湖泊，滇湖，磷迁移，磷平衡，

维普资讯 http://www.cqvip.com

第9卷 第3期
1997年9月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 9, No. 3
Sep., 1997

244－248 P343.3

滇湖磷迁移过程研究(二)
——磷平衡及磷迁移的预测

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

提要 在滇湖磷的来源途径调查和磷迁移过程模型建立的基础上，计算了磷的平衡及磷浓度的变化趋势. 结果表明，滇湖磷的年入湖量为270t，年出湖量为174.5t，滞留系数为0.35. 在适当控制和合理利用磷资源的情况下，滇湖水体将继续维持目前的中营养水平；反之，滇湖磷浓度将逐年上升，湖水富营养化的进程将会大大加快.

关键词 磷预测 管理 水草保持 滇湖

1 磷平衡计算结果

根据滇湖磷迁移过程的调查资料分析[1]，滇湖磷的来源途径和湖盆内各要素中磷的现存量及磷平衡如图1所示. 结果表明：

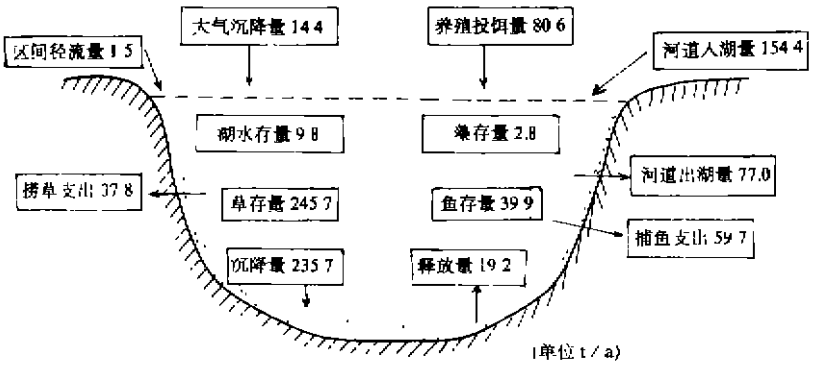

图1 磷平衡示意图

Fig. 1 Phosphorus balance in Gehu Lake

(1) 滇湖磷主要来自入湖河道，年入湖磷量为154.4t，占入湖总磷量270.0t的57.2%；其次是养殖投饵，每年投饵带入的磷量为80.6t，占入湖总磷量的29.9%，扣除收获的鱼产品(6.634t)所带出的磷量(44.5t)外，每年净投入的磷量为36.1t，占入湖总磷量的13.4%. 说明近年来湖水中磷浓度的上升(由1986年的0.027mg/L上升到1994年的0.049mg/L)，除了因

* 国家自然科学基金资助项目(编号：49371056).
** 河海大学硕士研究生.
收稿日期：1995-05-19；收到修改稿日期：1996-12-26

维普资讯 http://www.cqvip.com

湖区工农业生产迅速发展的影响外，湖面养殖投饵量的增加亦是重要原因之一.

(2) 从滇湖磷的支出途径来看，主要是鱼产品输出和出湖河道流出，分别占磷出湖总量的38.2%和37.4%；其次是捞草带出，占24.4%. 由于出湖河道带出的磷量较为稳定及捕鱼带出磷量受鱼存量的限制，可增加支出数量十分有限. 但该湖水草折生产总量达 89.9×10^4t，目前捞出的水草仅为 7×10^4t 左右，还有较大的挖掘潜力. 说明增加湖内水草的捞出量是改善该湖磷负荷的重要途径之一.

(3) 从湖内磷的迁移过程来看，主要有如下两种途径：a) 底泥中磷被沉水植物直接吸收，部分水生植物被鱼类等水生动物捕食利用，然后通过鱼产品收获带出湖外；部分水生植物枯死后沉入底泥之中. b) 底泥中磷释放到湖水中，然后被藻类等浮游植物吸收，部分藻类被鱼类等水生动物捕食利用，然后通过鱼类的捕获带出湖外；部分藻类死后又回归到底泥之中. 其中，参予第一种循环过程的磷占到总磷的90%以上，主导着湖水中磷的迁移方向，从而减少了底泥中磷的释放，有效地抑制了湖水中藻类的繁殖与生长. 如果该湖的水生植物受到破坏，参予第二种循环过程的磷量将显著增加，湖水的富养养化进程将大大加快.

