

洪泽湖湿地退化区植被构建技术效果评估

李成之¹, 董倩², 郭晏汝², 庄犁^{3*}

(1.江苏省泗洪洪泽湖湿地国家级自然保护区管理处, 江苏泗洪 223900; 2.南京大学生命科学学院, 江苏南京 210046; 3.南京朴厚生态科技有限公司, 江苏南京 210046)

摘要 为评估洪泽湖湿地围网拆除区水生植被修复技术应用示范与推广工程的效果, 基于样方调查及水质、沉积物检测, 通过单因素方差分析(ANOVA)对项目区与对照区进行对比评价。结果表明, 项目区生物组成与生物多样性相比对照区有明显提升; 项目区水质情况有所改善, 但敞水区由于水生植被尚处于群落演替发育早期, 缺少植物净化, 硝酸盐氮含量较高, 整体水质特别是溶氧量相比对照区有明显提升; 沉积环境富营养化程度得到明显改善。总体来看, 该技术取得了良好效果, 项目区整体生态环境得到了一定程度上的修复。

关键词 洪泽湖; 湿地; 退化区; 生物多样性; 水质; 沉积物

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)18-0075-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect Evaluation of Vegetation Construction Technology in Wetland Degradation Area of Hongze Lake

LI Cheng-zhi¹, DONG Qian², GUO Yan-ru² et al (1.Sihong Hongze Lake Wetland National Nature Reserve, Sihong, Jiangsu 223900; 2. School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210046)

Abstract To evaluate the Hongze lake wetland seine demolition area aquatic vegetation restoration technology application demonstration and extension project, based on the quadrat investigation and detection of water quality, sediment by single factor analysis of variance (ANOVA) for evaluation of project area compared with the control area, the results showed that the project area of biological control area had significantly increased compared with biodiversity. The water quality of the project area was improved, but the nitrate nitrogen content was higher in the open water area because the aquatic vegetation was still in the early stage of community succession and development, lacking plant purification. However, the overall water quality, especially dissolved oxygen, was significantly improved compared with the control area. The eutrophication degree of sedimentary environment was improved significantly. In general, the technology had received good results, and the overall ecological environment of the project area had been restored to a certain extent.

Key words Hongze Lake; Wetland; Degradation area; Biodiversity; Water quality; Sediment

湖泊生态系统具有调蓄水资源、改良水质^[1]、提供动物栖息地、调节局部气候^[2]等重要的生态学意义, 包括水陆交错带和敞水区, 与河流相比, 湖泊生态系统流动性差, 物质交互缓慢, 含氧量相对较低, 更容易被污染^[3]。洪泽湖是我国第四大淡水湖、江苏省第二大淡水湖, 是南水北调工程重要的水源地和调节湖泊, 近年来, 由于围湖造田、围网养殖、过度捕捞等人类活动的严重干扰, 洪泽湖及湖区湿地面临着生态功能萎缩、生境破碎化程度升高、生物多样性下降等一系列问题, 有研究表明, 湿地退化已经成为限制洪泽湖区可持续发展的主要因素^[4]。为了探究洪泽湖水水质主要限制因子, 在湖区范围内已经开展了许多科学研究, 表明 TN、COD_{Mn} 和 TP 是洪泽湖水环境治理最重要的控制因子^[5], 特别是氮、磷已经成为湖区主要超标的污染物, 湖区总体仅达到Ⅳ类水质标准^[6]。在针对影响湖区水质的主要因子的研究中发现, 建设用地、围网和围圩养殖面积增加以及景观破碎化增强与湖区 TN、TP 浓度上升呈显著正相关^[7]。为了改善洪泽湖区及湖区湿地的生态环境, 有必要通过退渔还湿、退圩还湖、两船清理、十年禁渔、增殖放流和生态移民等措施, 减少人类活动干扰, 促进洪泽湖湿地的生态恢复。

