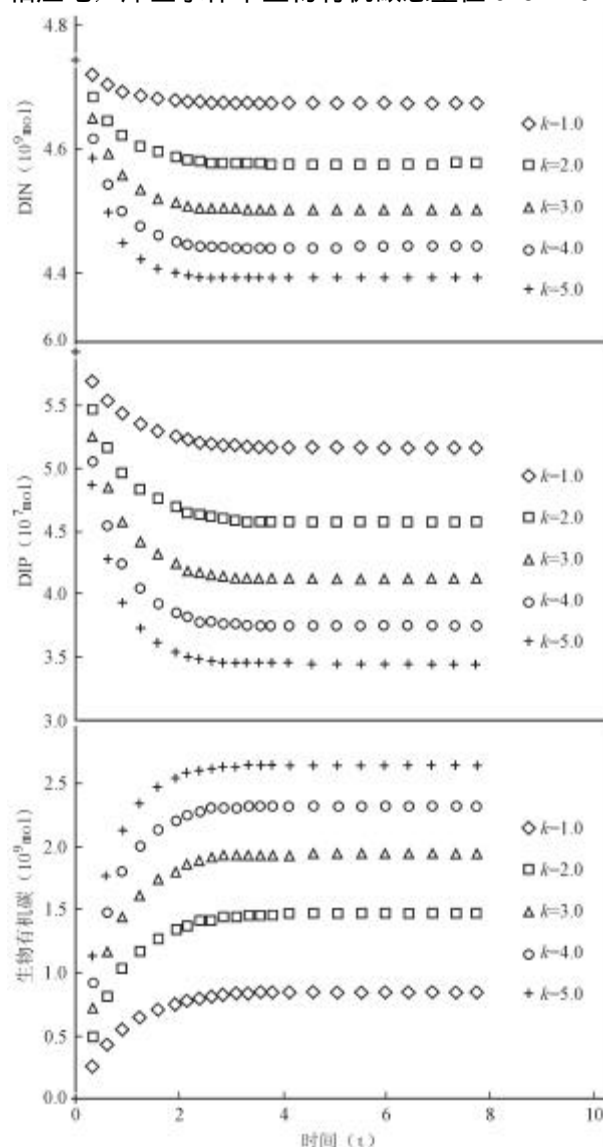


图 4 DIN, DIP 和生物有机碳随时间变化( $T$  为水库的水交换周期,  $k$  的单位:  $10^{-12} \text{ mol}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )

Fig.4 Simulated variations of DIN, DIP and biogenic OC with time( $t$ ) in Three-Gorge Res.

据研究,三峡水库在投入使用的初期 10a,拦沙率可达 70%<sup>[3]</sup>,大量悬沙的沉降过程将使得在库区生成的部分颗粒态 N、P 及由溶解态转化而来的生物有机态 C、N 和 P 被迁移至库区沉积物中,从而对长江上游的 N、P 营养盐产生截留.目前长江宜昌上游河段 N、P 营养元素的输送通量分别占整个流域输送通量的 50%和 35%<sup>[6]</sup>,其中颗粒态 N、P 占总无机态 N、P 的 20%左右,若考虑原有颗粒态无机 N、P 和新生成的颗粒有机态 N、P 按水库拦沙率被库区截留下来,则三峡水库对上游 N、P 营养盐的截留将分别减少长江流域向海输送 N、P 营养盐通量的约 8%-9%和 8%-13%.

## 2.5 对长江口 N/P 比值的影响

现场观测及营养盐加富实验都表明, P 营养盐已成为长江口区生态系统生产力的潜在限制因子<sup>[11,12]</sup>.这和长江输送营养盐的高 N/P 比值有密切关系.根据国家的经济发展规划,长江流域在未来 50 年为满足人口增长每年需要生产近  $1 \times 10^8 \text{ t}$  粮食,潜在的氮肥施用量的增加将可能导致流域营养盐 N/P 比值继续增高.三峡库区上游一些汇入支流(如岷江、沱江、赤水河、大渡河、牛栏江和涪江)亦具有高的 N/P 比值<sup>[7]</sup>,导致目前库区干流河段中 N/P 比值约为 80<sup>[7]</sup>,远高于 Redfield 比值.图 6 为本文模式在不同系数  $k$  时得到的水库输出溶解态 N/P 比,结果表明库

出溶解态 N/P 比, 结果表明库区光合固碳作用能迅速增大水库向下游输出的 N/P 比. 目前长江口水体中 N/P 比值高达 150, 来自上游较低 N/P 的径流对中、下游向 N/P 水体具有一定的稀释缓冲作用, 但随着三峡水库生态系统的发育, 这种对中、下游高 N/P 水体的稀释缓冲作用将被削弱.

