

富营养湖泊大型围隔和围栏中磷的动态

马剑敏¹, 靳萍¹, 李益健²

(1. 河南师范大学生命科学学院, 河南 新乡 453002; 2. 武汉大学环境科学系, 湖北 武汉 430072)

摘要: 对武汉东湖大型围隔和围栏中的水生植被和不同形态的磷近 2 年的调查分析结果表明: 在围隔中的水生维管束植物得到恢复、生物量明显大于对照区的情况下, 水中的总磷(TP)、溶解活性磷(DRP)、颗粒性磷(PP)浓度明显低于对照区, 水生维管束植物的良好生长是导致磷浓度降低的主要因素, 总溶解磷(TDP)、溶解非活性磷(DNP)浓度则与对照区无显著差异; 围隔(栏)及对照区中 TP、PP 的浓度秋高冬低, TDP 浓度秋、冬季较高, 春、夏季较低, DNP 浓度春季较高, 冬季较低; TP 中 PP 含量约为 TDP 的 4~6 倍, DRP 与 DNP 的含量相近或稍有差别。

关键词: 富营养湖泊; 大型围隔; 围栏; 磷; 动态

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2001)01-0044-04

The dynamic of phosphorus in large-scale enclosure and fence in an eutrophic lake MA Jian-min¹, JIN Ping¹, LI Yi-jian² (1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453002, China; 2. Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2001, 10(1): 44-47

Abstract: The aquatic vegetation and concentration of various state phosphorus were analysed in two large-scale enclosures and one fence in East Lake of Wuhan from July, 1993 to February, 1995. When the aquatic vascular plants in the enclosures were restored and their biomass in the enclosures were obvious higher than those in the control's, the concentrations of TP (total phosphorus), DRP (dissolved reactive phosphorus) and PP (particulate phosphorus) in the enclosures were obvious lower than those in the control's. The major reasons which led their concentrations to decrease were the aquatic vascular plants growing well in the enclosures. The concentrations of TDP (total dissolved phosphorus) and DNP (dissolved nonreactive phosphorus) in the enclosures were not obvious different from those in the control's. The concentrations of TP and PP were higher in autumn, lower in winter, the concentration of TDP was higher in autumn and winter, lower in spring and summer, the concentration of DNP was higher in spring, lower in winter in the enclosures, fence and the control. PP content was as about 4 to 6 times large as TDP's, DRP content was close to DNP's or a bit difference from DNP's.

Key words: eutrophic lake; large-scale enclosure, fence; phosphorus; dynamic

利用大型围隔研究自然水体某些生态过程具有真实准确、易于控制等优点。水体富营养化是目前我国湖泊存在的普遍问题, 恢复水生植被可有效改善水质, 减轻富营养化程度。武汉东湖(E114°23', N30°33')是一个典型的浅水城郊湖泊, 已严重富营养化, 为重建其水生植被, 恢复良性生态系统, 在东湖建立了两个大型围隔和一个围栏, 对其中的水生植被恢复及水质变化等进行了定位研究, 旨在为重建和优化东湖水生植被、改善其水质提供借鉴。本文主要报道其中磷的浓度及其动态变化规律。

1 研究方法

实验区位于东湖的汤林湖区^[1,2], 设置 4 个小

区: 1, 2. 围隔, 3. 围栏, 4. 对照区, 围隔和围栏分别用防水布和孔径为 0.8 cm 的尼龙网固定在桩上围成, 高出水面约 1 m, 下沿压入底泥, 鱼赶出, 面积均为 750 m²。实验区平均水深夏季 1.2 m, 冬季 0.85 m。1993 年 7 月至 1995 年 2 月, 4 小区中总磷、总溶解磷、颗粒性磷、溶解活性磷和溶解非活性磷的浓度, 每月下旬测定 1 次, 并同时测定大型植物及浮游植物生物量, 以及水中的总氮、溶解氧、化学耗氧量等指标, 按参考文献[3]的方法进行分析。