据调查, 洪泽湖区拆除围网大面积退渔还湿后, 由于湖区景观单一、生态位空缺, 导致外来物种喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*, 又称水花生) 入侵并大肆蔓延, 形成单

优群落, 有研究表明, 水花生群落的水环境效益较差^[8], 且会造成本土物种多样性下降^[9]。保护区范围内有约 0.3 万 hm^2 的生态脆弱区亟待修复, 多样性植被构建与适应性管理有可能对水花生的入侵起到抑制作用, 并促进湖区湿地生态系统功能提高。对此, 在江苏泗洪洪泽湖湿地国家级自然保护区怀洪新河入湖口北侧开展了湿地退化区的水生植被修复技术应用示范与推广工程, 对湖区进行植被和生态环境的修复。该项目对生态系统的修复工程包括湖区地貌改造、土著物种再植、水生群落重建等, 以实现洪泽湖区生物多样性提高和水环境改善的目标。将研究示范区水生植被修复技术推广应用至保护区其他生态脆弱区甚至将要实施退渔还湿的江苏省其他湖泊湿地区域上, 将产生巨大的生态效益和社会效益。该研究主要针对该水生植被修复技术应用示范与推广工程, 通过对生物多样性、水质指标、沉积物指标的检测, 评估该项目工程对洪泽湖区生态环境的修复效果。

1 资料与方法

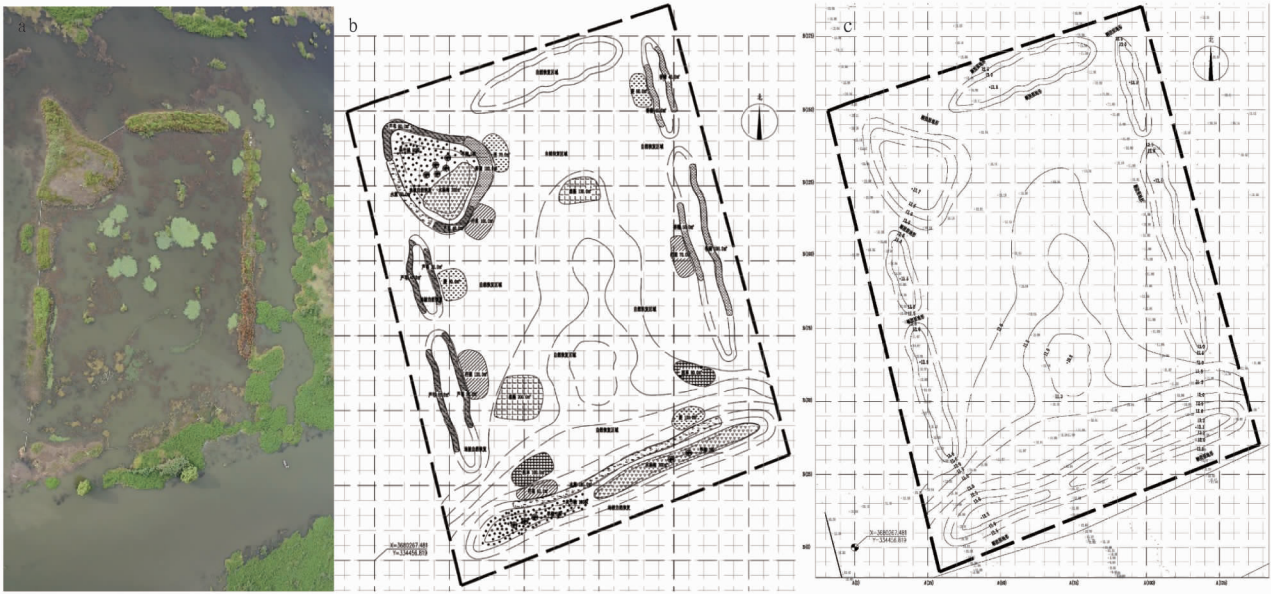
1.1 研究区概况 洪泽湖是由黄河夺淮形成^[10], 洪泽湖区 ($118^{\circ}10' \sim 118^{\circ}52'E$ 、 $33^{\circ}06' \sim 33^{\circ}40'N$) 位于我国江苏省淮安市与宿迁市, 涉及淮阴区、宿豫区、洪泽区、盱眙县、泗阳县、泗洪县 6 个区县, 在南水北调工程中发挥重要的调节作用。水域总面积 1 708 km^2 , 湖区流域保护面积达 3 704 km^2 , 平均水深 1.90 m, 最大水深可达 4.50 m, 平均入湖水量 342 亿 m^3 , 出湖水量 313 亿 m^3 , 平均水位 12.55 m。

