第8卷 第4期
1996年12月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 8, No. 4
Dec., 1996

滆湖氮、磷平衡研究*

黄文钰 舒金华 吴延根
(中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008)

提要 滆湖位于江苏省常州市西南13km处,水面面积164km²,平均水深1.26m,是太湖湖群的重要组成部分。其氮、磷平衡研究结果表明:①入湖氮、磷总量分别为4120.29t/a和270.03t/a;其中以河道入湖量最大,分别占入湖总量的71.9%和57.1%,其次是养殖投饵,分别占入湖总量的12.4%和29.9%;氮、磷的滞留系数分别为0.36和0.35,年滞留量分别为1481.6t和94.82t。②湖水的氮、磷负荷较大,但由于水草的吸收净化作用,湖水水质仍能保持较低水平。③网围养殖区底泥氮、磷释放强度大。非网围区水草根系的吸收对底泥氮、磷释放起到一定的抑制作用。

关键词 氮 磷 平衡 滆湖

1 氮、磷平衡方程

某一时段内滆湖氮、磷平衡方程式可表达为:

$$\sum C_{河入}\cdot Q_{河入}\cdot\Delta t+\sum C_{区}\cdot Q_{区}\cdot\Delta t+\sum C_{R}\cdot Q_{R}\cdot\Delta t+\sum D_{释}\cdot S\cdot\Delta t$$
$$+\sum C_{饵}\cdot W_{饵}\cdot\Delta t=\sum C_{河出}\cdot Q_{河出}\cdot\Delta t+\sum C_{鱼}\cdot W_{鱼}\cdot\Delta t+\sum C_{草}\cdot W_{草}\cdot\Delta t$$
$$+C_{工农}\cdot Q_{工农}\cdot\Delta t\pm\Delta V*C_{湖}\cdot\Delta t\pm Dep\cdots\cdots \quad (1)$$

式中,$C_{河入}$为入湖河道氮、磷浓度,mg/L;

$Q_{河入}$为入湖河道入湖水量,m³/a;

$C_{区}$为区间径流氮、磷浓度,mg/L;

$Q_{区}$为区间径流入湖水量,m³/a;

C_{R}为降雨降尘中氮、磷浓度,mg/L;

Q_{R}为降雨降尘量,m³/a;

$D_{释}$为底泥水土交换进入水体氮、磷的释放速率,t/(km²·a);

S为湖泊底泥释放面积,km²;

$C_{饵}$为养殖投饵料的氮、磷含量,%;

$W_{饵}$为养殖投饵总量,t/a;

$Q_{河出}$为经河道出湖水量,m³/a;

* 国家自然科学基金项目(49371056)
来稿日期:1995-05-01;接受日期:1995-10-09。
作者简介:黄文钰,男,1964年生。助理研究员。1989年毕业于中国科学院南京地理与湖泊研究所,硕士。主要从事湖泊环境规划及富营养化研究,已发表有关论文10余篇,参与专著4部。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$C_{河出}$为河道出湖水中氮、磷浓度，mg/L；

$C_{鱼}$ 为捕捞出湖鱼体中氮、磷含量，%；

$W_{鱼}$ 为净捕鱼量，t/a；

$C_{草}$ 为水草中氮、磷含量，%；

$W_{草}$ 为捞草出湖量，t/a；

$C_{工农}$为湖周工农业生产用水和部分居民生活用水直接取用的湖水中氮、磷浓度，mg/L；

$Q_{工农}$为湖周工农业生产用水和部分居民生活用水直接取用的湖水水量，m^3/a；

ΔV 为平衡始末湖泊容积变化值，m^3/a；

$C_{湖}$ 为平衡期间湖水氮、磷平均浓度，mg/L；

Δt 为平衡时段，a；

Dep 为平衡始末滞留于湖体的氮、磷量，t/a。

2　平衡参数识别

根据 1994 年 1 月至 12 月调查监测资料进行平衡参数识别，具体如下：

2.1　河道进出湖水量 $Q_{河入}$和 $Q_{河出}$

滆湖主要入湖河道为位于西部的垂洪港、加泽港、塘门港、安欢渎、横渎港、新渎港、北渎港、北干河、尧渎港、周家渎、北渎港、丰义港、元村港、大嘴渎、庄家渎、五七农场东河等 16 条河道；出水于东南部，主要有太滆运河、漕桥河、殷村港、高塍港、管渎河、西庄村河、副渎、集义渎、吴家渎、塘渎港、富渎港、太平河、油车港、大洪港、十五洞桥河等 15 条出湖河道。

