

云龙湖水库沉水植物净化水质的原位围隔试验

胡 莲¹, 万成炎¹, 沈振锋²

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北武汉 430079; 2. 华中农业大学发展规划处, 湖北武汉 430070)

摘要: 在富营养化水库——云龙湖水库中建立小型围隔区, 对 4 种沉水植物及组合进行了净化水质的现场试验研究。沉水植物恢复后, 能够有效提高水体的透明度, 改善水体的溶解氧状况, 对水体中的 TN 和 COD_{Cr} 、 BOD_5 有明显的去除作用。在受试的沉水植物中, 狐尾藻对水体透明度的改善效果最好, 金鱼藻对水体的增氧效果最好, 苦草对总氮的吸收作用最明显, 狐尾藻去磷效果最好, 狐尾藻和金鱼藻对有机质的去除效果较好, 且不同种类组合具有一定的协同作用。

关键词: 云龙湖水库; 沉水植物; 水质净化; 原位; 围隔

中图分类号: X171.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2008)02-0017-05

云龙湖水库位于江苏省徐州市南郊, 现有水域面积 5.8 km², 平均水深 1.67 m, 总库容 3330 万 m³, 其中兴利库容 596 万 m³, 防洪库容 2590 万 m³, 死库容 315 万 m³, 是一座集防洪、灌溉、水产养殖、旅游和城市冲污等多项功能于一体的中型水库。近年来, 随着城市的发展, 大量生活污水和工农业废水排入库区, 云龙湖水库水质恶化, 已发展成为富营养化水库(万成炎等, 2005)。在治理水体富营养化的多种措施中, 水生植物恢复具有低耗、高效和环境安全的特点, 正日益受到广泛关注(Amlg Melzer, 1999)。在 4 种生活型水生植物中, 沉水植物对富营养化湖水的净化能力最强, 能明显地去除水体中的 N、P 等营养物质, 还能浓缩和富集一些重金属元素和某些小分子有机污染物质(Howard Williams C, 1981; Carpenter S R & Lodge D M, 1981; Christian R, 1990; 黄文成, 1994; 戴莽, 1999)。本研究通过原位围隔试验, 比较分析 4 种沉水植物及其组合对水体的净化效果, 为云龙湖开展沉水植物重建工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

2005 年 4~9 月, 选择云龙湖水库西湖南岸避风水域进行试验, 该水域离岸约 10 m, 水深约 1 m。

收稿日期: 2008-06-28

基金项目: 水利部科技创新项目 (Sex2003-20) 资助

通讯作者: 万成炎, 研究员。E-mail: chyw@mail.ih.ac.cn

作者简介: 胡莲, 女, 1972 年生, 助理研究员。E-mail: huli@

mail.ih.ac.cn

1.2 围隔的构建

用钢管作骨架, 毛竹作支架, 以缝合的聚丙烯防水布围成 6 个 5 m × 5 m 的半封闭式正方形无底围隔, 防水布底部包裹石龙踩入底泥, 上部缝合在毛竹上, 毛竹固定在骨架上, 上部可根据水位的涨落调节围隔的高低。将 6 个围隔自西向东一字排开, 每个围隔间距 3 m, 依次编号为 E₁、E₂、E₃、E₄、E₅ 和 E₆。

1.3 沉水植物配置

马来眼子菜 (*Potamogeton malaiianus* Miq.)、苦草 (*Vallisneria spiralis* L.)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum* L.) 和狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum* L.) 等水草均取自云龙湖水库附近水域。栽种时, 除苦草采用扦插法外, 均以泥裹茎采用抛栽法, 栽种时间在 4 月 12 日和 13 日, 以不栽种水草为对照。沉水植物的配置见表 1。

1.4 采样与分析

整个试验期间共采集水样 6 次, 每月 10 日采样。第 1 次采样为栽种水草前, 第 5 次采样后清除水草。采样按常规方法进行, 按水质分析标准方法(戴泽贵, 1996; 金相灿, 1997) 测定水体透明度 (SD)、溶解氧 (DO)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、化学需氧量 (COD_{Cr})、生化需氧量 (BOD_5)。