本植被景观构建技术项目范围为江苏泗洪洪泽湖湿地国家级自然保护区怀洪新河入湖口北侧, 溧河洼区域, 中心地理

基金项目 江苏省林业科技创新与推广项目资金 (LYKJ[2019]23)。
作者简介 李成之 (1989—), 男, 山东济宁人, 工程师, 从事洪泽湖湿地保护管理和科研监测等研究。* 通信作者, 工程师, 硕士, 从事生态监测、保护与修复研究。
收稿日期 2022-01-26

位置为 118°13′26.630″~118°13′30.782″E、33°14′11.420″~33°14′12.869″N,总面积约 18 600 m²(图 1)。项目区为新拆围网水域,景观和生物多样性退化严重。但其水下微地形、水环境在围网

拆除区域具有典型代表性,同时该区域位于暖温带与北亚热带分界线,水域水深常年保持在 2 m 上下,温度和光照等条件适合浮游生物及沉水、挺水植物的生长繁殖。



注:a.俯瞰图;b.植被恢复设计图;c.地形整理设计图
Note:a.Aerial view;b.Vegetation restoration design;c.Terrain consolidation design

图 1 项目区示意图
Fig.1 Schematic diagram of the project area

1.2 数据采集与分析 2021 年 6 月,在项目区根据群落类型采集水质样品和沉积物样品,具体采样编号及对应位置和群落类型见表 1 和图 2。另外在不同的恢复区域随机取 1 m×1 m 样方,统计样方内植被盖度、物种类型及分布比例。

将采集好的样品进行分类测定,测定均依照国家水质和土壤测定标准,水质样品检测方法具体见表 2,沉积物样品检测方法具体见表 3。

将采集的样方数据按照恢复区分类整理,分别计算样方内群落的 Simpson 多样性指数(D)^[11]、Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[12]和 Pielou 均匀度指数(J)^[13]。Simpson 多样性指数描述的是从一个群落中连续 2 次抽样所得到的个体数属于同一种的概率;Shannon-Wiener 多样性指数借用了信息论的方法,测量对象是系统的序或无序的含量,反映了群落物种构成的复杂性;Pielou 均匀度指数反映群落均匀度。计算公式如下:

