

骆马湖营养盐收支^{*}

黄文钰 许朋柱

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 根据对骆马湖 1998 年度营养盐(氮、磷)收入和支出的研究, 结果表明: 入湖氮、磷量分别为 15764.78t 和 1035.53t, 其中通过河道入湖的氮磷量最大, 其年入湖氮磷量分别为 13598.05t 和 942.35t, 分别占总来源量的 86.3% 和 91.0%。氮、磷在骆马湖湖体中的滞留量和沉降量较少, 滞留量分别为 1532.65t 和 221.63t, 分别占总来源量的 9.7% 和 21.4%; 沉积量分别为 205.47t 和 199.95t, 分别占总来源量的 1.3% 和 19.3%。湖水氮、磷蓄积变化大, 湖水浓度升高较快, 氮、磷负荷较大, 年平均负荷量分别为总氮 42.04g/m² 和总磷 2.76g/m²。

关键词 氮 磷 平衡 骆马湖

分类号 P343.3

骆马湖位于江苏省宿迁市北的黄淮平原, 京杭大运河的中段, 地跨宿迁和新沂两市, 1998 年度湖泊平均水面面积为 375km², 是江苏省第四大淡水湖。骆马湖属典型的过水性湖泊, 具有防洪排涝、农田灌溉、城市饮用水源、水产养殖和蓄水调节等多项功能。近几年来, 由于上游工农业生产和城镇居民生活污水的影响, 湖水水质下降, 这不仅影响本区域社会经济发展, 而且还直接影响到国家南水北调送水水质。因此, 保护好骆马湖水质, 是保护苏北运河水质和南水北调水质亟待解决的一项重要环境问题。

根据湖泊氮、磷等营养盐进出途径^[1-4]分析, 骆马湖入湖途径主要有河道、湖面降水、地表径流入湖、养殖投饵和底泥释放等; 出湖途径主要有河道、工农业用水出湖、捞草出湖和捕鱼出湖等。

1 入湖氮、磷量的研究

1.1 河道携入湖氮、磷量

骆马湖主要入湖河道有中运河和沂河, 房亭河于猫窝入中运河后入湖。

1.1.1 入湖水量 1998 年度中运河运河站以上来水量为 $39.9782 \times 10^8 \text{m}^3$, 沂河港上站以上来水量为 $34.6625 \times 10^8 \text{m}^3$, 房亭河土山站以上来水量为 $4.0426 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由于以上三站距入湖口有一定距离, 沿途尚有部分水量汇入。其中, 港上站以下汇水面积为 1048km², 运河站和土山站以下至瑶湾入湖口处的汇水面积为 207km²。采用水量平衡模型计算得 1998 年度港上站以下区间入湖水量为 $3.3762 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 则沂河入湖口处入湖水量约为 $38.0387 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$; 运河站和土山站以下至瑶湾入湖口区间入湖水量为 $0.7667 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 合计房亭河和中运河汇流后于瑶湾入湖水量 $44.7875 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。

* 国家“九五”攻关项目(95-008-02-02)资助。

收稿日期: 2000-06-08; 收到修改稿日期: 2001-06-02。黄文钰, 男, 1964 年生, 副研究员。

1.1.2 入湖氮、磷量的计算 按春、夏、秋、冬季统计整理入湖水量,同时,根据1998年度1月、4月、8月和11月监测的氮、磷浓度分别代表春、夏、秋、冬季平均浓度.计算得骆马湖1998年度河道入湖氮、磷量(表1).

表1 1998年度骆马湖主要河道入湖氮、磷量

Tab.1 The input N and P by main rivers in Luomahu Lake, 1998

时段	中运河瑶湾					沂河毛林				
	水量 ($10^8\text{m}^3/\text{a}$)	TN浓度 (mg/L)	TP浓度 (mg/L)	TN量 (t/a)	TP量 (t/a)	水量 ($10^8\text{m}^3/\text{a}$)	TN浓度 (mg/L)	TP浓度 (mg/L)	TN量 (t/a)	TP量 (t/a)
春季	1.1049	0.81	0.089	89.50	9.83	0.5331	0.94	0.032	50.11	1.71
夏季	4.8242	1.94	0.134	935.90	64.64	4.5164	2.04	0.062	921.35	28.00
秋季	35.9033	1.83	0.165	6570.30	592.40	30.1929	1.43	0.071	4317.58	214.37
冬季	2.8551	1.47	0.062	419.70	17.70	2.7963	1.05	0.049	293.61	13.70
合计	44.7875			8015.40	684.57	38.0387			5582.65	257.78