2 结果与分析

沉水植物栽种后全部成活。5 月除苦草生长稍慢外, 其它几种沉水植物均能迅速生长。6 月后 3 种水草组合 (E₄)、金鱼藻 (E₅) 和狐尾藻 (E₆) 迅速扩展, 6 月 10 日采样时均已覆盖整个围隔, 其中围隔 E₄ 中有浮萍 (*Lemna polyrrhiza* Linn.) 侵入。7 月试验水草继续生长, 马来眼子菜 (E₂) 也覆盖了整个

围隔, E_3 中的苦草发展至围隔的 70%, 围隔 E_4 中的浮萍发展迅速, 完全侵占整个围隔。8 月围隔 E_2 中马来眼子菜开始衰退, 围隔 E_3 中苦草略有发展, 围隔 E_4 中狐尾藻和苦草全部死亡, 浮萍覆盖度仍为 100%, 围隔 E_5 中金鱼藻继续发展, 密度达到最大,

表 1 各围隔中沉水植物的配置

Tab 1 The allocation of submersed macrophyte in each enclosure

围隔	水草种类	株数/株	株长/cm	质量/kg
Enclosures	Submersed macrophyte	Quantity	Total length	Weight
E_1	对照 CK, no plants			
E_2	马来眼子菜 <i>Potamogeton malayanus</i> Miquel	150	60	5
E_3	苦草 <i>Vallisneria spiralis</i> L.	250	20	5
	马来眼子菜 <i>Potamogeton malayanus</i> Miquel	60	60	2
E_4	苦草 <i>Vallisneria spiralis</i> L.	120	20	2
	狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	20	50	1
E_5	金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	125	40	5
E_6	狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	100	50	5

2.1 沉水植物对水体透明度的改善

由图 1 可以看出, 移植有沉水植物生长的围隔 (E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6) 在沉水植物生长期, 水体透明度明显高于对照围隔和大库水体, 对照围隔的透明度又高于大库水体。这种现象可能是沉水植物吸附了水体中的悬浮物质, 从而提高了水体的透明度; 而大库水体的透明度低, 主要是由于风浪搅起大库底泥, 使水体中悬浮物质增多。比较栽种单一沉水植物围隔 (E_2 、 E_3 、 E_5 、 E_6) 和栽种多种沉水植物围隔 E_4 的透明度, 可以看出围隔 E_4 显著高于其他围隔; 单独看这几种沉水植物对透明度的改善, 狐尾藻 (E_6) 对水体透明度的改善效果最好, 苦草 (E_3) 次之, 金鱼藻和马来眼子菜再次之。

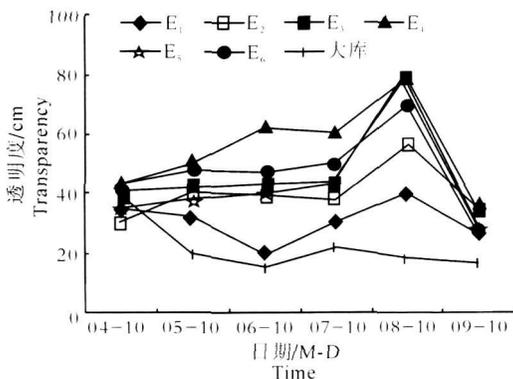


图 1 试验期间水体透明度的变化

Fig 1 Variations in water transparency in the enclosures and in the open reservoir during the experimental period

6 月以后, 围隔 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6 中沉水植物均迅速生长, 发展很快, 肉眼看, 水体透明度都很高, 几乎都能见底。图 1 中 6 月 10 日到 7 月 10 日围隔

围隔 E_6 中狐尾藻开始衰退。8 月 10 日清除各围隔中水草, 生物量分别是马来眼子菜 (E_2) 为 54 kg 苦草 (E_3) 28 kg 3 种水草配置 (E_4) 63 kg 金鱼藻 (E_5) 149 kg 狐尾藻 (E_6) 36 kg

