

153-158

## 淀山水环境质量评价及污染防治研究

阮仁良<sup>1</sup> 王云

X524

(华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

**摘要** 从淀山湖环境研究入手, 全面考察湖区点源和非点源污染物的分布及其对湖泊的输入, 分析湖内污染物的动态变化, 采用模糊矩阵复合运算方法对水质进行综合评价, 并建立水质污染预测模型, 进行水质污染趋势分析。最后, 提出了淀山水污染防治的对策和措施。

**关键词**

水环境评价

, 污染防治

, 淀山湖

, 质量

淀山湖位于江苏省和上海市交界处, 是上海市郊最大的湖泊, 也是黄浦江重要的水源地之一。湖泊面积62km<sup>2</sup>, 平均水深2.11m, 最大水深3.59m, 为一平原浅水湖泊。

近年来, 随着《上海市黄浦江上游水源保护条例》的贯彻实施, 沿湖乡镇企业的关、停、并、转, 使入湖的有毒有害物质逐年减少, 但氮、磷等营养物质的入湖量却有增无减。1985年9月, 淀山湖首次爆发大面积的“水华”, 历时达15天之久, 上海境内湖区面积(约47.5km<sup>2</sup>)的90%水面出现绿色被膜。以后, 每年均有不同程度的“水华”现象出现, 以富营养化为特征的水污染状况有加剧的趋势。为进一步改善、保护和合理利用淀山水质, 确保黄浦江水源和太湖水系水质, 恢复和发挥淀山湖的多种功能, 特进行本研究。

## 一、淀山湖污染源调查与评价

## (一) 点污染源调查与评价

根据影响区废水污染源调查, 区内共有55家工业企业污染源, 7个生活污水污染源, 合计日排废水量11356.6t。废水中所含的污染物质十分复杂, 其中COD<sub>Cr</sub>和SS的排放量最大。

等标污染负荷较严重的点污染源( $K_n > 1\%$ )共有12家。其中, 昆山县红旗造纸厂占46.8%为本区最大污染源。等标污染负荷前5名污染物为: COD<sub>Cr</sub>、Cu、SS、硫化物和石油类。其中COD<sub>Cr</sub>占59.2%, 为本区主要污染物。

## (二) 非点污染调查

采用综合监测小区径流实验方法, 求算影响区年污染负荷。根据对淀山湖西岸商榻径流

国家“七五”科技攻关项目《淀山湖富营养化及其防治的研究》(755904060402)和《上海市淀山湖富营养化调查及湖泊生物学评价》(75600201722)。

<sup>1</sup> 现在工作地址: 上海市水文总站, 上海200040。

宋永昌教授提出宝贵意见, 特此致谢。

本文于1991年12月27日收到, 1992年10月17日改回。

实验小区的监测,表明淀山湖湖区污染物流失量较大。悬浮物的单位面积污染负荷年均值高达 $47890\text{kg}/\text{km}^2$ ,总氮和总磷的单位面积污染负荷年均值则分别为 $32276\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $342\text{kg}/\text{km}^2$ 。与国内外同类农业区径流流失量<sup>[1-2]</sup>相比,本区的污染物流失量是较高的。

### (三)直接入湖氮、磷量的分析

对不同污染物入湖途径进行的分析表明(表1),淀山湖氮年总负荷为4278.4t,磷年总负荷为255.5t,氮、磷比为16.74。淀山湖氮、磷主要来自入湖河流,其负荷比分别为71.47%和93.31%;其次为沿岸地表径流,氮、磷负荷比分别为24.19%和4.27%;其他途径污染物入湖量均较小。

表1 淀山湖氮、磷输入量及其负荷比

Tab. 1 The annual input amount and the load ratio of nitrogen and phosphorus in Dianshan Lake

