利用大型围隔研究沉水植被对水体富营养化的影响*

戴 莽 倪乐意 谢 平 王 建 高村典子[1)]

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

1) (日本环境厅国立环境研究所 茨城县 305)

摘要 在严重富营养化的东湖设置大型围隔(20 × 29m)两个,并在其中引种沉水植物—菹草(*Potamogeton crispus* L.),探讨了菹草的恢复对水体富营养化的影响。菹草的恢复,使两个大型围隔中的各种营养盐水平都显著地低于围隔外围的湖水($P<0.01$),溶解氧和透明度显著升高,电导率明显下降,即水质得到了明显的改善。又将其中一个围隔中已恢复的菹草全部收割并移出,在一个多月的期间,未被收割的围隔内水体中各种营养盐浓度比已收割围隔稍低,但未能达到统计学上的显著差异($P>0.6$),对水体浮游植物叶绿素 a 浓度也没有显著影响。即在短期(一个月左右)未使水质明显恶化。

关键词 大型围隔试验,菹草的去除和重建,水生植物对湖水的影响

湖泊富营养化的治理已成为当前淡水生态学研究的中心问题之一。沉水植被对水体富营养化有何影响?有关这一问题已有一些报道,但多数为不同植被类型的湖泊比较研究[1—3],仅倪乐意等[4]利用大型围隔做了实验研究但仅使用了一个围隔。本研究的目的是利用大型围隔恢复沉水植被,探讨沉水植物的恢复对水体富营养化的影响及探讨收割并移出已恢复的沉水植被对水体富营养化的影响,为利用沉水植物治理水体富营养化提供依据。

1. 材料与方法

1.1 围隔设置与菹草恢复 在中国科学院东湖生态站旁建有两个大型围隔,一边靠湖岸,其余三边用聚乙烯布拦隔,从1989年引种沉水植物成功后,多年来围隔内沉水植被(主要是菹草)生长良好[5]。菹草属单子叶植物眼子菜科的一种沉水植物,是特殊的冬春季生活型植物,围隔内菹草一般从10月末到次年早春为萌发期,到4月末为营养生长期,5月下旬植株的根部首先死亡,整株浮上水面,并逐渐死亡,结束其生活周期。由于本研究的主要目的之一是探讨人工移出菹草后,底泥营养盐溶出对水体营养盐的影响,因此,选

* 本研究得到国家自然科学基金(合同编号:39430101)、中国科学院重大项目(KZ95T-04-04)、中日合作研究"富营养化浅水湖泊群落生态系统管理的研究"的资助
1997-01-20收到;1998-04-27修回

择植物群落生物量最大或接近最大时，植物的再生速度较慢，由再生而造成的干扰也较小。

1995 年 7 月拆除围隔三边的旧布，使围隔内水体与围隔外湖水充分混合，于 1995 年 10 月重新用新的聚乙烯布围隔，从此时起，围隔内水与湖水便不能交换。两个围隔内的沉水植物开始自然恢复，自本实验开始时的 4 月，水草已相当茂盛。

1.2 样点设置与分析方法

在两个围隔内利用对角线等分法设置五个采样点，并同时在围隔外设置与围隔内采样点离湖岸等距离的三个采样点。实验于 4 月 9 日第一次采集完水样后，将其中一个围隔(B)的菹草全部人工收割，并将被割的菹草全部从围隔中移出，另一个围隔(A)的菹草保持完好，之后每周取样一次，共取样六次，最后一次采样(5 月 20 日)时菹草已全部浮上水面，但无明显腐烂。pH、溶解氧、电导率、温度每间隔 3—5d 测定一次，至 5 月 6 日，共测定七次。浮游植物叶绿素 a 浓度和菹草生物量每两周取样一次，共取样四次。实验期间温度变化为 12—21℃，图表中的结果围隔(A)、(B)为五采样点的平均值 ± 标准差，湖区(C)为 3 个采样点的平均值 ± 标准差。