表1表明,骆马湖经瑶湾和毛林入湖的氮磷量分别为8015.40t/a、5582.65t/a和684.57t/a、257.78t/a.合计河道入湖氮、磷总量分别为13598.05t/a和942.35t/a.

1.2 降水入湖氮、磷量

据骆马湖皂河闸、嶧山闸和瑶湾三站1998年逐月降水量统计,1998年骆马湖地区平均降水量为1172.8mm.1998年骆马湖平均水域面积为375km²,因此,降水直接进入湖泊的水量为4.3980×10⁸m³/a.

据1998年1月7日(TN1.816mg/L, TP0.077mg/L)、1月11日(TN1.482mg/L, TP0.077mg/L)和8月8日(TN1.250mg/L, TP0.036mg/L)降雨监测的均值计算(总氮1.516mg/L、总磷0.063mg/L),1998年降雨入湖的总氮为666.74t和总磷27.71t.

1.3 地表径流入湖氮、磷量

骆马湖周建有大堤,仅有大堤内的地表径流可以直接入湖.据调查,在骆马湖大堤内的村庄共57个,1998年常年居民约9780人.据有关文献分析^[5-8],骆马湖地表径流入湖氮磷量可从以下几种途径进行研究.

1.3.1 粮食作物地块 据调查,骆马湖大堤内的粮食作物面积约1261.53hm²,以骆马湖1998年平均降水量1172.8mm和湖区降水径流系数为0.324计,其年径流量为479.34×10⁴m³/a.分别于1998年1月和8月,选择有代表性的粮食作物地块中的麦田和稻田进行地表径流采样,分析氮磷浓度,两期径流浓度平均值为:总氮1.524mg/L和总磷0.362mg/L.因此,取输入湖的氮磷量分别为7.31t/a和1.74t/a.

1.3.2 旱地作物地块 骆马湖大堤内的旱地作物面积约85.53hm²,其年径流量为32.44×10⁴m³/a.分别于1998年1月和8月,选择有代表性的旱地作物地块进行地表径流采样,分析氮磷浓度,两期径流浓度的平均值为:总氮1.460mg/L和总磷0.194mg/L.因此,取输入湖的氮磷量分别为0.48t/a和0.07t/a.

1.3.3 湖滩等荒地 骆马湖大堤内的草坡等荒地面积533.33hm²,其年径流量为625.45×10⁴m³/a.分别于1998年1月和8月,选择有代表性的湖滩等荒地地块进行地表径流采样,分

析氮、磷浓度,两期径流浓度的平均值为:总氮 2.314mg/L 和总磷 0.412mg/L. 因此,取输入湖的氮磷量分别为 14.46t/a 和 2.59t/a.

1.3.4 农村居民点 大堤内常住居民约 9780 人,村庄用地 $188.46 \times 10^4 \text{m}^2$,根据骆马湖 1998 年平均降水量 1172.8mm,湖区降水径流系数为 0.324 计,年产流量为 $71.61 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$. 分别于 1998 年 1 月和 8 月,选择有代表性的居民点进行地表径流采样,分析氮磷浓度,两期径流浓度的平均值为总氮 3.69mg/L 和总磷 0.0495mg/L. 因此,取输入湖的氮磷量分别为 2.64t/a 和 0.37t/a.

根据上述各项地表径流入湖氮磷量的计算结果,计算得骆马湖地表径流入湖氮、磷量为总氮 25.04t/a,总磷 4.77t/a.

1.4 养殖投饵入湖氮、磷量

据调查,1998 年度骆马湖网围养殖面积为 1801.33hm^2 ,鱼产品总量 6161.0t,按饵料系数 1.5 计,投饵量约为 9241.5t/a. 经测定,饵料中氮、磷平均含量分别为 3.29% 和 0.52%. 由此估算随饵料入湖的氮磷量分别为 304.05t/a 和 48.06t/a.

