

# 洋河水库富营养化限制性因子分析

蔡金榜<sup>1</sup> 李文奇<sup>2</sup> 逢 勇<sup>1</sup> 孙 宇<sup>3</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国水利水电科学研究院水环境研究所, 北京 100038; 3. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要** :以洋河水库 2001 ~ 2005 年的监测资料为基础,运用回归统计方法,选择水温等 8 项环境理化指标与藻类叶绿素 a 进行回归分析。结果显示,总磷、水温、pH 值和透明度与藻类叶绿素 a 呈显著相关,其中总磷和水温是洋河水库富营养化限制性因子。根据 2003 ~ 2005 年水库监测资料,建立多元逐步回归方程,预测水库藻类叶绿素 a 的变化情况。运用该回归方程,计算水库 2001 ~ 2002 年藻类叶绿素 a 变化情况并与实测值作比较,结果表明,该方程能基本预测洋河水库藻类叶绿素 a 的变化趋势。

**关键词** :洋河水库;水体富营养化;限制性因子;多元逐步回归

中图分类号 :X524 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2007)03-0052-04

## Limiting factors of eutrophication in Yanghe Reservoir

CAI Jin-bang<sup>1</sup>, LI Wen-qi<sup>2</sup>, PANG Yong<sup>1</sup>, SUN Yu<sup>3</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Department of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China; 3. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract** :Regression statistical method was used to analyze the relation between chlorophyll-a of alga and eight environmental factors such as water temperature (T) based on the monitoring data in Yanghe Reservoir from 2001 to 2005. The results showed that water temperature (T), total phosphorus (TP), pH and secchi depth (SD) were significantly related factors to algal chlorophyll-a, and TP and water temperature were the limiting factors of eutrophication in Yanghe Reservoir. A stepwise multi-regression statistical model based on the monitoring data from 2003 to 2005 was established to predict the algal chlorophyll-a in Yanghe Reservoir, and the calculated results were compared with monitoring data. The results showed that the model can be used to predict the algal chlorophyll-a in Yanghe Reservoir.

**Key words** :Yanghe Reservoir; water eutrophication; limiting factor; multiple stepwise regression

洋河水库是秦皇岛市重要的饮用水水源地。近年来,随着当地工农业经济的发展,地表径流带入水库的营养盐不断增多,导致在夏季蓝藻大爆发,水库富营养化日益严重,影响了水库的饮用水源功能。因此确定控制洋河水库富营养化发展的主要因素,进而采取相应的、有针对性的措施,对于洋河水库综合整治具有十分重要的意义。目前一般认为氮、磷是影响水库富营养化发展的主要因子,但洋河水库氮、磷浓度相对较高,而且富营养化严重,因此确定洋河水库富营养化的限制因素是一个比较复杂的问题。

### 1 洋河水库富营养化现状

洋河水库位于秦皇岛市抚宁县城北 10 km 处,于 1962 年建成蓄水,控制流域面积 755 km<sup>2</sup>,总库容 3.536 亿 m<sup>3</sup>,兴利库容 1.39 亿 m<sup>3</sup>,是一座以向秦皇岛城市供水为主,兼有防洪、灌溉、养殖、发电等功能的大(II)型水库。水库多年平均蓄水 7500 万 m<sup>3</sup>,多年平均水深 5.7 m<sup>[1-2]</sup>。

20 世纪 80 年代以来,洋河水库富营养化现象日趋严重,每年夏季都有较大规模的以微囊藻为优

势种的“水华”爆发,并产生有毒有害物质,藻类死亡后消耗水中大量溶解氧,恶化水体环境,对水生生物生长极为不利,还会产生异味,同时引起供水能力下降,其水质对人体健康构成潜在威胁。目前,水库水体呈藻浊型富营养化状态,水质属Ⅳ~Ⅴ类<sup>[3]</sup>。