$$D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2 \tag{1}$$

$$H'=-\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \tag{2}$$

$$J=\frac{H'}{\log_2 S} \tag{3}$$

式中, S 为物种数; P_i 为种 i 的个体数占群落中总个体数的比例。

以上计算均由 Excel 2020 软件完成,并使用 RStudio 4.0.5 绘制条形图并进行单因素方差分析(ANOVA),分析结果包含在条形图中。

2 结果与分析

2.1 生物组成及多样性变化 从表 4 可以看出,对照区优势

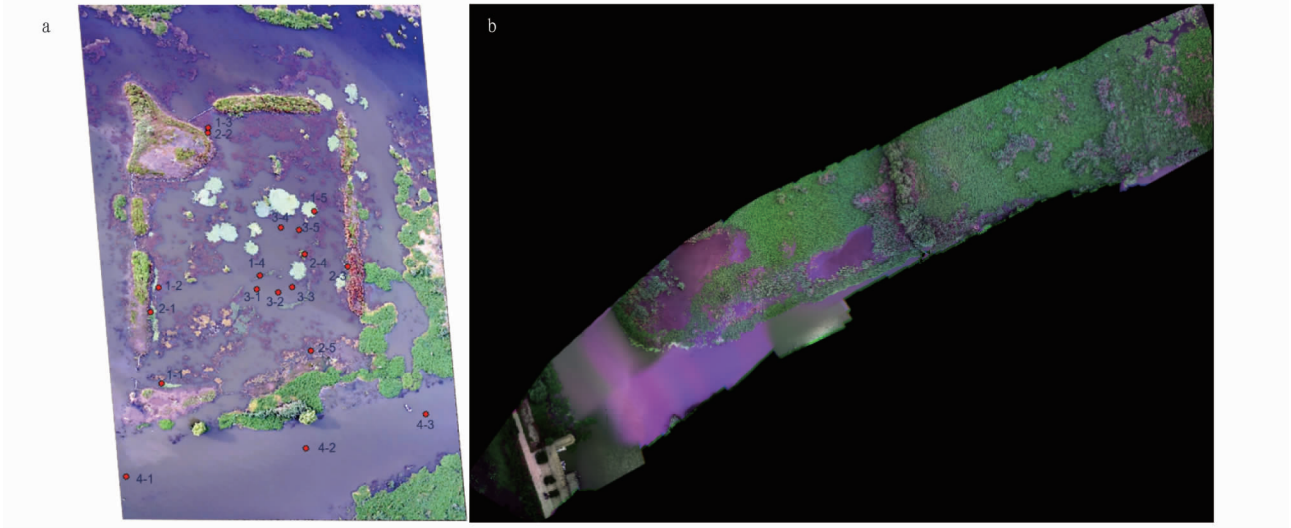
表 1 水质和沉积物样品采集信息
Table 1 Information on water quality and sediment sample collection

编号 No.	位置 Location	群落类型 Community types
1-1	入口处水葱岛滩地	漂浮
1-2	芦苇岛南侧	漂浮
1-3	综合岛东侧	漂浮
1-4	中心区	漂浮
1-5	香蒲岛西侧	漂浮
2-1	芦苇岛南侧	挺水
2-2	综合岛东侧	挺水
2-3	香蒲岛西侧	挺水
2-4	香蒲岛西侧	挺水
2-5	水葱岛	挺水
3-1	南侧深潭区	敞水
3-2	南侧深潭区	敞水
3-3	南侧深潭区	敞水
3-4	北侧深潭区	敞水
3-5	北侧深潭区	敞水
4-1	航道	航道
4-2	航道	航道
4-3	航道	航道
5-1	对照区	敞水
5-2	对照区	挺水
5-3	对照区	漂浮

种有水花生(*Alternanthera philoxeroides*)和芦苇(*Phragmites australis*)等,试验区优势种有水蓼(*Polygonum hydropiper*)、莎草(*Cyperus rotundus*)、酸模(*Rumex acetosa*)、蛇床(*Cnidium*

monnieri)等草本植物和荇菜(*Nymphoides peltatum*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、浮萍(*Lemna minor*)等水生植物。此次调查共记录植物 33 种,分

属 23 科 32 属。其中禾本科植物种数最多(4 种),其次为莎草科(3 种)、菊科(2 种)、蓼科(2 种)、十字花科(2 种)、水鳖科(2 种)、眼子菜科(2 种)等。