输 入 途 径	输入量(t/a)		负荷比(%)	
	N	P	N	P
主要入湖河道输入	3057.8	238.4	71.47	93.31
沿岸地表径流流失	1034.9	11.0	24.19	4.27
湖面降水输入	135.2	0.6	3.16	0.24
沿岸工厂、饭店排放	2.8	0.1	0.07	0.04
网箱养鱼输入	6.4	1.3	0.15	0.51
行船排放	36.5	3.6	0.85	1.43
游客排放	4.8	0.5	0.11	0.19
总 计	4278.4	255.5	100.00	100.00

## 二、淀山湖水质状况及综合评价

### (一)淀山湖水质变化趋势分析

1988年在湖内布设观测点15个,经对各观测点全年水质监测资料的聚类分析,全湖可划分为四个水质区,且依水质状况从高到低分别为水上运动场区、赵田湖区、东南部出水口区 and 西部进水口区。从时间变化来看,则丰水期(6—9月)水质最好,枯水期(12—2月)各项水质指标持续变差,成为全年水质污染最严重的时期,平水期(3—5月和10—11月)水质状况介于前二者之间,仅总氮和硝态氮略高于枯水期,主要是平水期正值春耕和秋收季节,地表覆盖少,易于受春雨和秋雨冲刷,使大量氮素进入湖内,而此时湖水温度较低,生物吸收少,导致湖内氮指标上升。

湖水质的年度变化主要受入湖污染物数量影响,1988年水质监测结果与1982年、1985年水质资料<sup>①</sup>对比,1985年水质优于1982年,1988年与1985年水质相比,物理性状略有好转,总氮、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{BOD}_5$ 下降明显,大部分项目变化不大,唯总磷上升显著,从1985年的 $0.0685\text{mg}/\text{L}$ 上升到1988年的 $0.090\text{mg}/\text{L}$ 。其原因可能是1985年以来,上游乡镇企业发展,废污水排放量增加,及湖区农业施肥量的增大和禽畜养殖业的发展,使冲刷及排入水体中的营养物质急剧增加所致。

①上海市环境保护局,淀山湖水环境容量和规划方案研究,1985。

## (二)淀山湖水质综合评价

1. 评价参数 进行因子分析,并着重考虑湖泊的营养状态,确定下列8个项目为评价参数:色度、透明度、总氮、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、总磷、DO、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 。

2. 评价标准 以《地面水环境质量标准》(GB3838-88)为基准,个别参数参照《地面水环境质量三级标准》(GB3838-83),确定本评价标准。

表2 淀山湖水质评价标准

Tab. 2 The evaluating standard of water quality in Dianshan Lake

参 数 \ 类 别	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	VI 类(超标类)
色度	$\leq 10$	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 35$	$\leq 50$	$> 50$
透明度(m)	$\geq 2.59$	$\geq 2.16$	$\geq 0.78$	$\geq 0.46$	$\geq 0.46$	$< 0.46$
总氮(mg/L)	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$> 2.0$
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\leq 0.06$	$\leq 0.1$	$\leq 0.15$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$> 1.0$
总磷(mg/L)	$\leq 0.02$	$\leq 0.025$	$\leq 0.05$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$> 0.2$
DO(mg/L)	$\geq$ 饱和率90%	$\geq 6$	$\geq 5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$< 2$
$\text{COD}_{\text{Mn}}$ (mg/L)	$\leq 2$	$\leq 4$	$\leq 6$	$\leq 8$	$\leq 10$	$> 10$
$\text{BOD}_5$ (mg/L)	$< 3$	$\leq 3$	$\leq 4$	$\leq 6$	$\leq 10$	$> 10$

3. 评价模式 评价引入模糊集理论,用模糊矩阵复合运算方法对水质进行综合评价,即用隶属度对各参数进行评价,建立单因子矩阵  $\tilde{R}^{[3]}$ ,再用模糊聚类法的最大矩阵元原理中的置信水平  $\lambda$  值为权重值<sup>[4]</sup>,得权系数矩阵  $\tilde{A}$ ,将两模糊矩阵复合运算即得评价结果<sup>[5]</sup>。