在各进出湖河道河口处设监测断面，选择春夏秋冬各典型水期进行监测，获 6 期水量数据。利用时间加权平均法，等权平均法和坊前站水位～滆湖进出湖流量关系法等 3 种方法分别求出年入湖和出湖总径流量，取三种方法的平均值为 $Q_{河入}=12.45\times10^8m^3/a$ 和 $Q_{河出}=11.85\times10^8m^3/a$。

2.2　区间径流入湖水量 $Q_{区}$

除上述 16 条主要入湖河道控制的径流面积以外，直接入湖的汇水面积，经 1∶50000 地形图上量算为 $42.42km^2$，查询有关气象部门 1994 年降雨量为 977.8mm，径流系数 0.324，计算得区间入湖水量约为 $0.134\times10^8m^3/a$。

2.3　湖面降水入湖水量 Q_R

滆湖湖面面积为 $164km^2$，与当年降水量的乘积表示当年湖面降水入湖水量 $Q_R=1.603\times10^8m^3/a$。

2.4　底泥水土交换扩散速率 $D_{释}$ 及扩散量

不同底质湖区水土交换是不同的。滆湖北湖区由于泥沙来量大，与南部湖区有明显区别，网围养殖区由于残饵和鱼粪沉积也有别于上述湖区，所以将滆湖分为北部湖区、南部湖区和围网养殖区等三个亚区。于各亚区内采集底泥柱状样品，在实验室内模拟在不同温度条件下滆湖底泥柱状样水土界面氮和磷的交换。计算结果表明，全湖底泥释放磷为 19.16t/a，氮为 362.22t/a。其中，北部湖区释放磷为 3.60t/a，占总释放量 18.8%；释放氮为 80.97t/a，占总释放量 22.4%。南部湖区释放磷为 4.05t/a，占总释放量 21.1%；释放氮为 120.66t/a，占总释放量 33.3%。网围养殖区释放磷 11.51t/a，占总释放量 60.1%；释放氮 160.59t/a，占

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

总释放量44.3%。

2.5 养殖投饵量 $W_{饵}$

据1994年调查统计，滆湖网围面积3733.3hm²，实际养殖面积3066.7hm²，占全湖总面积(16400hm²)的18.7%。在网围养殖中，除投放水草外，还投入饵料(主要是颗粒饲料及部分小麦、豆饼等)约15500t/a。

2.6 鱼获量 $W_{鱼}$

据调查统计，滆湖1994年度的鱼获量11454t/a(其中网围养殖鱼获量9135t/a，网围外鱼获量2319t/a)，因年初投放鱼种量为2549t/a(其中网围内投放鱼种2501t/a，网围外流放鱼种48t/a)，实际净鱼获量为8905t/a。

2.7 捞草出湖量 $W_{草}$

滆湖湖周遍布鱼塘，据抽样调查，这一部分的塘口除投放精饲料外，每年还入湖采割水草以补充饵料不足，据估计每年捞草出湖量约为 7×10^4t/a。

2.8 湖周工农业用水量 $Q_{工农}$

湖周引用湖水的圩区面积，经量算约为14.28km²，参考宜兴市、无锡县圩区面积与耕地面积的比例为1∶0.7，因此湖周引水的面积为9.99km²。武进、宜兴一带农田净灌溉定额约为9390m³/hm²，则农田灌溉用水 940×10^4m³。沿湖工业及城镇用水量约为 160×10^4m³，故湖周工农业用水及生活用水量 $Q_{工农}=110\times10^4$m³/a。