收稿日期: 2000-07-11

基金项目: 国家“八五”科技攻关项目(85-908-01-02)部分内容

作者简介: 马剑敏(1964-), 男, 河南偃师人, 硕士, 讲师, 从事生态学方面的研究。

2 结果与分析

1993 年 7 月至 1995 年 2 月不同形态磷的测定结果见表 1。总磷为颗粒性磷与总溶解磷之和,总溶解磷为溶解活性磷(溶解无机磷)与溶解非活性磷(溶解有机磷)之和,大型水生植物和浮游植物的生物量,以及水中的总氮、溶解氧、化学耗氧量等指标的测定结果见表 2。

2.1 各小区总磷浓度及其动态

从表 1 可以看出,围隔 1、围隔 2、围栏和对照 19 个月总磷浓度的均值($\mu\text{g/L}$)分别为 61.06、60.24、73.88 和 84.70,对照区最高,围栏其次,围隔最低。方差分析结果 $F = 2.84$, $F > F_{0.05} = 2.76$,表明各小区间总磷浓度有显著差异。其中围隔小区总磷浓度的降低幅度大于围栏,说明围隔小区水生

植物吸收磷,降低水体总磷浓度,进而减轻水体富营养化的效果较围栏显著。各小区总磷浓度的季节变化趋势基本一致,均是秋季最高,冬季最低,春、夏季相近。除水生植物的吸收对总磷浓度有明显影响外,底泥释磷也有重要影响,而底泥释磷又受多种因素影响,在一定范围内,水温和 pH 升高、光照增加、溶解氧减少,均可促进底泥释磷^[4,5],硝酸盐浓度过高则抑制底泥释磷^[6]

2.2 各小区总溶解磷浓度及其动态

由表 1 的实验数据可知,围隔 1、围隔 2、围栏和对照 19 个月总溶解磷浓度的均值($\mu\text{g/L}$)分别为 12.49、10.62、12.16 和 12.32,方差分析结果 $F = 0.64$, $F < F_{0.05} = 2.76$,差异不显著,说明围隔和围栏对水体总溶解磷浓度的影响均不明显。各小区总溶解磷的月变化趋势较相近,季节变化规律不太明显,大致是春、秋季浓度较高,冬、夏季浓度较低。总

表 1 实验区各态磷浓度的月变化(1993.8~1995.2)

Table 1 Monthly variations of P concentrations in different status in experimental area (from Aug., 1993 to Feb., 1995)