## 2 环境因子对洋河水库的影响

### 2.1 氮磷

叶绿素 a 是浮游植物现存量的重要指标,氮和磷则是浮游植物生长所必需的营养元素,三者之间的相互关系对于确定洋河水库富营养化的限制性因子具有重要意义。本文分别分析了  $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 、 $\rho(\text{TN})$  和  $\rho(\text{TP})$  与叶绿素 a 之间的相关性,如图 1~3 所示。

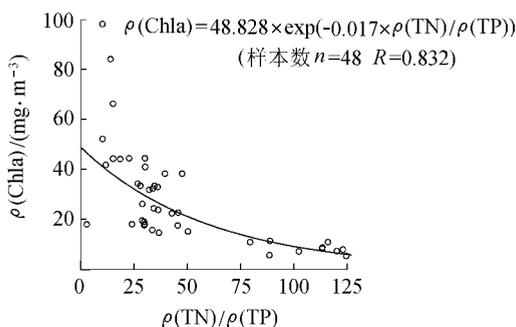


图 1  $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$  与叶绿素 a 质量浓度的关系

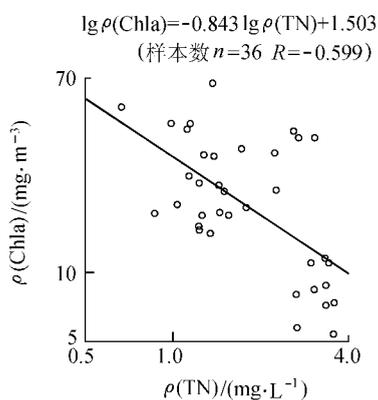


图 2  $\rho(\text{TN})$  与叶绿素 a 质量浓度的关系

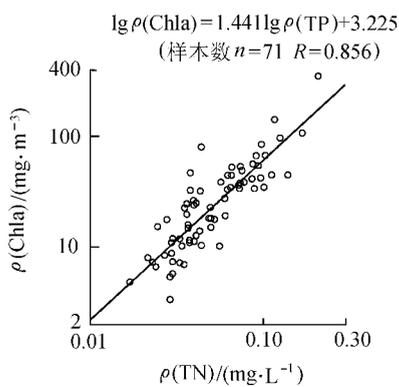


图 3  $\rho(\text{TP})$  与叶绿素 a 质量浓度的关系

通常认为水体氮磷浓度质量比  $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP}) > 14$  时,磷是藻类生长的限制性因子。图 1 表明洋河水库水体  $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$  大多数在 14 以上,且相关系数  $R$  为负,呈显著负相关,由此可见,相对于磷,洋河水库水体中氮的含量比较充足,因此氮对藻类生长的影响较小,而磷的影响会比氮明显。

从图 2 可以看出,洋河水库水体中总氮与叶绿素 a 呈负相关,说明总氮不但不促进藻类生长,反而在一定程度上起到抑制作用。而图 3 表明,洋河水库水体中总磷与叶绿素 a 呈显著正相关,藻类生物量随着总磷浓度的增加而增加。总之,随着洋河水库水体中总磷含量的增高,洋河水库藻类也会显著的增长,因此可以说总磷是洋河水库藻类生长的限制性因子。

### 2.2 水温

藻类的各种生理活动及生化反应都必须要在一定温度条件下才能进行,当温度变化时环境因子也变化,如 pH 值等,环境因子的变化影响藻类的生长发育,因此水温对藻类生长具有重要影响。

根据水库历年水质监测数据,对水库水温  $T$  与叶绿素 a 浓度进行相关性分析,分析结果见图 4。水温与叶绿素 a 呈显著的正相关,随着水温的上升,藻类的生长速度也加快,水温对藻类的生长具有明显的促进作用。洋河水库多年平均日水温过程线如图 5 所示,最高水温  $29.4^\circ\text{C}$ ,最低水温为  $0.9^\circ\text{C}$ ,水库多年平均水温  $13.7^\circ\text{C}$ ,而藻类生长的最佳水温为  $20\sim 30^\circ\text{C}$ ,因此水温是藻类生长的限制性因子。