单因子矩阵  $\tilde{R}$  的建立 先计算  $i$  参数落入  $j$  类标准中的观测点个数,其值为  $m_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, \dots, 6$ ),其中  $i$  参数落入观测点最多的区间为  $U_{ij}$ ,令其个数为  $M_i$ ,则  $i$  参数在  $j$  类标准中的隶属度为:

$$P_{ij} = \frac{m_{ij}}{M_i} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, 8 \\ j = 1, 2, \dots, 6 \end{matrix}$$

然后将各参数的隶属度归一化,建立单因子模糊矩阵  $\tilde{R}_{8 \times 6}$ 。

权系数矩阵  $\tilde{A}$  的确定 将湖内各观测点上的各参数的实测值用 I 类标准的下界进行标准化处理,然后按下式求出各矩阵元,组成一个对角线为1的模糊矩阵  $\tilde{W}$ :

$$r_{ij} = \sum_{p=1}^m a_{ip} \cdot a_{jp} / M \quad \begin{matrix} i, j = 1, 2, \dots, 8 \\ p = 1, 2, \dots, m \end{matrix}$$

式中,  $a_{ip}$ 、 $a_{jp}$  分别表示第  $i$  和第  $j$  参数的  $P$  项样本的实测值,  $M$  取一实数,使  $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ,  $m$  为样本数。

根据最大矩阵元原理,取矩阵  $\tilde{W}$  中各行的最大值  $\lambda_i$  作置信水平,即  $V(r_{ij}) = \lambda_i$ 。将各参数的  $\lambda$  值归一化得权系数  $W_i$ 。各权系数可构成模糊矩阵  $\tilde{A}_{1 \times 8}$ ,该矩阵可定量体现对水质造成影响的各污染物的影响程度大小。

综合评价模型  $\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R}$  模糊矩阵  $\tilde{A}$  和  $\tilde{R}$  的复合运算为加权平均型。取矩阵  $\tilde{B}$  中最大值所在的类别为评价结果。

## 4. 评价结果 淀山湖水质属 IV 类。

据 GB3838-88 定义, IV 类“主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水

区”,这与淀山湖作为水源地的功能是不符的。其主要污染物是透明度、总磷和总氮(权系数最大)。另据近年水质监测资料表明,淀山湖氮浓度逐年下降,而磷则有上升的趋势。因此,磷是淀山湖水污染的主要因子,控制磷的输入是湖泊管理的主要目标。

湖内水质分区评价表明,Ⅱ类水域面积约20km<sup>2</sup>,主要分布在金家庄附近和马兰港附近,为全湖水质最好区域;Ⅳ类水域31km<sup>2</sup>,主要分布在赵田湖北部和淀山湖南部;Ⅴ类水域6km<sup>2</sup>,分布于入湖口外围和出水口附近;Ⅵ类水域5km<sup>2</sup>,分布于千墩港和急水港入湖口附近及原游泳场附近。

### 三、淀山湖水质污染的趋势预测

#### (一)预测模型的建立及适用性检验

磷是淀山湖水质污染的主要因子,本研究选择迪隆(Dillon)模型和 OECD 的浅水湖泊磷模型<sup>[2,6]</sup>作为水质污染的预测模型。

迪隆模型:  $P = \frac{L_p(1-R)}{z \cdot \rho}$ , 式中,  $P$  为湖水磷浓度(mg/L);  $L_p$  为年度面积磷负荷(g/m<sup>2</sup>);  $R$  为磷滞留系数;  $z$  为湖水平均深度(m);  $\rho$  为水力冲刷系数。

OECD 的浅水湖泊磷模型:  $P = P_1(1 + 2.27\tau_w^{0.586})^{-1}$ , 式中,  $P_1$  为流入湖中按流量加权的年平均总磷浓度(mg/L);  $\tau_w$  为水力滞留时间(a)。