磷 ¹⁾ Phosphorus ¹⁾	浓度月变化 Monthly variations of different status P concentration ($\mu\text{g/L}$)																		
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
总磷 Total phosphorus (TP)																			
1	68.41	76.74	108.83	76.55	29.45	37.17	55.81	18.84	71.45	65.50	51.31	34.62	83.35	110.02	137.62	50.17	34.17	16.30	35.54
2	61.33	81.03	106.32	89.63	33.15	40.08	64.12	21.46	82.81	60.23	55.33	29.46	67.34	114.45	126.23	39.46	28.22	19.67	33.17
3	89.66	93.20	114.01	96.09	39.68	49.63	60.94	31.76	100.73	70.12	68.41	33.00	105.83	118.72	130.78	98.95	46.32	25.03	31.15
4	100.25	103.79	125.04	112.95	52.38	58.63	74.83	43.87	108.92	105.31	89.04	54.44	117.37	124.55	134.51	83.32	51.98	30.12	37.98
总溶解磷 Total dissolved phosphorus (TDP)																			
1	22.24	17.52	11.23	13.50	14.68	14.50	11.98	8.60	23.48	21.60	12.41	3.29	8.52	14.60	8.60	7.92	9.91	5.42	7.24
2	13.41	10.87	9.68	12.12	20.77	16.71	8.60	7.25	15.36	13.92	13.01	4.98	7.25	13.53	7.25	7.25	8.94	4.33	6.51
3	20.03	11.64	9.42	12.99	16.04	14.01	13.33	12.65	19.42	16.94	7.68	5.96	10.48	15.74	8.94	8.60	10.01	8.24	8.83
4	25.49	13.41	12.44	14.01	15.36	13.33	9.95	12.65	17.16	12.39	8.36	6.37	9.28	17.87	10.63	8.90	10.90	7.24	8.21
溶解活性磷 Dissolved reactive phosphorus (DRP)																			
1	6.61	7.38	7.15	7.94	7.56	5.27	3.62	2.89	1.02	4.01	0.22	-	3.23	4.91	3.69	2.25	8.19	3.57	4.03
2	6.02	7.02	6.31	6.87	6.59	2.92	2.22	2.03	1.65	2.58	0.14	-	3.78	5.42	4.15	2.79	8.66	3.14	4.78
3	8.55	10.38	8.75	9.04	9.45	4.80	4.33	3.39	-	4.91	4.48	3.66	6.87	8.66	6.27	5.02	9.13	3.97	4.41
4	10.04	10.76	7.94	9.81	12.44	6.78	5.69	4.12	-	6.21	5.84	5.15	7.72	10.91	7.52	5.72	9.59	5.37	5.15
溶解非活性磷 Dissolved nonreactive phosphorus (DNP)																			
1	15.63	10.14	4.08	5.56	7.12	9.23	8.36	5.71	22.46	17.59	12.19	3.29	5.29	9.69	4.91	5.67	1.72	1.85	3.21
2	7.39	3.85	3.37	5.25	14.18	13.79	6.38	5.22	13.71	11.34	12.87	4.98	3.47	8.11	3.10	4.46	0.28	1.19	1.73
3	11.48	1.26	0.67	3.95	6.59	9.21	9.00	9.26	19.42	12.03	3.20	2.30	3.61	7.08	2.67	3.58	0.88	4.27	4.42
4	15.45	2.65	4.50	4.20	2.92	6.55	4.26	8.53	17.16	6.18	2.52	1.22	1.56	6.96	3.11	3.18	1.31	1.87	3.06
颗粒性磷 Particulate phosphorus (PP)																			
1	54.46	86.10	100.08	73.51	20.00	41.90	5.19	15.45	85.43	57.49	51.00	34.62	79.12	107.11	131.73	42.92	35.98	25.90	31.51
2	52.78	93.23	100.01	82.76	20.85	37.16	63.90	17.43	91.16	53.78	55.33	29.46	62.56	113.03	121.08	22.67	19.61	18.01	28.39
3	79.62	85.82	106.90	76.28	26.33	38.83	42.61	18.37	100.73	65.21	63.93	29.34	98.96	115.06	124.10	91.93	21.09	10.33	26.74
4	85.13	93.03	117.50	109.55	27.94	41.85	66.44	24.50	108.92	99.47	73.20	39.90	111.65	121.64	128.99	35.60	28.39	14.30	32.83