1.5 底泥释放进入水体氮、磷量

据调查,骆马湖由于水体交换快,底质冲刷剧烈,大部分湖底没有底泥覆盖(硬质湖底),有底泥覆盖的面积仅 126.5km^2 . 由于硬质湖底释放入水体的氮磷量是非常少的,可忽略不计. 同时,不同底泥底质湖区水土交换率是不同的^[9-11],根据骆马湖实际情况,将有底泥覆盖的湖区划分为中部湖区(45km^2)、南部湖区(45km^2)和东南湖区(36.5km^2)等三个亚区. 在三个亚区内的避风港、繁保区和三场附近,用装有 $\Phi 60 \times 100 \text{mm}$ 有机玻璃管的柱状采样器采集湖底沉积物样品,垂直取样深度约 20-30cm. 在实验室内模拟在不同温度条件下骆马湖底泥柱状样水土界面氮和磷的交换. 选择模拟实验温度为 5℃、15℃、25℃ 和 35℃,每组实验于指定时间取样,控制在 96h 内完成. 根据所划分湖区,以模拟温度划分不同时间段,计算骆马湖氮、磷释放量,结果为全湖总磷释放量为 12.64t/a 和总氮释放量为 1170.9t/a.

2 出湖氮、磷量

2.1 河道出湖氮、磷量

骆马湖出湖水主要经嶂山闸、皂河闸和杨河滩闸等下泄. 据 1998 年各闸实测流量统计,嶂山闸、皂河闸和杨河滩闸出湖水量分别为 $39.2355 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 、 $27.8684 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 和 $6.8782 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$. 结合 1998 年 1 月、4 月、8 月、11 月实测河道出湖水中氮、磷浓度,计算得骆马湖经河道出湖氮、磷量分别为 12915.75t/a、701.56t/a(表 2).

2.2 捕鱼带出湖氮、磷量

骆马湖 1998 年度的水产品总量为 9984.0t/a,因年初投放鱼种量为 1369.34t/a,实际净鱼获量为 8614.66t/a. 据测定,鱼体中平均含氮、磷量分别为 2.59% 和 0.67%. 因此,捕鱼净带出湖氮、磷量分别为 223.12t/a 和 57.72t/a.

2.3 捞草带出湖氮、磷量

骆马湖周遍布鱼塘,这一部分的塘口除投放精饲料外,还入湖收割水草以补充饵料不足. 据调查,湖周约 32000hm^2 的塘口每年捞草出湖量约为 $4 \times 10^4 \text{t}$. 水草中平均含氮、磷量分别为 0.30% 和 0.054%, 因此,每年捞草带出湖氮磷量约为 120.00t/a 和 21.00t/a.

表 2 1998 年度骆马湖主要河道出湖氮磷量
Tab.2 The output N and P by main rivers in Luomahu Lake, 1998

河 道	春季	夏季	秋季	冬季	合计
崮山闸					
流量($10^8 \times \text{m}^3/\text{a}$)	0.0	0.0	39.2355	0.0	39.2355
TN 浓度(mg/L)	0.319	0.816	1.38	0.92	
TP 浓度(mg/L)	0.058	0.037	0.093	0.042	
TN 量(t/a)	0.0	0.0	5414.50	0.0	5414.50
TP 量(t/a)	0.0	0.0	364.89	0.0	364.89
皂河闸					
流量($10^8 \times \text{m}^3/\text{a}$)	0.0	9.1736	17.6738	1.0209	27.8684
TN 浓度(mg/L)	0.851	2.483	2.32	2.20	
TP 浓度(mg/L)	0.060	0.080	0.102	0.127	
TN 量(t/a)	0.0	2277.80	4100.32	224.60	6602.72
TP 量(t/a)	0.0	73.39	180.27	12.97	266.63
杨河滩闸					
流量($10^8 \times \text{m}^3/\text{a}$)	0.0	2.2908	2.9676	1.6203	6.8782
TN 浓度(mg/L)	0.938	0.934	1.75	1.02	
TP 浓度(mg/L)	0.014	0.055	0.169	0.045	
TN 量(t/a)	0.0	213.96	519.33	165.27	898.53
TP 量(t/a)	0.0	12.60	50.15	7.29	70.04