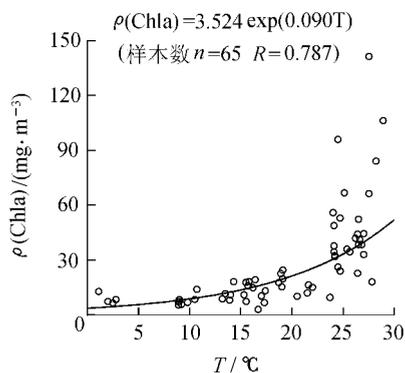


图 4 水温  $T$  与叶绿素 a 质量浓度的关系

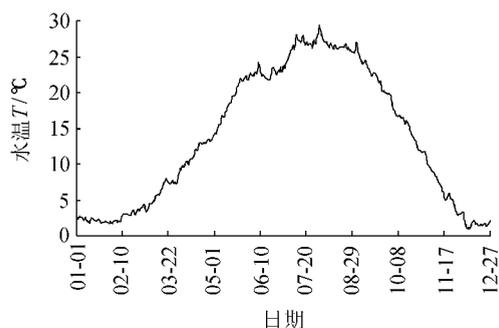


图 5 多年平均日水温过程线

### 2.3 透明度

2001~2002年,洋河水库透明度(SD)变化趋势如图6所示,透明度平均为0.8m,6~11月份其透明度比较小,这与水库夏秋季藻类大量繁殖有关。对透明度与叶绿素a之间的相关关系进行分析后表明(图7),两者呈显著的负相关,相关系数R为-0.792,这说明洋河水库水体透明度主要受水库藻类多少的影响,水库透明度低是水体藻类大量生长的具体表现。

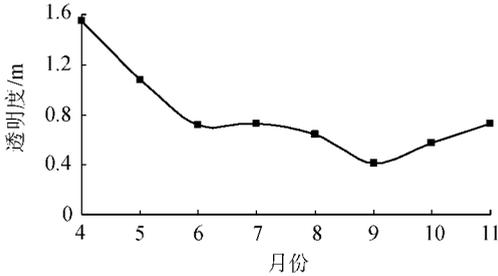


图6 透明度的月平均值

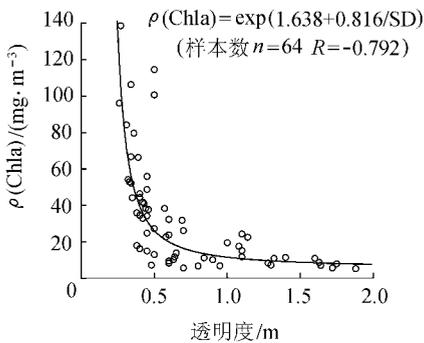


图7 透明度与叶绿素a质量浓度的关系

### 2.4 pH值

2001~2002年洋河水库水体月平均pH值变化如图8所示,水库水全年基本呈弱碱性,pH值在7.3~9.2之间,比较适合藻类生长。其中6~10月份的pH值比较高,这是由于该时期水库藻类大量繁殖所导致的,因为藻类的生长繁殖及进行光合作用需要消耗水中大量的二氧化碳,促进水中的碳酸不断进行分解,从而使水中的pH值增加。

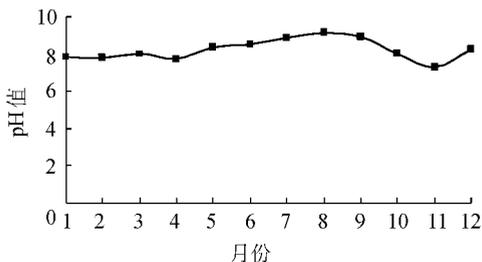


图8 月平均pH值

根据水库历年水质监测数据,对pH值和 $\rho(\text{Chla})$ 进行相关性分析,分析结果见图9。图9表明,洋河水库水体pH值与叶绿素a浓度呈显著正相

