

· 调查与评价 ·

# 水生高等植物季相交替群落对富营养化水体净化效果调查

王文林, 马 婷, 李 强, 王国祥

(南京师范大学地理科学学院江苏省环境演变及生态建设重点实验室, 江苏 南京 210097)

**摘 要:** 为调查水生植物恢复演替过程中对水质净化作用, 在富营养化湖泊内的围隔中, 引种菹草、伊乐藻、野菱、水鳖, 分别构建由菹草、伊乐藻、野菱、水鳖组成的(围区 A)和由菹草、野菱组成的(围区 E)季相交替水生植物群落, 跟踪观测水生植物恢复生长情况。结果表明, 由菹草、伊乐藻、野菱、水鳖所构建的季相交替的水生植物群落能在水质变化剧烈、藻类容易爆发的阶段(初春至夏末)持续有效的抑制浮游植物生长繁殖, 对富营养化水体中的营养盐有较高的去除作用, 并能有效缓解因前一种植物死亡给水质带来的不利影响, 使水质保持相对稳定。

**关键词:** 水生高等植物; 季相交替; 富营养化; 湖泊

中图分类号: X835 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2006)01-0016-04

水生高等植物是浅水湖泊生态系统的初级生产者, 研究揭示在藻型富营养化浅水湖泊中, 水生高等植物一方面可通过分泌他感物质等直接抑制藻类生长繁殖<sup>[1-4]</sup>, 另一方面可通过吸收水体和沉积物中的营养盐、减少沉积物及其中的营养盐再悬浮释放、为摄食藻类的大型浮游动物提供躲避鱼类捕食的庇护(refuge effect)等控制藻类生长繁殖, 从而降低浅水湖泊的浊度、改善水体透明度及水质<sup>[5-8]</sup>。因此, 水生高等植物被公认是水污染治理和维持清洁水体的重要工具。

为调查水生植物恢复演替过程中对水质净化作用, 在富营养化水体中的围隔区内, 引种沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*)、伊乐藻(*Elodea nuttallii*)、野菱(*T. incisa Sieb. et Zucc.*)、水鳖(*Hydrocharis dubia (Bl.) Backer.*), 观测优势种群季节演替情况, 研究探讨水生植被恢复演替过程中的水质净化能力, 为在退化水体中实施生态修复时合理配置生物种群提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验区概况

实验区位于南京市仙林大学城的月亮湾, 水体平均水深约为 1.5 m, 最深处约为 2.5 m, 主要污染源为地表径流。实验围隔建立前水体中没有水生植物。于 2002 年 7 月, 用不透水材料、浮体及重压管制成的软隔离带, 在该池塘中心部分围成约 1 500 m<sup>2</sup> 的实验区, 并用同样的材料将整个实验区分成 5 个相互独立的围区(A、B、C、D、E)。2003

年 10 月, 选取其中两个围区 A、E(面积 300 m<sup>2</sup>, 平均水深 1 m), 逐步引种沉水植物菹草、伊乐藻, 浮叶植物野菱及漂浮植物水鳖, 围区 C 为对照区。实验开始前, 各围区主要水体均处于严重富营养化状态。

### 1.2 水生植被的引种

**菹草的引种:** 2003 年 10 月 9 日, 从南京六合龙袍乡水塘内采集菹草嫩枝 80 kg(含部分石芽), 每 3~5 枝一束均匀种植到围区 A、E 内; 并采集菹草的石芽均匀抛洒到实验区, 每区 40 kg。

**伊乐藻的引种:** 2003 年 12 月 14 日, 从苏州东太湖采集伊乐藻嫩枝 80 kg 每 3~5 枝一束均匀种植到围区 A 内。

**野菱的引种:** 2003 年 9 月 22 日, 从南京师范大学仙林校区后山池塘内采集的野菱菱角 100 kg 均匀抛洒到围区 A、E 内, 每区 50 kg。

**水鳖的引种:** 2004 年 6 月 14 日, 从南京六合龙袍乡水塘内采集水鳖 60 kg 移入围区 A 内。

### 1.3 水生植被生长发育状况

实验期间对围区内的水生植物生长状况进行定期观测和采样分析。沉水植物用自制的 0.25 m<sup>2</sup> 网夹式采样器采集, 浮叶植物、漂浮植物用 1 m<sup>2</sup> 样方采集。观测项目包括生物量、高度、盖度、生长发

收稿日期: 2005-09-09

基金项目: 国家“十五”重大科技专项基金资助项目(2003AA601100-2)

作者简介: 王文林(1981-), 男, 江苏南京人, 硕士, 从事水环境生态修复方面研究。

育状况等。

#### 1.4 水质测定

采样点: 在各围隔区的中心位置, 用 2 L 采水器采集表层 (距水面 30 cm) 水样。

采样频率: 每周一至两次。

测定指标: TN,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , TP, Chl<sub>a</sub>。