为验证模型在淀山湖的适用性,将淀山湖实测水文参数和磷平衡系数代入模型计算,结果表明(表3),迪隆模型磷计算值与实测年均值相差很大,不能用于水质污染变化趋势的预测,这与迪隆模型在武汉东湖、杭州西湖预测中良好的适用性<sup>[1]</sup>是不一致的。但迪隆模型的磷计算值与冬春磷的实测值比较一致,可反映冬春水质恶劣时期的磷浓度。OECD 浅水湖泊磷模型,其计算值与实测年均值非常接近,显示其有较高的预测精度。

表3 预测模型的适应性检验

Tab. 3 Inspection of suitability of the prediction models

单位:mg/L

项 目		1985年	1988年
迪 隆 模 型	磷浓度计算值	0.085	0.130
	实测磷浓度冬春平均值	0.087	0.123
	实测值与计算值间的差异值	0.002	0.007
OECD 浅水湖泊磷模型	磷浓度计算值	0.058	0.096
	实测磷浓度年均值	0.068	0.090
	实测值与计算值间的差异值	0.010	0.006

#### (二)水质污染预测结果

采用迪隆模型和 OECD 浅水湖泊磷模型分别预测冬春(磷高峰期)和年水质污染变化趋势,结果如下:

1. 在外源磷不削减的情况下,淀山湖水质将不断恶化,1995年即可达Ⅵ类,可能导致湖泊功能的局部丧失。

2. 若年削减外源磷13—16t,1995年水质可维持在Ⅲ类或Ⅳ类,至2000年水质可基本改善,全湖水质可维持在Ⅲ类,个别时段可达Ⅱ类。

3. 淀山湖水力滞留时间短,约28天,只要控制外源磷的输入,湖水的快速更新能迅速改善水质,恢复和发挥其功能。

4. 改变外源磷输入是改善水质的重要方法,上述年削减量仅及外源磷总量的5—6%。而主要入湖河道输入和地表径流流失磷量占磷总负荷的97.58%。因而只要在这两方面采取相应措施,上述年削减量是可行的。

### (三)淀山湖水环境磷容量

湖泊水环境磷容量,是指为维持湖泊某一水环境标准,湖泊水体每年允许容纳的最大磷排放量。它是湖泊外源磷削减的最终目标。湖泊磷容量与容许负荷之间存在着密切关系,即  $W_i = L_p \cdot A$ , 式中  $W_i$  为湖泊水环境磷容量(kg/a);  $L_p$  为湖泊磷容许负荷量(kg/m<sup>2</sup>·a);  $A$  为湖泊面积(m<sup>2</sup>)。容许负荷量采用 OECD 的磷容量模式<sup>[2]</sup>计算:

$$L_p = q_i \cdot P_i (1 + 2.27\tau_w^{0.586})$$

式中,  $q_i$  为湖泊单位面积水量负荷(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·a);  $P_i$  为总磷的水环境质量标准(mg/L);  $\tau_w$  为水力滞留时间(a)。

淀山湖作为上海市供水水源地之一<sup>[7]</sup>,其水质至少应达《地面水环境质量标准》(GB3838-88)的Ⅱ类标准( $P_i \leq 0.05$ mg/L),即“主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区,……”。该标准下的淀山湖水环境磷容量为132.1t。目前淀山湖外源磷负荷为255.5t,远超过其环境容量。若按预测的年削减量削减,至2000年可达上述控制目标。

## 四、淀湖水水质污染的防治对策

### (一)控制外源性污染物质的输入

1. 控制上游来水中的氮、磷量 上游来水中的氮、磷量分别占外源性氮、磷负荷的71.47%和93.31%,是淀山湖的主要污染来源。其主要源自江苏省的一些工业污染源及广域的面污染源,故需协调省、市间的联系,制定水源保护条例,削减上游污染源。