E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6 水体透明度变化不大主要受水位的限制。因为 6 月后, 实验区水位变化很剧烈, 围隔中水位经常在 60 cm 以下。8 月后透明度升高的幅度较大, 主要是因为实验区连降暴雨, 水位升高很快, 8 月 10 日采样时围隔内水深达到 140 cm。8 月 10 日采样后, 将沉水植物全部清除, 可以看出各围隔在 9 月 10 日的透明度都有显著下降, 这种现象在一定程度上也说明了种植沉水植物能够改善水体的透明度。

2.2 沉水植物对水体溶解氧的影响

水体溶解氧含量的多少是评价水质优劣的重要指标, 而溶解量是由植物光合作用放氧和底质有机物消耗氧的综合作用决定的, 与测定日的日辐射量高低有很大的关系。由图 2 可以看出, 5 月至 7 月栽种沉水植物围隔 (E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6) 的溶解氧含量普遍低于对照围隔 (E_1) 和大库水体, 这可能与采样时光照强度有关, 也可能是沉水植物的生长需要消耗氧, 而光合作用所需的光照不够, 沉水植株产生的溶解氧低于消耗氧。8 月份, 随着光照强度的增加, 沉水植物的光合作用增强, 水体溶解氧上升, 栽种沉水植物围隔 (E_2 、 E_3 、 E_5 、 E_6) 的溶解氧含量显著高于对照围隔 (E_1) 和大库水体。

比较 4 种沉水植物的增氧效果, 金鱼藻最好, 狐尾藻次之, 苦草再次之, 马来眼子菜最差。种植了 3 种沉水植物的围隔 E_4 中水体溶解氧的含量最低, 这可能与浮萍的侵入有关, 浮萍从 6 月开始侵入, 7 月已覆盖整个围隔, 并造成苦草和狐尾藻的大量萎缩。浮萍是漂浮植物, 光合作用产生的氧气直接进入大气, 而浮萍的覆盖又导致大气中的氧气很难进入水

体, 所以溶解氧降低。

2.3 沉水植物对水体中 TN、TP 的去除

从图 3 各围隔和大库水体中 TN 变化趋势可知, 对照围隔 (E_1) 和大库水体中 TN 含量普遍高于移植有沉水植物的围隔 (E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6), 而大库水体又高于对照围隔。这可能是由于大库风浪大, 加快了底泥中 N 的释放, 尤其在 8 月份云龙湖水库是暴风雨季节, 沉积物再悬浮作用剧烈, 所以大库水体中 TN 浓度在 8 月大幅度升高。7 月后各试验围隔的 TN 都略有升高, 这可能与气温升高有关。另外水位的大幅度变化和暴风雨也可能是 TN 浓度上升的重要原因。因为在水位很低时, 暴雨很容易引起围隔中沉积物再悬浮, 导致营养盐释放进入水体。尤其是 9 月, 气温已回落, 各试验围隔的 TN 仍然继续升高, 这可能是因为去除水草时搅动了底泥, 引起底泥中 TN 释放进入水体。比较栽种沉水植物的围隔 (E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6) 对 TN 的吸收作用, 可以看出 3 种沉水植物搭配生长 (E_4) > 马来眼子菜 (E_2) > 苦草 (E_3) > 金鱼藻 (E_5) > 狐尾藻 (E_6)。

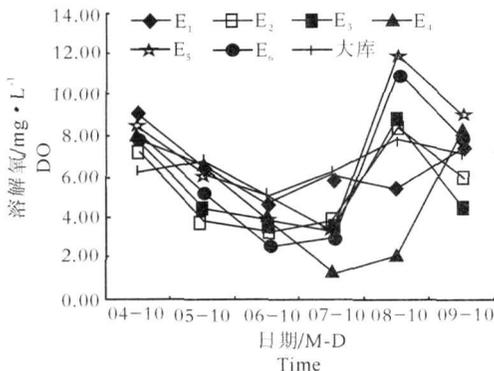


图 2 试验期间水体溶解氧的变化

Fig. 2 Variations in DO in the enclosures and in the open reservoir water during the experimental period