2.9 平衡始末湖泊容积变化值 ΔV

湖泊容积变化值 ΔV 可用下式计算

$$\Delta V=\sum Q_{入}-\sum Q_{出} \tag{2}$$

式中，$Q_{入}$ 为平衡期间总入湖水量(m³/a)，$Q_{出}$ 为平衡期间总出湖水量(m³/a)。

总入湖水量 $Q_{入}$ 由以下三部分组成：

$$Q_{入}=\sum Q_{河入}+\sum Q_{区}+\sum Q_{R} \tag{3}$$

计算得 $Q_{入}=14.18\times10^8$m³/a。出湖水量也由三部分组成：

$$Q_{出}=\sum Q_{河出}+Q_{E}+Q_{工农} \tag{4}$$

式中，Q_E 为平衡期间湖面蒸发水量(m³/a)。据调查计算可知：

$$Q_E=1.04\times10^8\text{m}^3/\text{a}$$

因此，$Q_{出}$ 计算为：$Q_{出}=13\times10^8$m³/a　则 $\Delta V=1.187\times10^8$m³/a

2.10 入湖河道氮、磷含量 $C_{河入}$

因每月监测16条入湖河道氮、磷浓度有一定困难，所以除垂洪港、北干河等主要河道每月监测外，其余河道随6期河道水量监测时同步监测。取1994年实测氮、磷浓度平均值为入湖河道氮浓度2.379mg/L，磷浓度0.124mg/L。

2.11 区间径流氮、磷浓度 $C_{区}$

滆湖湖岸农村居民点比较少，稍远的村镇的径流汇入河道进入滆湖，所以湖周直接径流入湖的土地类型主要是麦地、稻田、旱地和少量草滩等。选取上述4种类型地块，遇雨时采集径流样品共5期进行分析，取平均径流浓度为氮3.42mg/L、磷0.109mg/L。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.12　降雨降尘氮、磷含量 C_R

在离湖岸约 2km 的滆湖湖管会设一降雨降尘监测点，每月测定降雨降尘混合样品的氮、磷含量，取平均值为氮 1.50mg/L、磷 0.090mg/L。

2.13　养殖饵料含氮、磷量 $C_{饵}$

选取几种常用饵料（颗料饵料、豆饼、小麦等），在实验室内化验饵料中含氮、磷量，取氮、磷含量的平均值，分别得到饵料中按饵料比例加权的氮含量 3.29%，磷含量为 0.52%。

2.14　出湖河道氮、磷含量 $C_{河出}$

因滆湖水浅，出入湖河道多，可认为从不同方向进入湖体的氮、磷量经均匀混合后通过约 15 条河道出湖，故可取湖水氮、磷平均浓度为出湖河道氮、磷浓度 $C_{河出}$。