测定方法: 水体中各种形态的氮、磷用 Skalar 水质流动分析仪 (荷兰) 测定; DO 采用 YSI-5500

型溶解氧测定仪现场测定; Chl<sub>a</sub> 用 Lorenzen 法测定<sup>[9]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 各围区水生植物群落动态变化状况

2004 年 3 月—2004 年 9 月各围区水生植被动态状况见表 1。

表 1 2004 年 3 月—2004 年 9 月各围区水生植被动态状况

调查时间	水生植物名称		覆盖度 %		群落密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$		总存量 $m / \text{kg}$		实验阶段
	A	E	A	E	A	E	A	E	
3月 24日	菹草	菹草	60	60	447	503	80	91	阶段 (3月 24日—4月 14日)
	伊乐藻		40		1 620		194		
4月 14日	菹草	菹草	60	60	443	469	80	84	
	伊乐藻		70		2 100		441		
5月 5日	伊乐藻	菹草	80	20	3 550	255	852	15	阶段 (4月 14日—6月 14日)
	菹草		20		220		852		
5月 23日	伊乐藻	—	80	—	3 600	—	864	—	
6月 14日	伊乐藻	野菱	60	10	2 660	960	479	29	
	野菱		10		1 350		41		
	水鳖		3		6 600		60		
7月 19日	野菱	野菱	60	60	7 450	8 100	1 341	1 458	阶段 (6月 14日—8月 15日)
	水鳖		10		8 600		258		
8月 15日	水鳖	野菱	70	60	19 800	7 950	4 158	1 431	
	野菱		60		7 500		1 350		
9月 26日	水鳖	—	70	—	20 500	—	4 305	—	阶段 (8月 15日—9月 26日)

由表 1 可见, 围区 A、E 菹草生长迅速, 至 2004 年 3 月分别达到最大群落密度; 4 月中旬后, 菹草开始衰亡, 到 6 月中旬两区菹草完全衰亡、下沉。

围区 A 的伊乐藻在引种之初生长缓慢, 3 月中旬后开始快速生长, 至 4 月中旬时候取代菹草成为该区的优势种群。5 月底, 伊乐藻生物量达到最大, 群落密度为  $3\ 600 \text{ g/m}^2$ , 6 月中旬伊乐藻开始衰亡, 7 月底从围区消失。

6 月初围区 A、E 野菱出现后, 生长迅速, 7 月中下旬即覆盖了两围区 60% 的水面, 群落密度达到最大, 7 月 19 日两区的总现存量分别达到了  $1\ 350 \text{ kg}$ 、 $1\ 431 \text{ kg}$ 。野菱于 8 月中下旬开始衰亡, 至 9 月底完全腐烂分解。

水鳖于 6 月 14 日引入围区 A 后, 最初 1 个月长势缓慢, 7 月底后开始快速生长, 至 8 月中旬取代菱成为该区的优势种群, 并达到最大生物量, 群落密度为  $19\ 800 \text{ g/m}^2$ , 并一直保持到实验结束。

由于以上四种植物的交替生长, 围区 A 实现了水生植被的连续性, 而只有两种植物的围区 E 则在 5 月及 9 月出现了水生植物的空缺。现以菹草开始衰亡及野菱开始衰亡时为界, 将实验划分为四个阶段: 菹草旺盛生长—阶段 (3 月 24 日—4 月 14 日) 和菹草衰亡期—阶段 (4 月 14 日—6 月 14 日)、野菱旺盛生长—阶段 (6 月 14 日—8 月 15 日) 和野菱衰亡期—阶段 (8 月 15 日—9 月 26 日) 四个阶段。

### 2.2 各围区水质净化效果分析

不同实验阶段各围区 TN,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , TP, Chl<sub>a</sub> 均值比较见图 1。

#### 2.2.1 TN 的变化

在阶段 , 围区 A、E 内 TN 平均值为  $1.84 \text{ mg/L}$ 、 $1.97 \text{ mg/L}$ , 均显著低于对照区 ( $p < 0.05$ ,  $N = 7$ ), 围区 A、E 的 TN 浓度较之对照区分别下降了 50.7%、47.3%。而在阶段 , 围区 A、E