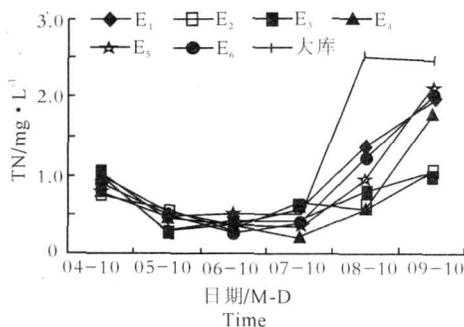


图 3 各围隔和大库水体中总氮的时间变化

Fig. 3 Monthly variations of TN in the enclosures and in the open reservoir water

图 4 描述的是各围隔和大库水体中 TP 的变化情况, 可以看出, 栽种沉水植物后 TP 含量降低幅度不明显, 移除沉水植物后 TP 含量并没有显著升高, 说明各围隔中沉水植物的生长对水体 TP 的吸附作用不大。大库水样中 TP 含量一直较高, 主要是风浪引起水库底泥再悬浮, 使水体中营养盐不停得到补充。7 月各围隔水体中 TP 含量迅速上升可能与水位下降有关, 水位很低时, 大暴雨容易引起底层沉积物再悬浮, 从而使水体的营养盐含量迅速升高。从图 4 中还可以看出移植有多种沉水植物 (E_4)、金鱼藻 (E_5)、狐尾藻 (E_6) 的 3 个围隔 TP 平均含量略低于对照组和大库水体, 表明金鱼藻、狐尾藻和多种水草搭配种植有一定的去磷作用; 其中尤以 E_6 中 TP 的平均含量最低, 因此相对而言, 狐尾藻去磷效果最好。

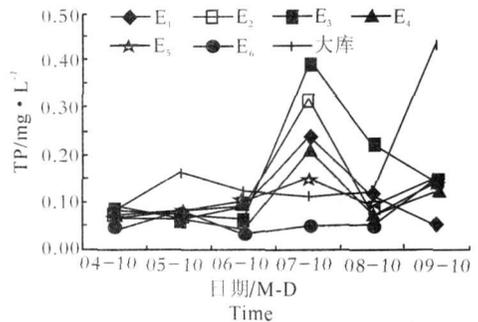


图 4 各围隔和大库水体中总磷的时间变化

Fig. 4 Monthly variations of TP in the enclosures and in the reservoir water

2.4 沉水植物对水体中有机污染物质的去除

图 5 和图 6 反映了沉水植物对水体中化学耗氧量 (COD) 和生物耗氧量 (BOD) 的净化效果。从图中可以看出, 种植沉水植物后, 水体中 COD 和 BOD 的浓度波动较大, 规律性不强。但总的来看, 随着时间的推移, 种植有沉水植物的围隔 (E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6) COD 和 BOD 在 8 月都达到较低水平, 这种现象说明沉水植物对水体中 COD、BOD 有一定的去除作用。

比较不同沉水植物对 COD 和 BOD 的去除效果可以看出, 从 4 月到 8 月, 围隔 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6 中 COD 分别下降了 1.0、1.0、1.5、0.2 和 1.0 mg/L, 净化效率为 22%、26%、33%、0.03% 和 33%; 5 个围隔内 BOD 分别下降了 1.8、1.4、1.7、1.1 和 1.4 mg/L, 净化效率为 78%、74%、67%、93% 和 76%。而对照围隔和大库水体中 COD 含量分别增加了 26% 和 15%; 对照围隔中 BOD 没变, 但大库水体中 BOD 增加了 48%。当除去沉水植物后, 9 月水体中 COD 和