2.4 湖周工农业生产取用湖水带出氮、磷量

据统计,1998 年杨河滩闸发电用水量为 $0.5406 \times 10^8 \text{m}^3$,其它工农业用水量为 $7.4439 \times 10^8 \text{m}^3$.取 1998 年杨河滩闸四期水质监测平均值为发电用水水质,即总氮 1.411mg/L 和总磷 0.071mg/L ;因工农业取水为湖周分散取水,可用年平均值代表取水的氮、磷浓度,据江苏省淡水水产研究所监测,1998 年度骆马湖氮、磷平均浓度分别为 1.205mg/L 和 0.040mg/L .据此计算,发电用水带出氮、磷量分别为 76.28t/a 和 3.84t/a ,其它工农业用水带出湖氮磷量分别为 896.99t/a 和 29.78t/a ,合计带出湖氮、磷量分别为 973.27t/a 和 33.62t/a .

3 滞留湖体的氮、磷量

3.1 湖水氮、磷始末蓄积量

由于期初和期末湖水容积、营养盐浓度变化,引起溶解于湖水中营养盐的蓄积差.若期末蓄积量大于期初蓄积量,则蓄积差为正增加,否则为负增加.

本研究期限为 1998 年度,则期初为 1998 年 1 月 1 日,期末为 1999 年 1 月 1 日.1998 年 1 月 1 日骆马湖水位为 22.05m ,相应的湖泊容积为 $6.1971 \times 10^8 \text{m}^3$.同期湖水中氮、磷浓度由江苏省淡水水产研究所监测,分别为 0.35mg/L 和 0.009mg/L .同期湖水期初氮、磷蓄积量分别为 216.90t/a 和 5.58t/a .1999 年 1 月 1 日骆马湖水位为 22.95m ,相应的湖泊容积为 $8.8233 \times 10^8 \text{m}^3$.同期湖水中氮、磷浓度分别为 1.75mg/L 和 0.0309mg/L .此时骆马湖湖水中氮、磷蓄积量分别为 1544.08t/a 和 27.26t/a .因此,研究期内骆马湖湖水中氮、磷始末蓄积差分别为 1327.18t/a 和 21.68t/a ,均为正增加.

3.2 沉降量

进入湖泊的氮、磷量,一部分通过泥沙沉降和胶体絮凝作用在流速减缓时沉积于湖床上.这一部分的氮、磷沉降量,可通过入湖氮、磷总量减去出湖的氮、磷总量和湖水始末蓄积差而推算.根据骆马湖 1998 年度收支的调查研究及湖水始末蓄积差的计算,1998 年度骆马湖人湖氮、磷总量分别为 15764.78t/a 和 1035.53t/a;出湖氮、磷总量分别为 14232.13t/a 和 813.90t/a;湖水始末氮、磷蓄积差分别为 1327.18t/a 和 21.68t/a;则骆马湖湖内氮、磷沉降量分别为 205.47t/a 和 199.95t/a.

4 骆马湖营养盐收入和支出平衡结果及分析

经上述计算整理得骆马湖氮磷收入、支出动态平衡调查统计结果如表 3 所示.

表 3 骆马湖氮、磷平衡统计结果

Tab.3 The balance statistics results of N and P in Luomahu Lake

途径	总 氮		总 磷	
	数量(t/a)	占总量(%)	数量(t/a)	占总量(%)
入湖总量	15764.78	100.0	1035.53	100.0
河道入湖	13598.05	86.3	942.35	91.0
区间入湖	25.04	0.2	4.77	0.5
养殖投饵	304.05	1.9	48.06	4.6
底泥释放	1170.90	7.4	12.64	1.2
降雨入湖	666.74	4.2	27.71	2.7
出湖总量	14232.13	100.0	813.90	100.0
河道出湖	12915.74	90.8	701.56	86.2
捕鱼出湖	223.12	1.6	57.72	7.1
捞草出湖	120.00	0.8	21.00	2.6
工农业用水	973.27	6.8	33.62	4.1
湖体滞留量	1532.65	100.0	221.63	100.0
湖水蓄积差	1327.18	86.6	21.68	9.8
沉降量	205.47	13.4	199.95	90.2