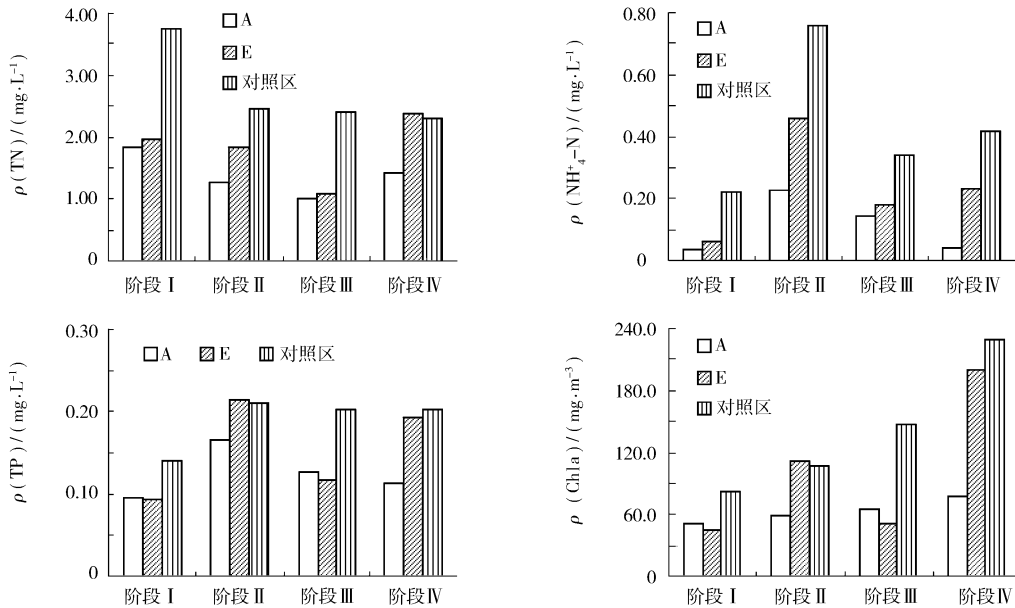


图 1 不同实验阶段各围区 TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TP, Chla 均值比较

内 TN 浓度平均为 1.26 mg/L, 1.82 mg/L, 围区 A 内 TN 浓度显著低于围区 E 及对照区 ( $p < 0.05, N = 9$ ), 比围区 E 及对照区分别下降了 31.4%、48.6%, 而围区 E 与对照区相比差异不显著 ( $p > 0.05, N = 9$ )。在阶段 II, 围区 A、E 内 TN 浓度平均仅为 1.00 mg/L, 1.09 mg/L, 均显著低于对照区 ( $p < 0.05, N = 7$ ), 较之对照区分别下降了 58.2%、54.6%。而在阶段 III, 围区 A、E 内 TN 浓度平均为 1.41 mg/L, 2.37 mg/L, 围区 A 内 TN 浓度显著低于围区 E 及对照区 ( $p < 0.05, N = 9$ ), 比围区 E 及对照区分别下降了 40.4%、38.6%, 而围区 E 与对照区相比差异不显著 ( $p > 0.05, N = 9$ )。

#### 2.2.2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的变化

在阶段 I, 围区 A、E 内 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度差异不显著, 而与对照区相比差异显著, 围区 A、E 较之对照区分别下降了 83.2%、72.5%。在阶段 II, 围区 A 内 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度显著低于围区 E 及对照区, 比围区 E 及对照区分别下降了 50.2%、69.8%, 而此时围区 E 与对照区相比差异不显著。在阶段 III, 围区 A、E 内 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度差异不显著, 而与对照区相比差异显著, 围区 A、E 较之对照区分别下降 57.9%、47.2%。在阶段 IV, 围区 A 内 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度显著低于围区 E 及对照区, 比围区 E 及对照区分别下降了 81.4%、89.5%, 而此时围区 E 与对照区相比差异不显著。

#### 2.2.3 TP 的变化

在阶段 I, 围区 A、E 的 TP 浓度差异不显著, 而与对照区相比差异显著, 分别下降了 32.0%、32.4%。在阶段 II, 围区 A、E 内 TP 浓度均开始上升。围区 E 内 TP 浓度显著高于围区 A 及对照区, 围区 A 比围区 E 及对照区分别低 22.9%、21.5%。阶段 III, 围区 A、E 的 TP 浓度差异不显著, 而与对照区相比差异显著, 分别下降了 37.7%、42.7%。而在阶段 IV, 围区 A 内 TP 浓度显著低于围区 E 及对照区, 分别低 41.6%、44.7%。

#### 2.2.4 Chla 的变化

在阶段 I, 围区 A、E 间的 Chla 浓度显著低于对照区, 分别下降了 38.4%、45.3%。在阶段 II, 围区 A 的 Chla 浓度要显著低于围区及对照区, 分别下降了 47.2%、45.1%。阶段 III, 围区 A、E 间的 Chla 浓度显著低于对照区, 分别下降了 55.5%、65.2%。在阶段 IV, 围区 E 及对照区的 Chla 浓度均开始上升, 围区 A 的 Chla 浓度要显著低于围区及对照区, 分别下降了 61.5%、66.4%。