注:a.试验区;b.对照区
Note:a.Experimental area;b.Control area

图 2 项目区采样点示意图
Fig.2 Diagram of sampling points in the project area

表 2 水质样品采集检测方法

Table 2 Collection and detection methods of water quality samples

检测项目 Test items	单位 Unit	检测方法 Test methods
高锰酸盐指数 COD _{Mn}	mg/L	GB 11892—1989《水质 高锰酸盐指数的测定 高锰酸钾滴定法》
硝酸盐氮 NO ₃ ⁻ -N	mg/L	HJ/T 346—2007《水质 硝酸盐氮的测定 紫外分光光度法(试行)》
氨氮 NH ₄ ⁺ -N	mg/L	HJ 535—2009《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》
总氮 TN	mg/L	HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法》
总磷 TP	mg/L	GB 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》
水温 Water temperature	℃	GB/T 13195—1991《水质 水温的测定 温度计法》
透明度 Transparency	m	SL 87—1994《水质 透明度的测定 圆盘法》
pH		HJ 1147—2020《水质 pH 值的测定 电极法》
溶解氧 DO	mg/L	HJ 506—2009《水质 溶解氧的测定 电化学探头法》
氧化还原电位 ORP	mV	HJ 506—2009《水质 溶解氧的测定 电化学探头法》
电导率 EC	μS/cm	HJ 506—2009《水质 溶解氧的测定 电化学探头法》
硝酸根 NO ₃ ⁻	mg/L	HJ 506—2009《水质 溶解氧的测定 电化学探头法》

表 3 沉积物样品采集检测方法

Table 3 Collection and detection methods of sediment samples

序号 No.	检测项目 Test items	检测方法 Test methods
1	机械组成	NY/T 1121.3—2006《土壤机械组成的测定 土壤比重计法》
2	全氮	HJ 717—2014《土壤质量 全氮的测定 凯氏法》
3	有机碳	LY/T 1237—1999《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算 重铬酸钾氧化-外加热法》
4	总磷	HJ 632—2011《土壤 总磷的测定 碱熔-钼锑抗分光光度法》

据统计,项目区内优势种基本情况如表 5 所示,根据《中国植被》对植物生活型的划分,项目区植物以多年生草本为主,依据植物对水分的适应特点,项目区植物以水生植物为主。

从图 3 可以看出,各样方盖度之间差异性不显著($P=0.0802$),对照区植被平均盖度为 77.22%,除芦苇区(82.26%)外,对照区植被盖度高于其他区域,且明显高于自然区(46.36%)、浮叶区(70.29%)和沉水区(58.18%)。

表 4 各区域样方物种组成统计
Table 4 Species composition statistics of each area quadrat

分组 Grouping	区域 Areas	样方数 Number of samples	优势种 Dominant species
1	对照区	9	水花生(<i>Alternanthera philoxeroides</i>)、芦苇(<i>Phragmites australis</i>)、水棉(<i>Spirogyra communis</i>)、狐尾藻(<i>Myriophyllum verticillatum</i>)
2	芦苇区	19	水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)、莎草(<i>Cyperus rotundus</i>)、茭草(<i>Zizania latifolia</i>)
3	水葱区	10	荇菜(<i>Nymphoides peltatum</i>)、菹草(<i>Potamogeton crispus</i>)、水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)
4	香蒲区	10	水花生(<i>Alternanthera philoxeroides</i>)、菹草(<i>Potamogeton crispus</i>)、荇菜(<i>Nymphoides peltatum</i>)、水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)、酸模(<i>Rumex acetosa</i>)、茭草(<i>Zizania latifolia</i>)
5	综合区	11	水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)、蛇床(<i>Cnidium monnieri</i>)、酸模(<i>Rumex acetosa</i>)、灯芯草(<i>Juncies effusus</i>)
6	自然区	11	水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)、莎草(<i>Cyperus rotundus</i>)、酸模(<i>Rumex acetosa</i>)
7	浮叶区	17	荇菜(<i>Nymphoides peltatum</i>)、菹草(<i>Potamogeton crispus</i>)、睡莲(<i>Nymphaea tetragona</i>)、狐尾藻(<i>Myriophyllum verticillatum</i>)、浮萍(<i>Lemna minor</i>)
8	沉水区	11	狐尾藻(<i>Myriophyllum verticillatum</i>)、菹草(<i>Potamogeton crispus</i>)、轮叶黑藻(<i>Hydrilla verticillata</i>)、金鱼藻(<i>Ceratophyllum demersum</i>)