平衡期间骆马湖人湖总氮量为 15764.78t/a,其中以河道最多,年入湖量 13598.05t/a,其次为底泥释放、降雨、养殖投饵和区间径流等,分别为 1170.90t/a、666.74t/a、304.05t/a 和 25.04t/a;出湖总氮量为 14232.13t/a,其中以出湖河道出湖量最大,年出湖量为 12915.74t/a,其次为工农业用水、捕鱼出湖和捞草出湖等,分别为 973.27t/a、223.12t/a 和 120.00t/a.

入湖总磷量为 1035.53t/a,其中以河道最多,年入湖量为 942.35t/a,其次为养殖投饵、降雨、底泥释放和区间径流入湖等,分别为 48.06t/a、27.71t/a、12.64t/a 和 4.77t/a;总磷出湖量为 813.90t/a,也以河道携带出湖最多,年出湖量为 701.56t/a,其次为捕鱼出湖、工农业用水和捞草出湖等,分别为 57.72t/a、33.62t/a 和 21.00t/a.

上述平衡计算结果进一步表明:

(1)氮、磷在湖体中的滞留量小:1998年度骆马湖氮磷滞留量分别为1532.65t和221.63t,滞留系数分别为0.097和0.214,即只有9.7%和21.4%的人湖氮磷量滞留于湖体,与其它区湖泊滞留系数相比,如巢湖(总氮0.395,总磷0.340)、常州溇湖(总氮0.361,总磷0.351)、武汉东湖(总磷0.685)、杭州西湖(总氮0.480,总磷0.470)、南京玄武湖(总氮0.557,总磷0.359)和新疆蘑菇湖水库(总氮0.370,总磷0.220)等,骆马湖明显偏低,表明氮、磷在湖泊中的滞留程度差。这是因为骆马湖是一过水性湖泊,氮、磷等营养盐不易滞留于湖体。但同时这一现象也说明,氮、磷在湖泊中的滞留量少,进入湖体的营养盐很快就随出湖水体带出湖体,这对于骆马湖改善湖水富营养化程度,抑制藻类的暴发非常有利。

(2)氮磷沉降量少:1998年度骆马湖氮磷沉积量分别为205.47t和199.95t,分别占入湖氮磷总量的1.3%和19.3%。说明年度沉积于湖底的营养盐类总量不大,有利于减轻湖泊内源污染。另外,总磷沉积比例高于总氮,是因为磷不易溶于水和比重大易沉降之故。

(3)湖水氮磷浓度变化大:1998年度骆马湖水体中总氮量增加了1327.18t,湖水浓度由年初的0.35mg/L增长到年末的1.75mg/L,增长了5倍;同期总磷量增加了21.68t,湖水浓度由年初的0.009mg/L增长到年末的0.0309mg/L,增长了3.4倍,应引起有关方面的重视。

为了减轻骆马湖的氮、磷负荷量,维护湖水良性的生态环境,应注意:

(1)严格控制运河和沂河氮、磷的人湖量:运河和沂河氮、磷的人湖量分别达到13598.005t/a和942.35t/a,占入湖氮、磷总量的86.3%和91.0%,控制了以上河道入湖营养盐量,也即控制了绝大部分的营养盐入湖量。

(2)保护水草资源:骆马湖年平均负荷量分别为总氮42.04g/m²和总磷2.76g/m²,按一般湖泊中氮、磷浓度与负荷量关系计算^[3],骆马湖湖水中氮、磷浓度分别为3.55mg/L和0.234mg/L,湖泊已进入重富营养阶段。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。这主要是由于骆马湖为一过水性湖泊,水量交换大,入湖的营养盐类很快被出湖水带走。同时,骆马湖水草量大。如根据江苏省淡水水产研究所1998年3月和6月水草生物量监测统计,3月份全湖水草平均生物量为4551.6g/m²,即全湖共有水草量为1706850t;6月份全湖水草平均生物量为4162.3g/m²,即全湖共有水草量为1560863t。因此,由于水生植物吸收消化了大量的氮、磷等营养物质,并抑制了藻类生长,使骆马湖湖水仍能保持在较低的营养水平上,湖水水质未进一步恶化。