¹⁾ 1, 2: 围隔 enclosure; 3: 围栏 fence; 4: 对照 control

表2 实验区的主要水质指标
Table 2 Main indexes of water quality in the experimental areas

项目 Index	实验区 ¹⁾ Area ¹⁾	秋 Autumn 1993	冬 Winter 1993	春 Spring 1994	夏 Summer 1994	秋 Autumn 1994	冬 Winter 1994	平均 Average
总氮 Total nitrogen ($\mu\text{g/L}$)	1	1 136.94	487.23	705.09	640.96	874.81	553.46	733.08
	2	1 066.30	477.86	736.58	645.98	805.31	514.34	707.73
	3	1 200.86	967.66	867.12	675.66	835.86	592.56	856.62
	4	1 442.55	1 063.02	1 112.37	835.86	845.45	737.74	1 006.17
大型植物生物量 Plant biomass (kg/m^2)	1	3.098	2.27	3.756	6.686	2.012	0.351	3.029
	2	3.120	2.426	3.842	7.092	2.07	0.472	3.172
	3	2.844	2.265	2.42	6.55	2.996	0.692	2.961
	4	1.710	0.180	1.028	3.924	1.496	0.004	1.390
溶解氧 DO (mg/L)	1	7.257	9.550	10.500	5.480	4.067	9.600	7.742
	2	7.622	8.810	10.067	5.347	4.600	9.450	7.649
	3	7.201	9.857	8.893	6.173	4.880	8.457	7.577
	4	6.976	8.407	9.233	7.400	6.187	9.277	7.913
化学耗氧量 COD_{Mn} (mg/L)	1	5.567	4.823	4.535	4.384	4.539	2.630	4.413
	2	5.580	4.463	4.573	4.432	4.746	2.642	4.406
	3	5.360	4.294	3.816	4.075	4.739	2.662	4.158
	4	5.360	4.427	3.843	4.578	4.900	2.973	4.347
浮游植物生物量 Plankton biomass (mg/L)	1	2.53	1.32	3.30	2.52	1.92	1.12	2.12
	2	2.41	1.22	2.98	2.39	1.80	0.98	1.96
	3	2.87	1.84	4.65	3.06	2.43	1.01	2.64
	4	4.12	1.87	5.96	5.05	4.30	1.86	3.86

¹⁾ 1, 2: 围隔 enclosure; 3: 围栏 fence; 4: 对照 control

溶解磷浓度主要受植物的吸收及底泥的释放与吸附等因素的影响。

2.3 各小区溶解活性磷的浓度及其动态

围隔1、围隔2、围栏和对照19个月溶解活性磷浓度的平均值($\mu\text{g/L}$)分别为4.40、4.06、6.11和7.20,对照最高,围栏其次,围隔最低。方差分析结果 $F = 5.78$, $F > F_{0.01} = 4.12$,表明各小区溶解活性磷浓度有极显著或显著差异。围隔小区溶解活性磷浓度的降低幅度大于围栏,说明围隔小区水生植物吸收磷,降低水体溶解活性磷浓度的效果较围栏显著。各小区溶解活性磷浓度的季节变化趋势基本一致,大致是秋、冬季浓度较高,春、夏季较低。溶解活性磷是水生植物吸收的主要形式,其浓度受水生植物生长状况的影响较大,此外,底泥的释放与吸附也有明显影响。

2.4 各小区溶解非活性磷浓度及其动态

围隔1、围隔2、围栏和对照19个月溶解非活性磷浓度平均值($\mu\text{g/L}$)分别为8.09、6.56、6.05和5.12,方差分析结果 $F = 1.25$, $F < F_{0.05} = 2.76$,各小区间差异不显著,表明围隔和围栏对降低水体溶解

非活性磷的效果不明显。各小区溶解非活性磷浓度的变化趋势在多数月份相似,其季节变化大致是春季浓度较高,冬季较低。

2.5 各小区颗粒性磷的浓度及其动态

围隔1、围隔2、围栏和对照19个月颗粒性磷浓度的平均值($\mu\text{g/L}$)分别为48.66、49.62、61.72和72.38,对照最高,围栏其次,围隔最低。方差分析结果 $F = 2.80$, $F > F_{0.05} = 2.76$,各小区间差异达显著水平。围隔及围栏区颗粒性磷浓度低于对照,说明二者对降低水体颗粒性磷浓度均有一定作用,围隔的作用更明显。各小区颗粒性磷浓度季节变化基本一致,总体上看,冬季浓度最低,秋季最高,依冬、春、夏、秋的顺序逐渐增高。影响颗粒性磷浓度高低的因素是水中不溶性颗粒物的多少,包括生物体和非生物体,生物颗粒性磷受浮游植物现有量的影响^[7]。非生物颗粒性磷则由于可被水生植物吸收^[8]和吸附而受到影响。此外,对浅水水体,由于风浪等因素引起的水搅动也对非生物颗粒性磷产生重要影响^[9]。