表 5 样方内优势种基本情况
Table 5 Basic information of dominant species in quadrat

物种 Species	科 Family	生活型 Life type	生态类型 Ecological type
水花生 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	苋科(Amaranthaceae)	多年生草本	水生或湿生
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	禾本科(Poaceae)	多年生禾本	水生或湿生
水棉 <i>Spirogyra communis</i>	双星藻科(Zygnemataceae)	藻类植物	水生
狐尾藻 <i>Myriophyllum verticillatum</i>	小二仙草科(Haloragidaceae)	多年生草本	水生
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	蓼科(Polygonaceae)	一年生草本	中生或湿生
莎草 <i>Juncellus serotinus</i>	莎草科(Cyperaceae)	多年生草本	水生或湿生
茭草 <i>Zizania latifolia</i>	禾本科(Poaceae)	多年生草本	水生
荇菜 <i>Nymphoides peltatum</i>	龙胆科(Gentianaceae)	多年生草本	水生
菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	眼子菜科(Potamogetonaceae)	多年生草本	水生
酸模 <i>Rumex acetosa</i>	蓼科(Polygonaceae)	多年生草本	中生或湿生
蛇床 <i>Cnidium monnieri</i>	伞形科(Apiaceae)	一年生草本	中生或湿生
灯芯草 <i>Juncies effusus</i>	灯心草科(Juncaceae)	多年生草本	水生
睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>	睡莲科(Nymphaeaceae)	多年生草本	水生
浮萍 <i>Lemna minor</i>	浮萍科(Lemnaceae)	飘浮植物	水生
轮叶黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	水鳖科(Hydrocharitaceae)	多年生草本	水生
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	金鱼藻科(Ceratophyllaceae)	多年生草本	水生

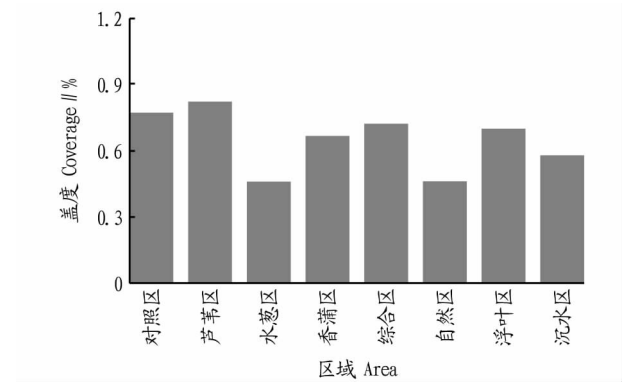


图 3 样方盖度统计
Fig.3 Statistics of quadrat coverage

从图 4 可以看出,各区域 Simpson 多样性指数(D)有极显著差异($P=0.001\ 63$),除芦苇区外,其余区域 D 指数都大于对照区,特别是自然区和浮叶区,多样性明显高于对照区。各区域 Shannon-Wiener 多样性指数(H')也有极显著差异($P=0.001\ 02$),且趋势与 D 指数一致,当 H' 指数大于 0 且小

于 1 时,生物多样性较差, H' 指数大于等于 1 时,生物多样性良好^[14],除自然区、香蒲区、沉水区生物多样性良好外,其余区域多样性均较差。各区域 Pielou 均匀度指数(J)有极显著差异($P=0.000\ 657$),对照区均匀度显著高于试验区,当 J 指数为 0.8 以上时,生物均匀度较好^[15]。

2.2 水质变化 从项目区内各采样点水质物理指标(图 5)可以看出,各样点水质电导率(EC)无显著差异($P=0.811$)。对照区氧化还原电位(ORP)与试验区各组间无显著差异($P=0.174$),但对照区氧化还原电位(207.13 mV)明显高于漂浮区(195.27 mV)。各样点水面温度有显著差异($P=0.009$),航道区(27.13 ℃)和对照区(27.33 ℃)水面温度明显低于各试验区。各样点水质透明度也有显著差异($P=0.009$),表现为对照区水质透明度(0.39 m)明显低于漂浮区(0.43 m)和挺水区(0.43 m)。