## 2.6 存在的问题及模型的有效性

本文在考虑三峡库区 N、P 的形态转化时使用一个简化了的模型, 模型中只考虑了库区浮游植物对 N、P 营养盐的转化这一主要过程, 然而诸如库区水体中悬浮泥沙对溶解态

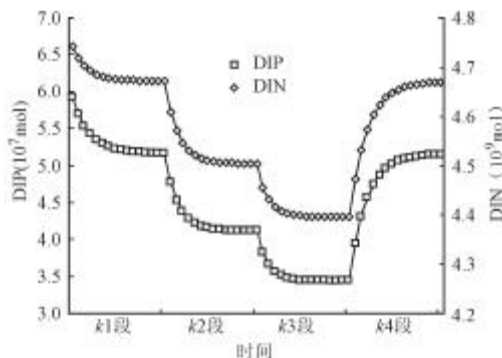


图 5  $k$  改变时的系统特征

Fig.5 System characters with changing  $k$ s

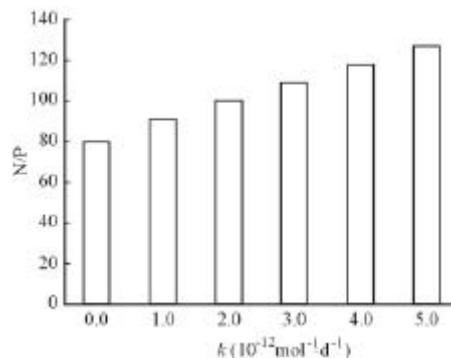


图 6 水库输出的 N/P 与  $k$  的关系

Fig.6 Reservoirs N/P outputs with changing  $k$ s

N、P 吸附以及浮游生物的死亡释放亦对库区 N、P 营养盐水平的调节起到一定作用. 但是由于目前还无法获得关于库区泥沙对 N、P 吸附的动力学资料和库区分解者数据, 况且悬浮泥沙的吸附沉降过程与生物体的死亡分解在调节溶解态 N、P 水平方面是互为相反的过程, 因此只认为光合固碳过程乃是三峡库区转化 N、P 的主要因素. 另外, 在预估三峡水库生态系统的光合固碳速率时, 是在中国其他湖泊和水库的现场观测结果和经验公式计算的基础上考虑三峡水库生态系统光合固碳速率可能的高值和低值, 因此可能会带来较大的误差 ( $\pm 100\%$ ). 尽管这种估计的准确度还有待于进一步验证, 但结果已显示, 三峡水库对上游 N、P 营养盐的截留将可能显著调节着长江流域 N、P 营养盐的入海通量和 N/P 比.

## 3 结语

本文主要根据 1997 年对长江三峡库区上游各汇入支流和干流的 N、P 营养盐的现场观测资料, 采用一个简单的模型分析了三峡水库对上游营养盐的截留效应. 结果表明, 在现有营养盐通量的基础上, 三峡水库蓄水后发育出的水库生态系统可将上游输入的 2%-7% 的溶解无机 N 和 13%-42% 的溶解无机 P 转化为有机颗粒态营养盐, 同时库区生态系统光合固碳能力的增大将增大水库向下游输出的 N/P 比. 因此三峡水库对长江上游 N、P 营养盐的截留将使长江流域向海的 N、P 输出通量减少 10% 左右, 而且将会加剧目前长江中、下游 N/P 增高的趋势.

## 参 考 文 献

- 1 王正方, 阮小正, 姚龙奎. 长江口海域主要溶解物质的运移. 海洋与湖泊, 1985, 16 (3): 222-230

- 2 金翔龙主编. 东海海洋地质. 北京: 海洋出版社, 1992:1-136
- 3 梁栖蓉, 黄煜龄. 三峡水库泥沙淤积预估. 长江科学院院报, 1994, 11 (3): 1-8
- 4 Humborg C, Conley D J, Rahm L, et al. Silicon retention in river basins: Far-reaching effects on biogeochemistry and aquatic food webs in coastal marine environments. *AMBIO*, 2000, 29: 45-50
- 5 Meybeck M. The IGBP water group: a response to a growing global concern. *Global Change Newsletters*, 1998, 36: 8-12
- 6 沈志良. 长江干流营养盐通量的初步研究. 海洋与湖沼, 1997, 28 (5): 522-527
- 7 Zhang J, Zhang Z F, Liu S M, et al. Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration? *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 1099-1105
- 8 Zhang J. Nutrient elements in large Chinese estuaries. *Cont Shelf Res*, 1996, 16: 1023-1045
- 9 金相灿等著. 中国湖泊环境 (第一册). 北京: 海洋出版社, 1995: 234-243
- 10 Canfield D E Jr, Bachmann R W. Prediction of total phosphorus concentrations, chlorophyll a, and Secchi depth in natural and artificial lakes. *Can J Fish Aqua Sci*, 1981, 38: 414-423
- 11 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究: I. 秋季的营养限制情况. 海洋学报, 2000, 22 (4): 60-66
- 12 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究: II. 春季的营养限制情况. 海洋学报, 2001, 23 (3): 57-65

## Analysis of the Three-Gorge Reservoir Impacts on the Retention of N and P in the Yangtze River

ZHANG Enren & ZHANG Jing

*(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, P.R. China)*

### Abstract

On the basis of in-situ nutrients (e.g. N, P) data conveyed in the main channel and tributaries of the Yangtze River, the Three-Gorge Reservoir retention effects on nutrients upstream have been analyzed by a simple model. The model outputs show that the Three-Gorge Reservoir ecosystem would fix 2%-7% dissolved inorganic N and 13%-42% dissolved inorganic P from the upstream, and that the amount of biogenic organic C in the reservoir water would reach  $0.84 \times 10^9$ - $2.65 \times 10^9$  mol. Consequently, the Three-Gorges Reservoir Project would slow down the eutrophication tendency of nutrients in the main channel downstream, while increase N/P ratio in the lower reaches of the Yangtze River to some extent.

**Keywords:** Three-Gorge Reservoir; Yangtze River; nutrients; modeling analysis