2　磷迁移模型的预测结果

滇湖为一典型的草型湖泊，全湖水草覆盖面积达93%以上. 近年来，为了充分利用该湖的水草资源，提高渔业产量，人工网围养殖技术得到了大面积推广. 据1994年度调查资料统计，人工养殖面积为 $37.3km^2$，占全湖总面积($164km^2$)的22.8%，而且还有继续增加的趋势. 湖面网围养殖业的发展，一方面因养殖投饵量增加，带入了大量的氮、磷等营养物质，加重了该湖磷的负荷. 另一方面，网围面积的扩大，将使湖泊水草覆盖面积相应缩小(网围水域内，原有水草被鱼啃食，水草覆盖面积为零). 为此，根据滇湖当前的人工养殖规模和未来的发展趋势，分别假定在该湖水草生物量减少20%、50%和90%以及养殖投饵数量较目前水平增加1倍和减少1倍状况下，利用滇湖磷迁移模型，计算湖水中可溶性磷、颗粒磷和叶绿素a浓度，水草和鱼现存量等的变化结果如表1和表2所示. 结果表明：

(1) 当湖泊水草生物量减少20%、50%和90%时，湖水中可溶性磷分别增加28%、37.4%和59.4%；颗粒磷分别增加28.9%、46.0%和79.4；Chla 分别增加63.3%、219.4%和574.6%；鱼类的产量分别减少9.5%、23.9%和29.6%. 即随着滇湖养殖面积增加，水草面积减少，湖水中磷浓度和藻类数量将明显增加. 如当水草生物量减少90%时，滇湖磷浓度将由目前的0.049mg/L上升到0.077mg/L，若考虑到底泥搅动泛起的磷量，实际浓度还会大于上述数值；叶绿素a将由目前的 $2mg/m^3$ 上升到 $11.4mg/m^3$，全湖将由目前的草型中营养型湖泊发展为藻型富营养型湖泊，而且全湖鱼类的产量将下降30%左右.

(2) 目前滇湖网围养殖投饵系数为2.0左右，当养殖投饵量系数增加到4.0时，湖水中可溶磷和颗粒磷分别增加9.5%和59.3%，水草数量因鱼类的捕食量的减少而增加10.7%，藻类在可溶性磷浓度增加的正面影响和水草量增加的负面影响下变化不大(减少1.6%)，鱼产量略有增加(增加1.4%). 当网围养殖投饵数量较目前减少1倍时(即投饵系数为1.0)，湖水中可溶磷将减少5.5%，颗粒磷减少21.9%，水草量将因网围内投草量的增加而减少13.6%，藻类的数量稍有增加(2.1%)，鱼产量略有下降(减少1.9%).

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1 当水草减少时，湖水中叶绿素a(A_1)、鱼类(A_2)、颗粒磷(PP)和可溶性磷(TDP)的预测值

Tab.1 Predictive values of TDP and PP's concentrations, chla, fish when macrophyte decreases

月份	TDP		PP		Chl.a(A_1)		鱼类(A_2)	
	预测值(mg/L)	增减(%)	预测值(mg/L)	增减(%)	预测值(mg/m³)	增减(%)	预测值(kg/m²)	增减(%)
				A. 当水草减少20%时				
1	0.030	22.6	0.018	5.9	2.42	65.8	0.006	-7.7
2	0.040	37.9	0.020	17.6	2.34	64.8	0.016	-3.0
3	0.041	36.7	0.017	13.3	2.35	65.5	0.017	-5.6
4	0.055	44.7	0.024	20.0	2.37	64.6	0.019	5.0
5	0.031	29.2	0.024	50.0	3.82	63.2	0.029	6.5
6	0.036	38.5	0.032	23.1	3.88	63.0	0.035	-5.4
7	0.036	33.3	0.032	60.0	3.88	63.0	0.041	6.8
8	0.036	24.1	0.028	47.4	3.97	63.0	0.049	-5.8
9	0.036	28.6	0.030	30.4	3.88	61.7	0.060	7.7
10	0.037	8.8	0.037	15.6	3.94	62.1	0.050	12.3
11	0.036	0.0	0.040	8.1	3.12	61.7	0.034	-20.9
12	0.038	2.6	0.031	55.0	3.08	60.4	0.020	-31.0
				B. 当水草减少50%时				
1	0.033	37.5	0.018	5.9	4.40	220.7	0.006	-7.7
2	0.044	51.7	0.021	23.5	4.42	211.3	0.016	-3.0
3	0.045	50.0	0.021	28.6	4.24	198.6	0.017	-5.6
4	0.062	63.2	0.025	25.0	4.38	197.6	0.018	-10.0
5	0.032	33.3	0.033	106.3	7.68	228.2	0.026	-16.1
6	0.039	50.0	0.041	57.7	7.79	273.3	0.31	-16.2
7	0.039	44.4	0.034	70.0	7.80	227.7	0.036	-18.2
8	0.041	41.4	0.030	57.9	7.97	220.6	0.042	-19.2
9	0.038	35.7	0.034	47.8	7.92	230.0	0.050	-23.1
10	0.041	20.6	0.041	28.1	8.04	230.9	0.037	-45.1
11	0.042	10.5	0.045	21.6	6.37	230.1	0.020	-53.5
12	0.043	10.3	0.036	80.0	6.31	228.6	0.006	-79.3
				C. 当水草减少90%时				
1	0.038	58.3	0.022	29.4	9.32	538.4	0.006	-7.7
2	0.050	72.4	0.025	47.1	8.88	525.4	0.015	-4.2
3	0.052	73.3	0.021	28.6	8.91	527.5	0.016	-11.1
4	0.071	86.8	0.026	30.0	9.00	525.0	0.017	-15.0
5	0.036	50.0	0.041	156.3	16.25	594.4	0.020	-35.5
6	0.043	65.4	0.050	92.3	16.49	592.9	0.022	-15.9
7	0.043	59.3	0.043	115.0	16.52	594.1	0.024	-45.5
8	0.045	55.2	0.040	110.5	16.89	582.7	0.026	-50.0
9	0.038	35.7	0.048	108.7	16.91	604.6	0.029	-55.4
10	0.052	52.9	0.056	75.0	17.17	606.6	0.310	-45.6
11	0.058	52.6	0.059	59.5	13.58	603.6	0.032	-25.5
12	0.059	51.3	0.040	100.0	13.44	600.0	0.032	-10.3