将样点水质化学指标与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)进行对比,结果发现(图 6),各区域高锰酸盐指数(COD_{Mn})有显著差异($P=0.007$),航道区(6.40 mg/L)和对

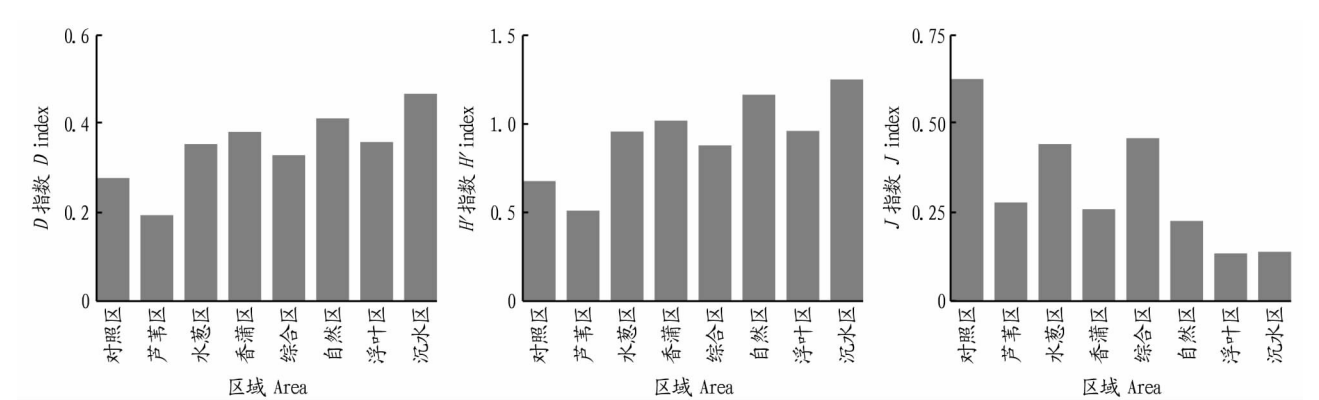


图 4 样方内生物 D 指数、H' 指数和 J 指数

Fig.4 D index, H' index and J index of organisms in the quadrat

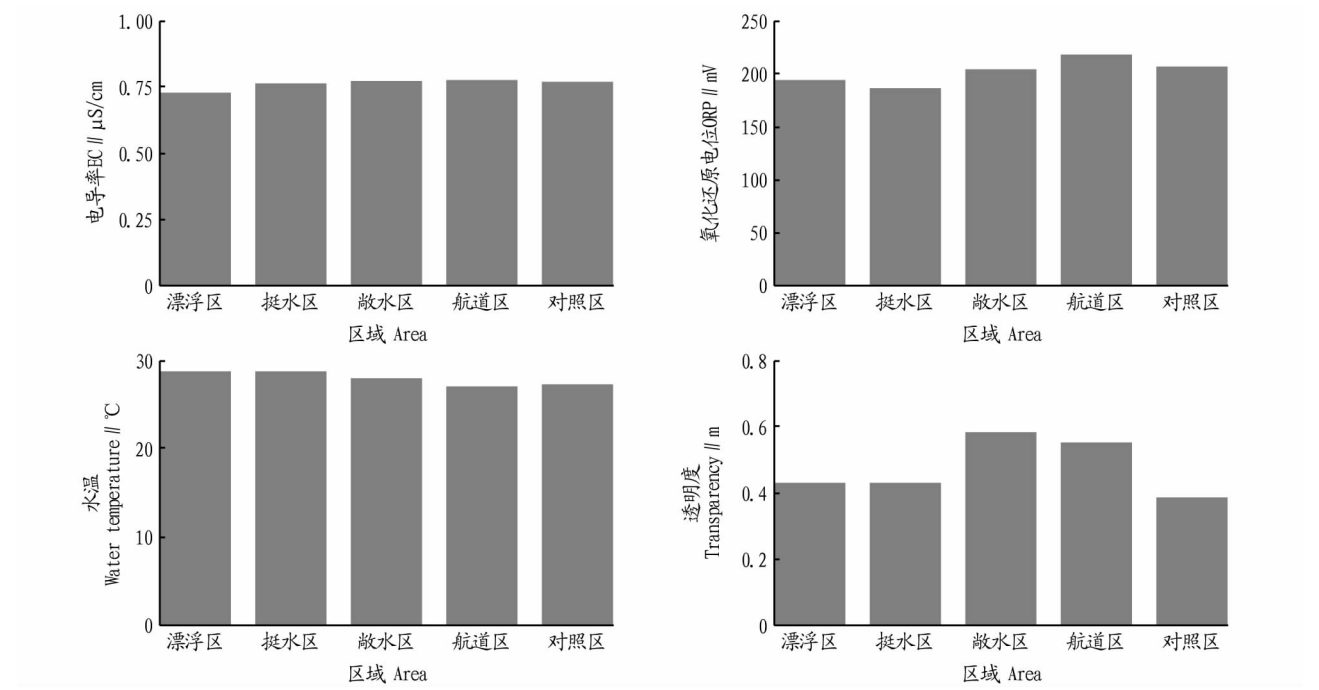


图 5 各采样点水质物理指标

Fig.5 Physical indicators of water quality at each sampling point

照区高锰酸盐指数(6.67 mg/L)明显低于挺水区(6.94 mg/L)和敞水区(7.42 mg/L),各区域高锰酸盐指数均符合Ⅳ类水标准。而各个样点硝酸盐氮($P=0.712$,达到国家标准)、氨氮($P=0.279$,均达到Ⅰ类水标准)、总氮($P=0.667$,均达到Ⅱ类水标准)、总磷($P=0.550$,均达到Ⅳ类水标准)含量均无显著差异。各区域水样 pH 有极显著差异($P=0.000$),航道区(7.48)和对照区(7.46)pH 均低于试验区,但都在国家标准范围内。