水体中各种形态的氮、磷浓度的测定方法均采用标准方法[5—6]，水样取表底混合样，经 0.45μm的混合纤维素酯膜过滤，过滤的水样测定 NH_3-N、NO_2-N、NO_3-N、PO_4-P，未过滤水样测定 TP、TN；溶解氧、pH、温度、电导率采用美国产 YSI-6000型探头现场测定，透明度采用萨氏黑白盘测定；叶绿素 a 采用 90% 丙酮抽提，分光光度计法(722 型)测定，用 Lorenzen方程计算[7]；菹草生物量采用 0.2m^2样方法测定。

2 结 果

2.1 各种形态的氮、磷

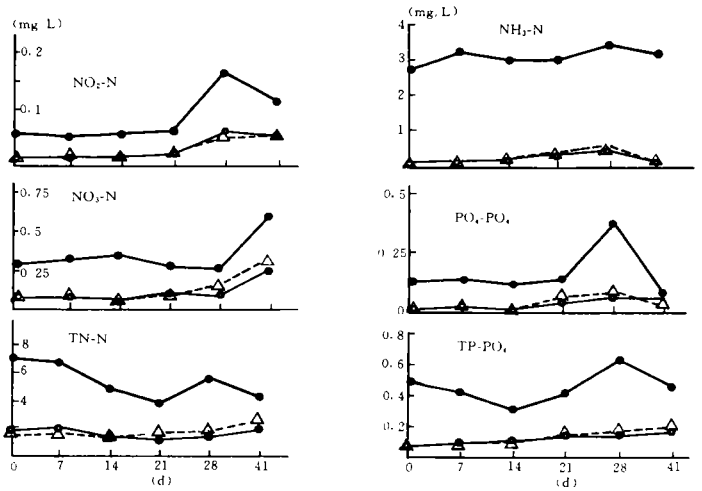


图1 围隔A、围隔B和湖区C中各种形态氮磷平均值的变化

Fig.1 Changes in the mean concentration of various nitrogen and phosphorus compounds in the enclosures and the surrounding lake water

NH_3-N在围隔(A)、(B)中有逐步增加的趋势，且围隔(B)比围隔(A)稍高，实验结束时NH_3-N比开始时增加了6—7倍，而湖区(C)没有呈现明显的增减趋势。PO_4-P在围隔(A)、(B)中也呈上升趋势(最后一次除外)，增加幅度达10倍左右，湖区(C)除第五次水体中浓度很高外，其它都变化不大。NO_3-N在围隔(A)、(B)和湖区(C)中最后一次明显升高外，其它时间波动较小。TP在围隔(A)、(B)中均呈逐步增加趋势，增加幅度约两倍，湖区(C)总体上呈上升趋势。TN在围隔(A)、(B)中变动不大，而湖区(C)总体上呈下降趋势。所测6项指标，湖区(C)都明显高于围隔(A)、(B)(图1)。

2.2　电导率、pH、溶解氧

透明度在围隔(A)、(B)与湖区(C)中相差很大，湖区(C)为0.3—0.5m，而围隔(A)、(B)在水深小于1.2m的地方见底，在水深大于1.2m的地方有1.2—1.4m。pH在围隔(A)、(B)和湖区(C)中均为波动状态，围隔(A)、(B)中无明显差异，湖区(C)比围隔(A)、(B)低近2个单位；电导率在围隔(A)、(B)中都变化不大，均只有湖区(C)的一半左右；围隔(A)、(B)溶解氧浓度在第二次采样急剧上升，之后逐渐下降，湖区(C)的溶解氧浓度则波动较大，均只有围隔(A)、(B)浓度的一半。电导率、pH、溶解氧变化(图2)。

2.3　浮游植物叶绿素a浓度和菹草生物量

从表1可见，在4月7日，围隔(B)的菹草生物量为围隔(A)的4倍多，围隔(B)的菹草在被收割后的半个月，其生物量也只有1.2gDW / m^2。但从五月初开始，菹草逐渐开始死亡，至五月底，两个围隔中的菹草均已死亡。