综合上述分析结果可清楚看出,总磷中颗粒性磷的含量最高,约为总溶解磷的4~5倍,总溶解磷

中溶解活性磷和溶解非活性磷的浓度相近。围栏,尤其是围隔对降低水体中总磷、颗粒性磷和溶解活性磷浓度的效果显著。

2.6 各小区植物生物量、水质指标及其季节变化

各小区植物生物量及主要水质指标的测定结果见表2。可以看出,围隔1、围隔2、围栏和对照区的大型植物生物量(kg/m^2)大小顺序为围隔>围栏>对照;浮游植物生物量的变化与大型植物相反;水体中总氮浓度随着大型植物生物量的增加而减少;溶解氧及化学耗氧量各小区无显著差异,可见围隔有促进水生植物生长降低总氮浓度的效果。各小区总氮的季节变化趋势为秋季>春季>夏季>冬季;大型植物生物量夏季>春季>秋季>冬季;浮游植物生物量春季>夏季>秋季>冬季;溶解氧春季>冬季>夏、秋季;化学耗氧量变化规律不明显。

3 讨论

3.1 围隔(栏)对不同形态磷浓度变化的影响

实验区两围隔中的总磷、颗粒性磷及溶解活性磷浓度明显低于对照区,而与围栏中的相应浓度无明显差异,总溶解磷和溶解非活性磷的浓度在各区间均无显著差异,所以,从表观上看,围隔引起了其中总磷、颗粒性磷及溶解活性磷浓度的降低,进一步分析可知,总磷浓度的降低主要归因于颗粒性磷和溶解活性磷浓度的降低,其中颗粒性磷占总磷的绝大部分,故颗粒性磷浓度的变化对总磷起着关键性作用。

3.2 水生植被对各态磷浓度变化的影响

富营养湖泊经围隔或围栏处理后,其中的维管束植物得到了较好恢复,围隔(栏)中的生物量明显大于对照区^[1]。生物量的季节变化趋势是:夏季最高,冬季最低,春、秋季相近,1994年夏、秋季高于1993年夏、秋季。联系到水中不同形态磷的变化,可

以发现,溶解活性磷的浓度冬季较高,夏、春季较低,与生物量的变化大致相反,溶解活性磷、总磷均在夏季较低,秋季较高,这与植物夏季生物量大、消耗磷较多,而秋季衰败,释放出较多磷元素有关,颗粒性磷浓度秋季最高,与水生维管束植物在该季大衰败产生许多碎屑有关,冬季水生植物碎屑少,浮游植物生物量最小,这与该季颗粒性磷浓度最低相一致。把每个月各小区中的生物量与不同形态磷浓度间进行回归分析,则发现生物与各态磷浓度间相关性不显著。原因是,水中磷的含量不仅受水生维管束植物吸收的影响,而且还会由于溶解氧、水温、pH、光照以及硝酸盐浓度等因素通过影响底泥释磷而影响水中磷浓度。由此看来,水中磷的浓度受多种因素共同作用,变化很复杂。

参考文献

- [1] 马剑敏,严国安,任南,等. 东湖大型围隔及围栏内植物群落和水质的变化[J]. 植物资源与环境, 1996, 5(3): 35-40.
- [2] 马剑敏,严国安,任南,等. 东湖围隔(栏)中水生植被恢复及结构优化研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(5): 535-540.
- [3] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [4] 尹大强,覃秋荣,阎航. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响[J]. 湖泊科学, 1994, 6(3): 240-244.
- [5] 刘玉生,邹兰,郑丙辉. 光照、温度和藻类对底泥释放磷的影响[J]. 环境科学研究, 1992, 5(2): 41-44.
- [6] 彭近新. 湖水硝酸盐浓度对底泥磷释放的影响(译文)[J]. 环境科学与技术, 1983, (增刊): 52-59.
- [7] Heron J. The seasonal variation of phosphate, silicate and nitrate in waters of the English Lake District [J]. *Limnol Oceanogr*, 1961, 6: 338-346.
- [8] 陈田耕. 磷在湖泊富营养化中的作用[J]. 海洋湖沼通报, 1986, (1): 79-86.
- [9] 李德尚,焦念志,刘长安. 浅水水库中磷的周年变动及其影响因素[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(2): 104-110.

(责任编辑:宗世贤)