由上述水质数据变化情况可知, 在菹草生长旺盛期(阶段 II), 菹草-伊乐藻群落(围区 A)与单一菹草群落(围区 E)都能有效地抑制浮游植物生长繁殖, 对富营养化水体中的营养盐有较高的去除作用。随着菹草的衰亡(阶段 III), 在单一菹草群落区 Chla 营养盐浓度开始升高; 而菹草-伊乐藻

群落区由于伊乐藻的作用,对浮游植物的抑制能力及对水体营养盐的去除能力明显强于单一菹草群落区。说明菹草—伊乐藻群落不仅能在春季保持对 Chla 及水体营养盐较高的去除效果,并能在春末初夏时有效缓解菹草死亡导致的水质恶化,使水质保持相对稳定。

而在野菱生长旺盛期(阶段 ),围区 A 虽然伊乐藻开始衰亡,但野菱—水鳖群落的存在依旧使其能保持对富营养化水体中的营养盐较高的去除率,并能有效控制浮游植物生长,而此时单一野菱群落(围区 E)营养盐浓度及 Chla 的浓度与对照区相比也保持在较低的水平。但随着野菱的衰亡(阶段 ),单一野菱群落区水质明显恶化,而菱—水鳖群落区由于水鳖正处于生长旺盛阶段,其依旧能有效地抑制浮游植物生长繁殖,并对富营养化水体中的营养盐有较高的去除作用。

整个实验期间各围区营养盐平均浓度及标准差见表 2。

表 2 整个实验期间各围区营养盐平均浓度及标准差

项目	围区 A		围区 E		对照区	
	平均浓度	标准差	平均浓度	标准差	平均浓度	标准差
	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
TN	1.378	0.491	1.812	0.694	2.719	1.166
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.113	0.117	0.234	0.225	0.434	0.356
TP	0.125	0.039	0.154	0.069	0.189	0.056
Chla	0.063	0.030	0.101	0.082	0.141	0.091

由表 2 可见,在整个实验期间,围区 A 内营养盐、Chla 浓度及标准差要明显低于围区 E 及对照区,围区 A 内 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、Chla 浓度与围区 E 相比分别下降了 30.0%、51.5%、19.2%、38.3%;而与对照区相比则分别下降了 49.3%、73.9%、34.0%、55.5%。

### 3 结论

(1)菹草、伊乐藻、野菱和水鳖在其生长期内均能有效抑制浮游植物生长,保持对水体营养盐较高的去除效果。

(2)由菹草、伊乐藻、野菱和水鳖所构建的季相交替的水生植物群落能在水质变化剧烈、藻类容易爆发的阶段(初春至夏末)持续有效的抑制浮游植物生长繁殖,对富营养化水体中的营养盐有较高的去除作用,并能有效缓解因前一种植物死亡给水质带来的不利影响,使水质保持相对稳定。

(3)在水生植被恢复过程中,为了使恢复的生态系统趋于稳定和良好水质状态得以维持,利用不同种类水生植物的季相交替构建群落应是一个可行的办法。

### [参考文献]

- [1] 俞子文,孙文浩,郭克勤. 几种高等水生植物的克藻效应[J]. 水生生物学报, 1992, 16(1): 1-7
- [2] 杨清心. 富营养水体中沉水植物与浮游藻类相互竞争的关系[J]. 湖泊科学, 1996, 8(增刊): 17-245
- [3] MOSS B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components [J]. Hydrobiologia, 1990, 200/201: 367-378.
- [4] WETZEL R G, SONDERGAARD M. Role of submerged macrophytes for the microbial community and dynamics of dissolved organic carbon in aquatic ecosystems [A]. JEPPESEN E. The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes [C]. Springer, 1997, 115-132.
- [5] MERJER ML, HOSPER H. Effects of biomanipulation in the large and shallow Lake Woldewijk, the Netherlands [J]. Hydrobiologia, 1997, 342/343: 335-349.
- [6] HORPP LA J, NURM ENEN L. The effect of an emergent macrophyte (*Typha angustifolia*) on sediment resuspension in a shallow north temperate lake [J]. Freshwater Biology, 2001, 46: 1447-1455.
- [7] SCHULZ M, KOZERSKI HP, PLUNTKE T, et al. The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany) [J]. Water Research, 2003, 37(3): 569-578.
- [8] KOMER S, DUGDALE T. Is roach herbivory preventing recolonization of submerged macrophytes in a shallow lake [J]. Hydrobiologia, 2003, 506(1-3): 497-501.
- [9] LORENZEN C J. Determination of chlorophyll and phaeopigment spectrophotometric equation [J]. Limnology and Oceanography, 1967, 12: 343-346.