BOD 又有所上升, 这可能主要是因为清除沉水植物时扰动了底泥, 导致沉积物大规模再悬浮, 大量有机质进入水体, 这与水体中营养盐浓度上升的情况一致。

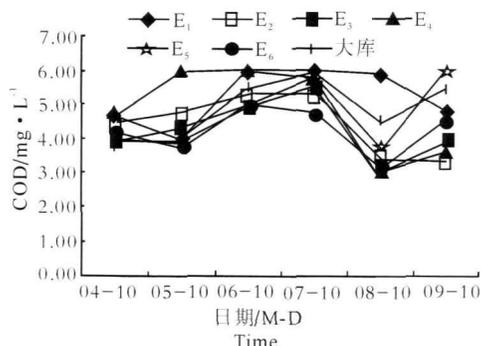


图 5 各围隔和大库水体中 COD 的时间变化
Fig. 5 Monthly variations of COD in the enclosures and in the reservoir water

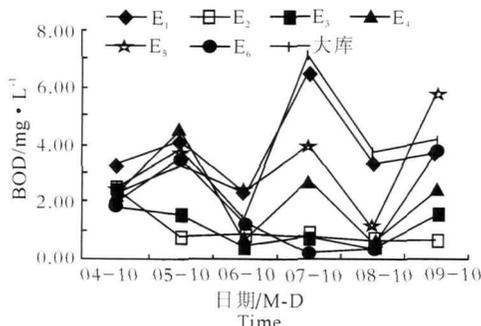


图 6 各围隔和大库水体中 BOD 的时间变化
Fig. 6 Monthly variations of BOD in the enclosures and in the reservoir water

3 讨论

本次试验结果表明, 沉水植物恢复后, 能够有效提高水体的透明度, 改善水体的溶解氧状况。在实验期间, 沉水植物对水体中的 TN 和 BOD、COD 都有明显地去除作用, 对 TP 的去除效果不明显, 这可能与水位和天气等自然条件有关。云龙湖水库是一座以灌溉为主的调蓄性水库, 6 月后由于城市防洪的需要, 库区大量放水, 试验区水位一度降至 60 cm 以下, 水位的降低影响了透明度的观察结果, 对水体中各项化学指标也有较大影响。8 月初库区又连降暴雨, 水位一夜间可增加 50~70 cm, 所以, 8 月 10 日观察时, 种植有沉水植物的围隔中水体透明度大幅度增加。水位的剧烈变化还会对水体的营养盐水平造成重要影响, 特别是当水位很低时大降暴雨, 雨水的冲击力会导致表层底泥发生大规模再悬浮, 使大量营养物质进入水体。而且水位的剧烈升降也会对沉水植物的生长产生影响, 如金鱼藻和狐尾藻的发展

速度很快, 6 月就覆盖了整个围隔, 当水位下降时, 它们的生存空间变小, 因此很快出现衰退的现象; 但当水位回升以后, 生存空间变大, 又继续快速发展, 从而大量吸收水体中的营养盐。所以沉水植物的生长状况对水体的各项理化指标也有重要影响, 而水位的高低又在一定程度上调控了沉水植物的生长。

试验前期沉水植物对水体增氧的效果不理想, 直到 8 月份, 沉水植物对水体溶解氧的增加才得到充分表现。这种现象可能与光合作用和沉水植物的生长活动有关。5~7 月是当地的梅雨期, 经常是阴雨天, 阳光较弱, 而采样时间是早晨 9 点左右, 水体中溶解氧经过前晚的消耗, 其减少大于光合作用所产生的氧气, 溶解氧相对较低。再者沉水植物的光合作用虽然能释放氧气, 但其生长过程中又需要消耗氧气。当沉水植物迅速生长, 会大量消耗水体中的溶解氧, 这可能也是使水体中溶解氧含量不高的原因之一。8 月份正值盛夏, 阳光充足, 光合作用增强, 沉水植物的生长已具规模, 这时沉水植物对水体溶解氧的贡献大于消耗, 所以水体中的溶解氧迅速增加。其中金鱼藻增氧效果最好, 显著高于栽种其他沉水植物的围隔, 这与童昌华等的研究结果一致 (童昌华等, 2004)。