参 考 文 献

- 1 黄文钰,舒金华,吴延根. 巢湖氮磷平衡研究. 湖泊科学,1996,8(4):330-336
- 2 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. 中科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
- 3 屠清瑛,顾丁锡等. 巢湖富营养化研究. 合肥:中国科技大学出版社,1990. 33-55
- 4 Somlyódy L, Van Straten G. Modeling and managing shallow lake eutrophication. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 125-155
- 5 杨文龙,杨树华. 滇池流域非点源污染控制区划研究. 湖泊科学,1998,10(3):55-60
- 6 贺华中. 东湖主要点源氮磷负荷的动态变化. 湖泊科学,1996,8(3):229-234
- 7 徐向阳,刘俊. 太湖湖区有机物流失模拟. 湖泊科学,1999,11(1):81-85
- 8 舒金华,黄文钰,高锡芸等. 含磷洗衣粉对太湖富营养化影响评估的研究. 日用化学品科学,1999(增刊):129-145
- 9 范成新,秦伯强,孙越. 梅梁湖和五里湖水-沉积物界面的物质交换. 湖泊科学,1998,10(1):73-78

- 10 范成新. 藕湖沉积物理化特征及磷释放模拟. 湖泊科学, 1995, 7(4): 341 - 350
- 11 杨龙元, 蔡启铭, 秦伯强等. 太湖梅梁湾沉积物 - 水界面氮迁移特征初步研究. 湖泊科学, 1998, 10(4): 41 - 47

Nutrient Balance in Luomahu Lake

HUANG Wenyu XU Pengzhu

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract

Luomahu Lake is a seasonally shallow lake in the northern plain of Suqian City, Jiangsu Province, with an area of 375km² in 1998, and an average depth of 2.35m. Based on investigations of possible sources of nitrogen, phosphorus from the basin as well as nutrient outputs in the Luomahu Lake basin, 1998, some estimates are drawn as follows.

The total nutrients inputted to the lake are nitrogen 15764.78t/a and phosphorus 10335.53t/a, coming separately from its inlets (nitrogen 13598.05t/a, phosphorus 942.35t/a), land runoff (nitrogen 25.04t/a, phosphorus 4.77t/a), cage aquaculture and artificial food (nitrogen 304.05t/a, phosphorus 48.06t/a), release from the sediments (nitrogen 1170.90t/a, phosphorus 12.64t/a) and atmospheric precipitation (nitrogen 666.74t/a, phosphorus 27.71t/a). The total nutrients drained are nitrogen 14232.13t/a and phosphorus 813.90t/a, i. e. from output through rivers (nitrogen 12915.74t/a, phosphorus 701.56t/a), harvest of fish (nitrogen 223.12t/a, phosphorus 57.72t/a), harvest of aquatic plants (nitrogen 120.00t/a, phosphorus 21.00t/a), irrigation and factory utilization around the lake (nitrogen 973.27t/a, phosphorus 33.62t/a), respectively.

The nutrient balance results shows that the main input and output ways of nitrogen and phosphorus are rivers, the nitrogen input by rivers occupies 86.3% of total input and phosphorus input 91.0%. Nutrient deposit is smaller, with nitrogen deposits 205.47t/a (deposit efficient 0.097) and the phosphorus deposits 199.95t/a (deposit efficient 0.214). The nutrient load is much higher, i. e. nitrogen is 42.04g/(m²·a) and phosphorus 23.76g/(m²·a). Nevertheless, the concentrations of nitrogen and phosphorus in lake increased quickly in 1998.

The main countermeasures of eutrophication controlled are reducing the nutrients from rivers and protecting the aquatic plants in Luomahu Lake.

Key Words Nitrogen, phosphorus, balance, Luomahu Lake