3 保护滇湖水资源的几点建议

3.1 加强水草资源的保护

前述磷迁移过程调查和模型预测结果均表明，水草在滇湖磷资源的合理利用及生态环境的保护中，起着极为重要的主导作用，一旦水草资源受到破坏(如水草面积减少90%)时，湖泊水质将转化为藻型富营养化，鱼产量显著下降，将给湖区人民生活和生产活动带来重大损失，

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 2　当投饵量增减时，湖水中叶绿素 a、水草、可溶性磷和颗粒磷的预测值

Tab. 2　Predictive values of TDP and PP's concentrations, Chla, macrophyte, fish when fish bait changes

月份	TDP		PP		Chl. a(A_1)		水草(A_2)		鱼类(A_4)	
	预测值 (mg/L)	增减 (%)	预测值 (mg/L)	增减 (%)	预测值 (mg/m³)	增减 (%)	预测值 (kg/m²)	增减 (%)	预测值 (kg/m²)	增减 (%)
A. 当网围投饵量增加 1 倍时										
1	0.024	0.0	0.017	0.0	1.26	0.0	1.39	0.0	0.006	0.0
2	0.029	0.0	0.017	0.0	1.42	0.0	1.39	0.0	0.016	0.0
3	0.030	0.0	0.018	20.0	1.42	0.0	1.43	0.7	0.018	0.0
4	0.038	0.0	0.029	45.0	1.45	0.0	1.42	2.2	0.020	0.0
5	0.028	16.7	0.025	56.3	2.29	−2.1	1.79	4.1	0.031	0.0
6	0.031	19.2	0.034	30.8	2.32	−2.5	1.98	7.6	0.037	0.0
7	0.031	14.8	0.030	70.0	2.32	−2.5	2.71	8.4	0.044	0.0
8	0.033	13.8	0.035	84.2	2.37	−2.5	3.22	8.9	0.053	1.9
9	0.032	14.3	0.051	121.7	2.37	−1.3	3.67	8.9	0.066	1.5
10	0.039	14.7	0.067	109.4	2.36	−2.9	3.02	18.9	0.058	1.8
11	0.042	16.5	0.070	89.1	1.87	−3.1	2.47	34.2	0.045	4.7
12	0.043	16.3	0.041	105.0	1.88	−2.1	2.47	34.2	0.031	6.9
B. 当网围投饵量减少 1 倍时										
1	0.024	0.0	0.017	0.0	1.26	0.0	1.39	0.0	0.006	0.0
2	0.029	0.0	0.017	0.0	1.42	0.0	1.39	0.0	0.016	0.0
3	0.030	0.0	0.012	−20.0	1.42	0.0	1.41	−0.7	0.018	0.0
4	0.038	0.0	0.016	−20.0	1.44	0.0	1.35	−2.9	0.020	0.0
5	0.022	−8.3	0.013	−18.8	2.42	3.4	1.62	−5.8	0.031	0.0
6	0.024	−7.7	0.021	−19.2	2.45	2.9	1.67	−9.2	0.037	0.0
7	0.024	−11.1	0.017	−15.0	2.46	3.4	2.23	−10.8	0.044	0.0
8	0.026	−16.3	0.013	−30.6	2.51	3.5	2.63	−11.1	0.052	0.0
9	0.026	−7.1	0.012	−47.8	2.49	3.8	2.98	−11.6	0.064	−1.5
10	0.032	−5.9	0.019	−40.0	2.52	3.7	1.93	−24.0	0.055	−3.5
11	0.035	−7.9	0.024	−35.1	2.08	3.6	1.04	−43.5	0.040	−7.0
12	0.036	−7.7	0.017	−15.0	1.95	1.6	1.04	−43.5	0.026	−10.3