关,但是pH值高是藻类大量繁殖的具体表现,不是大量繁殖的原因,因此pH值不可能成为洋河水库浮游植物生长的限制性因子。

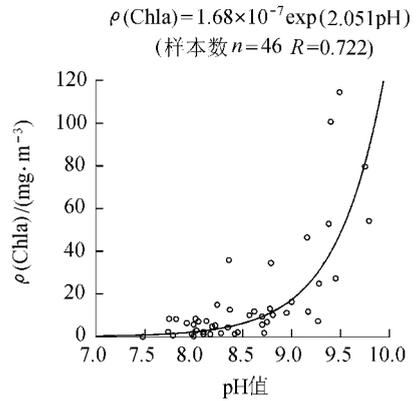


图9 pH值与Chla质量浓度的关系

### 2.5 有机物

洋河水库水体 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 和 $\text{BOD}_5$ 的质量浓度年变化趋势如图10所示, $\text{BOD}_5$ 的变化不大, $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的变化比较大,其中6~10月份比较高,这是由于该时期水库藻类大量繁殖,藻类光合作用时生成大量的有机体,使水体的 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 明显增高。

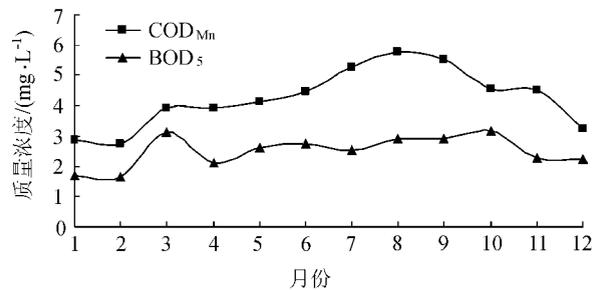


图10 2001~2002年 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 和 $\rho(\text{BOD}_5)$ 月平均值

分别对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 和 $\text{BOD}_5$ 与叶绿素a之间的相关关系进行分析(图11~12),两者与叶绿素a均呈正相关,其中 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 与叶绿素a的相关性较为显著,它们随着叶绿素a的浓度增加而增加,是叶绿素a浓度的被动因子,不是藻类生长繁殖的限制性因子。

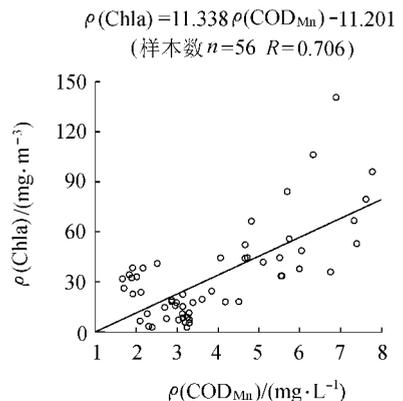


图11  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 与叶绿素a质量浓度的关系

表 1 洋河水库各参数间的相关系数 R

指标	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	透明度	pH 值	T	$\rho(\text{Chla})$
$\rho(\text{TN})$	1.00								
$\rho(\text{TP})$	0.04	1.00							
$\rho(\text{DO})$	-0.07	-0.25	1.00						
$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	-0.56	-0.42	-0.15	1.00					
$\rho(\text{BOD}_5)$	-0.45	-0.12	0.34	0.35	1.00				
透明度	-0.15	0.13	-0.24	0.19	0.34	1.00			
pH 值	-0.66	0.05	-0.15	-0.44	-0.44	-0.14	1.00		
T	0.08	-0.06	0.40	0.12	0.39	0.90	-0.76	1.00	
$\rho(\text{Chla})$	-0.60	0.86	0.67	0.71	0.65	-0.79	0.72	0.79	1.00