2. 地表径流污染物流失量的控制 增加湖区绿化覆盖率,减少裸地是关键的控制措施;同时,合理施肥,减少湖区营养物质流失,也是一个重要途径。

3. 减少颗粒饲料的输入 湖内的网箱养鱼及湖区大片的精养鱼塘,需投放大量颗粒饲料,可采用适当比例的天然饲料(如水草、蚬等)取代,以减少外源营养物对水域的输入。

4. 消除航运污染的排放 主要是漏油、废水、生活废弃物等造成航道附近水域污染。故控制入湖船只的渗、漏、滴及船民生活污水的排放,可确保航道附近水域优良水质。

### (二)减少内源性营养物质负荷

1. 合理调整湖内生物结构 充分利用湖内不同营养级水生生物间生物链的关系,可加速湖内氮、磷的输出。以鱼为例,淀山湖浮游植物、浮游动物、水草和底栖动物的鱼产潜力分别为72.8、21.0、77.3和41.3kg/hm<sup>2</sup>,而实测产量分别为60.8、20.3、3.8和9.0kg/hm<sup>2</sup>。可见,水草和底栖动物的鱼产潜力还很大,可多放养些食草性的草、鳊、鲂及部分罗非鱼等。

2. 合理利用湖内水草 水草能很好地吸收湖内氮、磷等营养物质,且可为畜牧业利用作为饲料,以便将氮、磷等营养物质从湖内提出,净化水质。

3. 采用生态工程,增大水体自净能力 如在主要河流入湖口或沿湖排污口附近水域,种植凤眼莲等水生生物,有利于净化水质。据研究<sup>[8]</sup>,种植0.067hm<sup>2</sup>(1亩)凤眼莲并科学管理,

一年可去除94.8kg 氮和15.6kg 磷。

### (三)加强湖泊的环境管理

1. 建立淀山湖环境保护联合机构 淀山湖湖面跨青浦、昆山两县,且污染物主要来自上游的江苏境内,因而淀山湖的环境管理必须有一个江苏和上海有关部门共同组成的联合管理机构来进行。

2. 建立淀山湖环境监测站 必须开展长期的环境监测工作,以便能迅速掌握湖区环境质量的动态变化。

3. 提高大众环境意识以保护水资源 不断开展宣传教育,介绍有关水资源保护重要性的知识,建立宣传教育展览馆,以强化人们对水源保护重要性的认识。

## 参 考 文 献

- [1] 彭近新、陈慧君.水质富营养化与防治.北京,中国环境科学出版社,1988.
- [2] 顾丁锡、舒金华.湖泊水污染预测及其防治规划方法.北京,中国环境科学出版社,1988.
- [3] 汪培庄.模糊集合论及其应用.上海,上海科学技术出版社,1983.
- [4] 孙幼平、熊瑞贵.模糊数学在水质综合评价中的应用.中国环境科学,1988,8(3),72—75.
- [5] 陈永义等.综合评价的数学模型.模糊数学,1983,(1),61—70.
- [6] 《全国主要湖泊、水库富营养化调查研究》课题组.湖泊富营养化调查规范.北京,中国环境科学出版社,1987.
- [7] 国家环保局政研处.全国地方环境保护法规汇编(第一集).北京,中国环境科学出版社,1988,256—258.
- [8] 颜京松.污水资源化生态工程原理及类型.农村生态环境,1986,(4),19—23.

## STUDY ON ASSESSMENT OF WATER ENVIRONMENTAL QUALITY AND CONTROL OF WATER POLLUTION IN DIANSHAN LAKE, SHANGHAI

Ruan Renliang<sup>①</sup> Wang Yun

(East China Normal University, Shanghai 200062)

### Abstract

In view of the study on environment of Dianshan Lake Basin, the distribution of point & non-point sources and total input of pollutants into the lake were investigated completely. The dynamic changes of the pollutants in the lake were analysed. The fuzzy matrix was used for comprehensive assessment to water quality. The trends of water eutrophication were predicated with the phosphorous model. The countermeasures of water pollution control in Dianshan Lake were suggested.

**Key words** Environment, assessment, control of water pollution, Dianshan Lake

<sup>①</sup> Present Add. Shanghai General Hydrologic Station, Shanghai 200040