因此水草资源的保护应作为滇湖环境管理的重要任务之一. 当前应注意的问题是：1) 严格控制网围养殖面积的扩大(以当前网围面积占全湖面积 20%左右为宜)，以防止水草覆盖面积的减少. 2) 加强环湖河道入湖污水的治理，减少入湖污水(特别是一些酸性、碱性和有毒污水)对湖区水草生长的危害. 3) 制订水草资源的保护条例，规定捞草的地点、时间和捞草方式，防止水草因过度捞取而带来水草资源的萎缩. 其中以鱼类产卵繁殖区的水草资源保护尤为重要，应列为重点的保护对象.

3.2　适当减少网围养殖投饵的数量

滇湖磷来源途径调查结果表明，目前养殖投饵的数量较大，占到磷的入湖总量的 29.9%，给滇湖磷负荷带来重大影响. 从模型预测结果来看，在增加网围养殖投饵数量时，湖水中磷浓度有明显增加趋势，将为藻类的大量繁殖提供了重要的物质基础，同时还增加了养殖成本. 在减少投饵数量时，依靠增加捞草量补充网围养鱼的饵料的不足部分，不仅可以降低湖水磷浓度，而且还大大降低养殖成本. 在维持当前网围养殖产量的情况下，建议将养殖投饵系数由目前的 2.0 降低为 1.0 的数值较为合适.

3.3　增加湖内水草捞出的数量

从磷的收支平衡调查结果来看，通过捞出水草来增加磷的支出量还大有潜力可挖。如目前

维普资讯 http://www.cqvip.com

每年捞出到湖外的水草量虽仅为 7×10^4t 左右，但通过捞草支出的磷量已占到出湖量的24.4%，若能将出湖草量增加1倍(即 14×10^4t)，将大大缓解该湖磷负荷的压力，有利于湖泊水质的改善[2]，同时还可降低沿湖鱼塘养殖成本，促进湖区水产养殖业的发展.

3.4 适时更新优质高产的水草品种，提高水草资源的可利用率

滆湖水草以黄丝草为主，该水草仅在鲜嫩期间被鱼类所利用[3]，大部分的水草在枯死后又沉降到底泥中，通过鱼类捕食，转化为鱼产品带出湖外的份额较小，全湖水草整体可利用率不高(约为30%左右). 建议利用该湖网围更新的时机，将网围区搬至原网围区附近的水域，在原网围区的水域中，栽种优质高产的水草(如伊乐藻等)，新网围区内适量放养草食性鱼类，清除劣质水草品种. 待到下一次网围更新的时候，再将网围搬至原网围区的水域，无草区再恢复优质高产的水草. 这种鱼-草轮流的利用方式，不仅可以不断地更新优质高产的水草种类，而且还可以使网围养殖区底泥中所富积的磷、氮等营养物质得到充分利用，大大减轻养殖投饵对水质污染的影响.

参 考 文 献

1 黄文钰，舒金华，吴延根等. 滆湖磷迁移过程研究(一). 湖泊科学，1997，9(2)：141－146
2 朱清顺，徐德昆. 浅水草型湖泊除草技术的实验. 湖泊科学，1994，7(3)：171－176
3 刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京：科学出版社，1990. 379－382

PHOSPHORUS TRANSPORTATION PROCESSES IN GEHU LAKE (Ⅱ): PHOSPHORUS BALANCE AND PROCESSES PREDICTIONS

Huang Wenyu Shu Jinhua Wu Yangen Shu Zhenwen
(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008)

Abstract

On the basis of phosphorus source investigation and transportation modelling, the phosphorus balance is studied and the phosphorus concentration dynamics predicted. In Gehu Lake, the total input for phosphorus is 270t/a, and output 174.5t/a, with a deposit coefficient of 35%. The main input ways are inflow current, cage aquaculture and feeding. The main output ways are outflow current, harvest of fish and harvest of aquatic plants. The models of phosphorus transportation processes show that Gehu Lake will remain mesotrophic under the maintenance of macrophyte biomass. Otherwise the phosphorus concentration would be raised, and algea will become dominent to make the lake eutrophic.

Key Words Phosphorus prediction, management, macrophyte maintenance, Gehu Lake