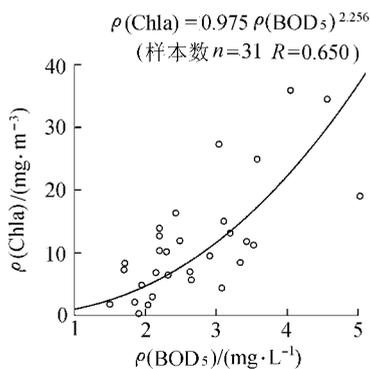


图 12 BOD<sub>5</sub> 与叶绿素 a 质量浓度的关系

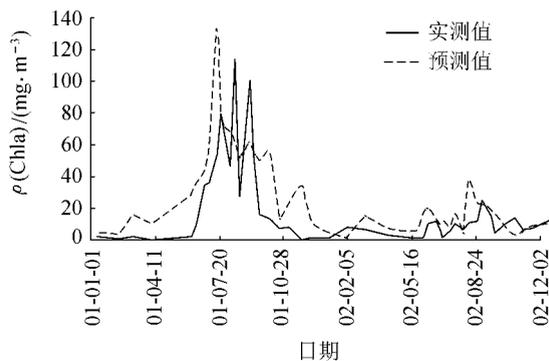


图 13 叶绿素 a 质量浓度实测与预测值比较

## 2.6 各参数间的相关性分析

分别对 TN、TP、Chla 等 9 个参数之间的相关性进行分析,其相关系数如表 1 所示。从表 1 可以看出,叶绿素 a 与总磷呈显著正相关,而与总氮呈负相关,这说明总磷更可能是洋河水库藻类生长的限制性因子。叶绿素 a 与水温呈正相关,说明洋河水库叶绿素 a 有明显的季节性变化。叶绿素 a 与透明度呈负相关,即洋河水库水体透明度随藻类生长繁殖而明显下降。

## 3 洋河水库藻类统计模型的建立及应用

以洋河水库 2003 ~ 2005 年的监测数据为基础,运用多元逐步回归统计方法,选择水温等 8 个环境因子与藻类叶绿素 a 进行逐步回归分析,建立多元逐步回归方程,预测洋河水库藻类生长情况。以 8 个环境因子为自变量,以藻类叶绿素 a 为因变量,将各项数据输入 SPSS 程序<sup>[4]</sup>,进而得出多元逐步回归方程

$$\rho(\text{Chla}) = -111.746 + 22.179\rho(\text{TP}) + 12.258 \times \rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) + 1.746T + 4.690\rho(\text{DO})$$

$$(R = 0.976, n = 40)$$

利用 2001 ~ 2002 年水库实测水质资料,代入回归方程,得出藻类叶绿素 a 的预测值,并与实测值比较(图 13),图 13 表明,虽然统计模型无法模拟风浪和水流等因素对藻类生长的影响,但是还能基本反映水库藻类生长繁殖的趋势。

## 4 结 论

a. 洋河水库水温变化幅度比较大,全年中只有

6 ~ 10 月份的水温大于 20℃,水库藻类呈明显的季节性变化,水温与叶绿素 a 呈显著性正相关,是藻类生长的限制性因子。

b. 洋河水库具有较高的氮磷比,藻类的生长受磷的影响比较大,磷与叶绿素 a 呈显著正相关,是水库富营养化的限制性因子。

c. 洋河水库氮由于严重过剩不仅不能促进藻类生长,反而在一定程度上还起到抑制作用,因此与叶绿素 a 呈负相关。

d. 洋河水库水体 pH 值比较适合藻类生长,不能成为水库富营养化的控制因素。

e. 洋河水库水体透明度与叶绿素 a 呈显著负相关,说明透明度主要受水库藻类多少的影响,水库透明度低是水体藻类大量生长的具体表现。

f. 本文所建立的多元逐步回归方程基本能反映洋河水库藻类的变化趋势。

### 参考文献:

- [1] 李凤彬. 洋河水库富营养化及其渔业利用[J]. 给水排水 2001 27(10): 30-33.
- [2] 李凤彬,戴礼. 洋河水库底泥对富营养化影响的研究[J]. 水资源保护 2003(3): 31-34.
- [3] 董哲仁,周怀东,李文奇. 受损水体修复的生态工程研究与示范[J]. 中国水利 2004(22): 64-66.
- [4] 苏金明. 统计软件 SPSS 12.0 for Windows 应用及开发指南[M]. 北京:电子工业出版社 2004 260-299.

(收稿日期 2005-09-10 编辑 舒 建)