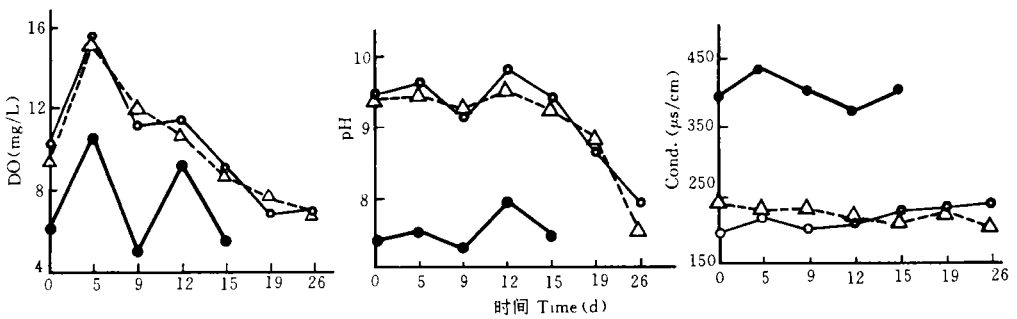


图2　围隔A、围隔B和湖区C中溶解氧、pH和电导平均值的变化。

Fig.2　Changes in the mean value of DO, pH and conductivity in the enclosures and the surrounding lake water.

表1　围隔及湖区中浮游植物叶绿素a浓度(μg / L)和菹草生物量(g DW / m^2)平均值的变化

Tab. 1 Changes in chlorophyll a amount of phytoplankton (μg / L) and biomass of *Potamogeton crispus* (gDW / m^2) of the enclosures and lake water.

时间 Time	围隔A 叶绿素a Chl-a	Encl.A 菹草生物量 Biomass(P. c)	围隔B 叶绿素a Chl-a	Encl.B 菹草生物量 Biomass(P. c)	湖区C 叶绿素a Chl-a	Lake water 菹草生物量 Biomass(P. c)
0407	8.80(±3.40)	91.0(±59.47)	12.50(±1.68)	381.1(±8.6)	114.56(±8.69)	0
0421	20.89(±7.29)	214.0(±17.60)	6.06(±0.71)	1.2(±0.5)	22.66(±5.24)	0
0505	3.40(±1.00)	297.6(±70.0)	2.43(±0.23)	7.4(±2.6)	48.99(±15.26)	0
0527	12.56(±0.46)	0	11.53(±1.68)	0	25.66(±1.70)	0

很明显，菹草的收割移出并没有导致浮游植物叶绿素 a 浓度的明显增高，只是随着菹草的彻底死亡，五月中旬以后，叶绿素 a 浓度开始回升。此外，湖区(C)的叶绿素a浓度均远远高于围隔(A)、(B)。

2.4 显著性检验

用 F-测验的结果表明，每次取样所测各项指标(TP, PO_4-P, TN, NH_3-N, NO_2-N, DO, pH, 电导)在围隔(A)、(B)的 5 个样点间和湖区(C)的三个样点间无显著性差异；在整个实验期间，所测各项指标的平均值在围隔(A)、(B)之间无显著性差异($p>0.6$, $N=8$)，但除水温外，在围隔(A)、(B)与湖区(C)之间均有显著性差异($p<0.01$, $N=8$)。

3 讨 论

结果表明沉水植物的恢复对水体的富营养化具有明显的改善作用。虽然没有从 1995 年 7 月就开始对围隔内外的水质进行分析，但通过对离围隔不远的东湖长期定位观测点(II 站)的湖水进行的每月一次的监测来看，观测点 II 站湖水中的氮、磷含量与实验期间围隔外围湖水中的氮、磷含量接近，即均属严重富营养化状态。至 4 月初，与围隔外围的湖水相比，两个围隔内的各种营养盐浓度均显著降低，溶解氧浓度、pH 和透明度显著升高，浮游植物叶绿素 a 含量及电导率显著下降($P>0.01$, $N=15$)。即菹草的恢复使水质得到明显改善。这可能主要是因为菹草对水体中营养物的吸收利用以及茎叶对水体悬浮物的吸附作用，有效地降低了水体营养物的浓度和悬浮物的含量，从而使水体透明度提高，电导率降低[4,8]。另一方面可能是因为菹草的恢复在易受风浪涡流及底层鱼类的扰动影响而浅水湖泊底层，形成了一道屏障，使底泥中营养物溶出速度明显受到抑制[9]。综上所述，在浅水富营养型湖泊中，沉水植被的恢复能有效地改善水体富营养化状况，是湖泊富营养化治理的重要途径之一。