本次试验结果还表明, 沉水植物对水体中营养盐的吸收不仅受温度的影响, 不同的沉水植物对营养盐的吸收也存在差异。当温度升高、光照增强时, 水体中 TN、TP 含量有所上升。这与金送笛等 (1994)、马剑敏等 (2001) 的研究一致。苦草对总氮的吸收作用最明显, 狐尾藻去磷效果最好, 狐尾藻和金鱼藻对有机质的去除效果较好。本研究还比较了 3 种沉水植物搭配种植与种植单一沉水植物对水体的净化效能。结果表明, 沉水植物搭配种植对水体的透明度改善的效果最好, 对 TN 和 COD 的去除效果也最好, 表现出了一定的协同效应, 但可能是由于后来浮萍的侵入对实验结果产生影响, 沉水植物搭配种植对水体中溶解氧没有显著地改善, 对水体 TN 和 BOD 的去除优势也不明显, 但 TN 和 BOD 在水体中含量有所下降。

参考文献:

- 戴莽. 1999 利用大型围隔研究沉水植被对水体富营养化的影响 [J]. 水生生物学报, 23(2): 97-101
戴泽贵. 1996 中华人民共和国水利部标准 水库渔业资源调查规范 [S]. 北京: 标准出版社.
黄文成. 1994 沉水植物在治理滇池草海污染中的作用 [J]. 植物资源与环境, 3(4): 29-33
金灿灿. 1997 湖泊富营养化调查规范 [J]. 1 版. 北京: 中国

环境科学出版社.

金送笛, 李永函, 倪彩虹, 等. 1994 菹草对水中氮磷的吸收及若干影响因素 [J]. 生态学报, 14(2): 168-173.

马剑敏, 靳萍, 李益健. 2001 富营养湖泊大型围隔和围栏中磷的动态 [J]. 植物资源与环境学报, 10(1): 44-47.

童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 2004 富营养化水体的水生植物净化试验研究 [J]. 应用生态学报, 15(8): 1447-1450.

万成炎, 唐支亚, 陈光辉, 等. 2005 云龙湖水库的理化特性和初级生产力评价 [J]. 水利渔业, 25(1): 53-55.

Amiguelzer. 1999. Aquatic macrophytes as tools for lake management [J]. Hydrobiologia 395/396: 181-190.

Carpenter S R, Lodge D M. 1986. Effects of submerged macro-

phytes on ecosystem processes [J]. Aquat Biol, 26: 341-371.

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

Howard Williams C. 1981 Studies on the ability of Potamogeton pectinatus community to remove dissolved nitrogen and phosphorus from lake water [J]. J Appl Ecol, 18: 617-637.

(责任编辑 杨春艳)

In Situ Enclosure Experiment for Purification Ability of the Submerged Plants in Yunlonghu Reservoir

HU Lian¹, WAN Chen-yan¹, SHEN Zhen-feng²

(1. Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China)

2. Department of Development and Planning Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract Scene experimental studies were carried out on water quality purification efficiency of four kinds of Submerged plants and their compounding in mini type enclosures of an eutrophic lake, Yunlonghu Reservoir, Jiangshu Province. The results show that the transparencies in the enclosures with the recovery of macrophytes are efficiently enhanced compared with the controlled enclosure without macrophytes and the reservoir water; the status of DO is improved while TN, COD_{cr} and BOD₅ are obviously wiped off. Among several experimented submerged plants, *Myriophyllum spicatum* L. has the best effect of improving the transparency, *Ceratophyllum demersum* L. has the best effect of increasing DO, *Vallisneria spiralis* L. has the most efficient effect of absorbing TN, *Myriophyllum spicatum* L. has the best effect of decreasing TP, *Myriophyllum spicatum* L. and *Ceratophyllum demersum* L. has the better effect of decreasing the organical substance. The effect of compoundings of several kinds of Submerged plants can accelerate one and another to a certain extent.

Key words Yunlonghu Reservoir; Submerged plants; water quality purification; in situ enclosure