2.15　鱼体含氮、磷量 $C_{鱼}$

选取几种不同类型的鱼进行化验氮、磷含量，取其鱼获量（主要是草鱼、鳊鱼和鲢鱼等）加权平均值为鱼体中氮含量 2.59%、磷含量 0.67%。

2.16　水草中含氮、磷量 $C_{草}$

滆湖水草以黄丝草为主，其次是苦草和菹草，取滆湖水草进行化验，取水草量加权平均值得水草中含氮量为 0.30%、磷含量为 0.054%。

2.17　工农业用水中氮、磷浓度 $C_{工农}$

工农业用水点遍布滆湖湖周，特别是农田用水，可认为均匀分布。所以，可用湖水年平均值表示湖周工农业用水中氮、磷浓度 $C_{工农}$。

2.18　滆湖湖水氮、磷含量平均值 $C_{湖}$

每月监测湖水氮、磷浓度，取年平均值为湖水中氮浓度 1.833mg/L、磷浓度 0.049mg/L。

2.19　氮、磷滞留量 Dep

根据上述参数识别，可计算出各种途径进出滆湖的氮、磷量，然后利用（1）式计算得平衡始末滞留于湖体的氮、磷量。

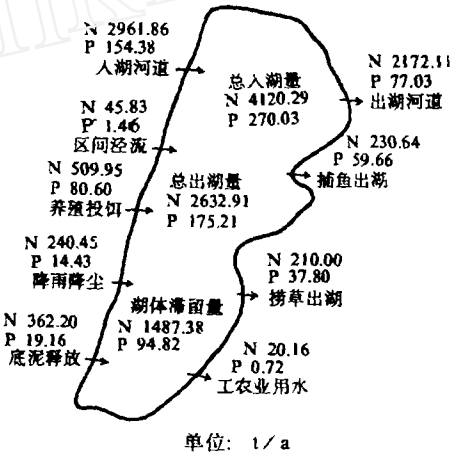

图 1　滆湖氮、磷平衡示意图

ig. 1　Sketch of N and P balance results in Gehu Lake

3　氮、磷平衡结果及分析

经上述计算整理得滆湖氮、磷收入、支出动态平衡调查统计结果见表 1 和图 1。

从表 1 和图 1 可知，平衡期间入湖总氮量 4120.29t/a，其中河道入湖量最大，年入湖量为 2961.86t/a，其次为养殖投饵、底泥释放、降雨降尘和区间径流等，分别为 509.95t/a、362.20t/a、240.45t/a 和 45.83t/a；出湖总氮量为 2632.91t/a，其中以出湖河道最大，年出湖量为 2172.11t/a，其次为捕鱼出湖、捞草出湖和工农业用水出湖等，分别为 230.64t/a、210.00t/a 和 20.16t/a。入湖总磷量为 270.03t/a，其中以河道径流入湖量最大，年入湖量为 154.38t/a，其次为养殖投饵、底泥释放、降雨降尘和区间径流入湖等，分别为 80.60t/a、19.16t/a、14.43t/a 和 1.46t/a。总磷出湖量为 175.21t/a，其中以河道出湖径流出湖量最大，年出湖量为 77.03t/a，其次为捕鱼出湖、捞草出湖和工农业用水等，分别为 59.66t/a、

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

37.80t/a 和 0.72t/a。

表1 滆湖氮、磷平衡统计结果

Tab.1 The balance statistics results of N and P in Gehu Lake

途 径	水量 ($10^8m^3/a$)	N 浓度 (mg/L)	N 数量 (t/a)	N 占总量 (%)	P 浓度 (mg/L)	P 数量 (t/a)	P 占总量 (%)
入湖总量:	14.187		4120.29	100		270.03	100
河道	12.450	2.379	2961.86	71.88	0.124	154.38	57.17
区间径流	0.134	3.42	45.83	1.11	0.109	1.46	0.54
养殖投饵	15500t	3.29%	509.95	12.38	0.52%	80.60	29.85
底泥释放	/	/	362.20	8.79	/	19.16	7.10
降雨降尘	1.603	1.50	240.45	5.84	0.090	14.43	5.34
出湖总量:	13.000		2632.91	100		175.21	100
河道	11.850	1.833	2172.11	82.50	0.049	77.03	43.96
捕鱼	8905t/a	2.59%	230.64	8.75	0.67%	59.66	34.06
捞草	7×10^4 t/a	0.30%	210.00	7.98	0.054%	37.80	21.57
工农业用水	0.110	1.833	20.16	0.77	0.049	0.72	0.41
湖面蒸发	1.040	/	/	/	/	/	/
湖水储量变化	1.187	1.833	217.58		0.049	7.72	
滞留量			1487.58			94.82	
滞留系数				36.10			35.11

上述平衡计算结果进一步表明:

(1) 滆湖氮、磷来源中以河道入湖为主,分别占总来源量的71.88%和57.17%,其次是养殖投饵,分别占总来源量的12.38%和29.85%。河道入湖量和养殖投饵量占总来源量的84.26%和87.02%。入湖河道来源中(表2),总氮以垂洪港、加泽港、塘门港、安欢渎、五七农场东、北干河为主,合计占河道入湖总氮量的75.3%;总磷以垂洪港、加泽港、北干河、安欢渎、塘门港为主,合计占河道入湖总磷量的65.9%。

(2) 滆湖氮、磷负荷较大,年平均负荷量分别为25.12g/m² 和1.647g/m²。按一般湖泊中氮、磷浓度与负荷量关系计算[4],湖水中氮、磷浓度分别为2.12mg/L和0.14mg/L,湖泊已进入富营养或重富营养阶段。但目前湖水氮、磷浓度仍维持在中营养向富营养过渡的水平。这主要是由于滆湖水草覆盖面积大,水生植物吸收消化了大量的氮、磷物质,并抑制了藻类生长的原因所致。

(3) 网围养殖区底泥氮、磷释放量大,平均释放强度为14.3mg/(m²·d)和0.65mg/m²·d,较该湖非网围区底泥的释放量分别高出2.8倍到3.3倍。这主要是由于网围区投饵料量大,大量残饵和鱼粪沉积湖底,导致底泥中氮、磷富积量增加,释放量也相应增多。同时,非网围区水草根系的吸收对底泥氮、磷的释放也起到了一定的抑制作用。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　主要河道入湖氮、磷量统计