与未被收割的围隔(A)相比，在菹草被人工收割后的围隔(B)，虽然各种形态的氮、磷浓度有一定程度的上升(图 1)，但均未能达到统计学上的显著性差异。由于围隔(B)中的菹草被人工收割后已全部从围隔中移出，因而积存在菹草中的营养盐也随之而从系统中带走。因此，围隔(B)中的菹草被人工收割后导致的营养盐浓度的上升可能主要是由于菹草的消失导致了底泥中营养盐溶出速度加快的缘故。由于菹草从 5 月中旬开始衰老死亡，菹草被收割后至菹草开始死亡只有约 1 个月的时间，底泥中营养盐的溶出还未能使营养盐的升高达到显著的水平。因此，在今后的实验中应适当提早收割时间。

菹草的收割并没有导致浮游植物叶绿素 a 含量的显著增加，这也可能主要是由于收割后的植株已从系统中移走，而未能导致系统中营养盐浓度的显著增加所致。同时也说明，实验期间，光并不是限制浮游植物生长的主要因子，因为随着菹草的消失，水体中的光照强度应有一定程度的提高，但也未能增加浮游植物的现存量。当然，浮游植物叶绿素 a 浓度也与其它因子有密切关系，如浮游动物的牧食和滤食性鱼类的摄食有密切关系[10]。

参 考 文 献

[1] 谢 平、陈宜瑜. 我国内陆水体中的"魔鬼四重奏"——生物多样性的丧失与人类活动. 水生生物学报，1996，**20**(增刊)：6—23

[2] 史为良、董双江，王立柱. 有水草和无水草的两个浅水水库生物生产量的比较. 大连水产学报，1987，(1)：

11—18

[3] 李永函、金送笛，刘国才. 菹草型水体的理化因子和水生生物状况. 大连水产学报. 1992，6(2)：1—12

[4] 倪乐意等. 在富营养型水体中重建沉水植被的研究. 见刘建康主编，东湖生态学研究(二)，北京：科学出版社. 1995，302—311

[5] American Public Health Association. The Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (16th edition). Baltimore, Maryland: Port City Press, 1985

[6] 中国科学院水生生物研究所编. 淡水渔业增产新技术. 南昌：江西科学技术出版社. 1988，409—414

[7] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll and phaeo-pigment: spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr.* 1967, **12**: 343—346

[8] Christian R. The effect of submerged aquatic vegetation on phytoplankton and water quality in the tnal freshwater Potomac river. *J. Freshw, Ecol.* 1990, **5**(3): 279—288

[9] Charles D. The importance of emergent vegetation in reducing sediment resuspension in wetlands. *J. Freshw. Ecol.*, 1990, **5**(4): 467—473

[10] Xie Ping. Experimental studies on the role of planktivorous fishes in the elimination of *Microcystis* bloom from Donghu Lake using enclosure method. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 1996, **14**(3): 193—204

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECTS OF SUBMERSED MACROPHYTES ON THE EUTROPHICATION OF LAKE WATER USING LARGE-SIZED ENCLOSURES

Dai Mang, Ni Leyi, Xie Ping, Wang Jian and Noriko Takamura[1)]

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430072)

1) (*National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki*, 305)

Abstract　Two large-sized enclosures (each 20 × 29m) were set up in the Shuiguo Hu Bay near the west end of the hypereutrophic Lake Donghu. At the beginning of the experiment (October 1995), no macrophytes were present in the enclosures and a submersed macrophyte, *Potamogeton crispus,* was introduced into both enclosures. In April 1996, *P. crispus* became very abundant in both enclosures (The maximum 214—381gD. W / m^2). Compared with lake water outside the enclosures, the reestablishment of *P. crispus* significantly decreased the concentrations of various nitrogen and phosphorus compounds and conductivity, and increased significantly dissolved oxygen and transparency of the water in the enclosures ($p<0.001$). In April 7, *P. crispus* were removed from Encl. B. One month later, the concentrations of nutrients and chlorophyll a were only slightly higher in Encl. B than in Encl. A, and there was no statistically significant difference between them , i.e., the removal of *P. crispus* did not cause a significant deterioration of water quality within such a short period of time.

Key words　Large-sized enclosures, Re-establishment and removal of *Potamogeton crispus,* Impacts of macrophytes on eutrophication of lake water