Tab. 2　The statistics of input N and P by main rivers

断　面	六期河道监测平均流量 (m^3/s)	氮		磷	
		入湖量 (t/a)	占总入湖量 (%)	入湖量 (t/a)	占总入湖量 (%)
庄家渎	1.7108	193.51	6.5	8.46	5.5
大嘴渎	1.2196	88.98	3.0	4.32	2.8
元村渎	0.7042	54.95	2.0	3.64	2.3
丰义渎	1.5189	106.86	3.6	6.36	4.1
张和港	1.4087	88.57	3.0	6.01	3.9
周家渎	0.5440	28.61	1.0	1.66	1.1
尧渎港	0.4932	22.93	0.8	1.62	1.0
北干河	5.6195	225.27	7.6	16.25	10.5
北渎河	0.7366	33.74	1.1	2.86	1.9
横渎港	1.0745	62.16	2.1	5.04	3.3
新渎港	0.8962	48.18	1.6	2.59	1.7
安欢渎	5.7248	292.29	9.8	15.59	10.1
塘门港	3.8684	295.77	10.0	14.28	9.2
加泽港	4.2400	516.34	17.4	27.14	17.6
垂洪港	5.8065	672.08	22.7	28.51	18.5
五七农场东	1.6568	231.63	7.8	10.05	6.5
河道入湖总量	37.2227	2967.86	100	154.38	100

综上所述，为了减轻滆湖的氮、磷负荷量，维护湖水良性的生态环境，应将严格控制各主要河道氮、磷的入湖量，适当减少网围养殖投饵量和保护水草资源等作为该湖富营养化防治的主要对策。

致谢　河道水量，湖面蒸发量和工农业用水量由王洪道等协助完成，底泥水土交换由范成新协助完成，特致谢忱。

参　考　文　献

1　黄文钰，魏爱雪．巢湖营养盐收支平衡及其在富营养化防治规划中的应用．中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊，第 9 号．北京：科学出版社，1993. 94～103

2　刘建康主编．东湖生态学研究(一)．北京：科学出版社，1990. 381～383

3　金相灿等．中国湖泊富营养化．北京：中国环境科学出版社，1990. 40～45

4　屠清瑛等．巢湖富营养化研究．合肥：中国科技大学出版社，1990. 33～55

5　Sven-olof Ryding and Walter Rast，朱萱等译．湖泊与水库富营养化控制．北京：中国环境科学出版社，1992. 111～134

6　L. Somlyody and G. Van straten. Modeling and managing shallow Lake eutrophication. Berlin: Springer-verlag, 1986. 125～155

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

RESEARCH OF NUTRIENT BALANCE IN GEHU LAKE

Huang Wenyu Shu Jinhua Wu Yangen

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008)

Abstract

Gehu Lake is a macrophyte type shallow lake located in the Taihu Lake groups in the southeast plain to Changzhou City, Jiangsu Provence, with an area of 164 km^2, and an average depth of 1.26m. The nutrient balance results show:

(1) The total nutrients inputted are N 4120.29 t/a and P 270.03t/a, coming separately from its inlets(N 2961.86t/a, P 154.38t/a), land around the lake(N 45.83t/a, P 1.46t/a),cage aquaculture and artifitial food (N 509.95t/a, P 80.60t/a), released sediments (N 362.20 t/a, P 19.16t/a) and atmospheric precipitation (N 240.45 t/a, P 14.43t/a). The total nutrients drained are N 2632.91t/a and P 175.21 t/a, outflowing through rivers(N 2172.11t/a, P 77.03t/a), harvest of fish (N 230.64t/a, P 59.66t/a), harvest of aquatic plants (N 210.00t/a, P 37.80t/a), irrigation and factory utilization around the lake (N 20.16t/a, P 0.72t/a). The N deposits 1487.38t/a(deposit efficient 0.361) and the P deposits 94.82t/a (deposit cofficient 0.3511). The main input and output ways of N and P are rivers. The input N by rivers occupies 71.88% of total input and P 57.17%.

(2) Nutrient load is much higher, N is 25.12g/(m^2 • a) and P 1.647g/(m^2 • a).

(3) The amount of nutrients released from the sediments of the cage aquaculture region is great. The daily releasing of N is 14.3 mg/m^2 and P 0.65mg/m^2.

Key Words Nitrogen, phosphorus, balance, Gehu Lake

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net