各区域水样溶解氧(DO)有极显著差异($P=0.000$),其中航道区(5.96 mg/L)和对照区(5.78 mg/L)符合Ⅳ类水标准,明显低于试验区(Ⅰ类水标准)。各区域硝酸根离子有显著差异($P=0.002$),且对照区(0.26 mg/L)明显低于其他区域。

2.3 沉积物指标变化 各区域沉积物中总氮($P=0.000$)、总磷($P=0.022$)、有机碳($P=0.021$)含量均有显著差异(图 7)。对照区总氮(2.51 g/kg)和有机碳(20.40 g/kg)含量明显高于其他区域,对照区(394.67 mg/kg)和航道区(521.33 mg/kg)总磷含量明显高于试验区。

各区域沉积物粒度分布及含水率统计如图 8 所示,航道区和对照区沉积物砂粒含量明显多于试验区,各区域沉积物含水量有极显著差异($P=0.001$),其中对照区土壤含水率(61.70%)明显高于其他区域。

3 讨论

3.1 生物组成及多样性变化 项目区植被恢复以自然恢复为主,人工种植为辅,经过 1 年时间的恢复,除芦苇区外,其余区域都保持了良好的生物多样性和植被盖度。对照区主要群落为水花生群落,植被盖度较高,遮挡了阳光照射进水面,导致其他植物缺氧,不能生长繁殖^[16]。项目区建设的围栏有效地阻挡了水花生的蔓延,在项目区内少有水花生发现,说明围栏的设置对生物多样性的提高有一定的积极作用。

试验区内的芦苇区植被盖度高于对照组,且生物多样性指数也比较低,在区域内没有发现芦苇群落,优势群落为水蓼群落,说明芦苇区的植被恢复效果较差,环境不适宜芦苇

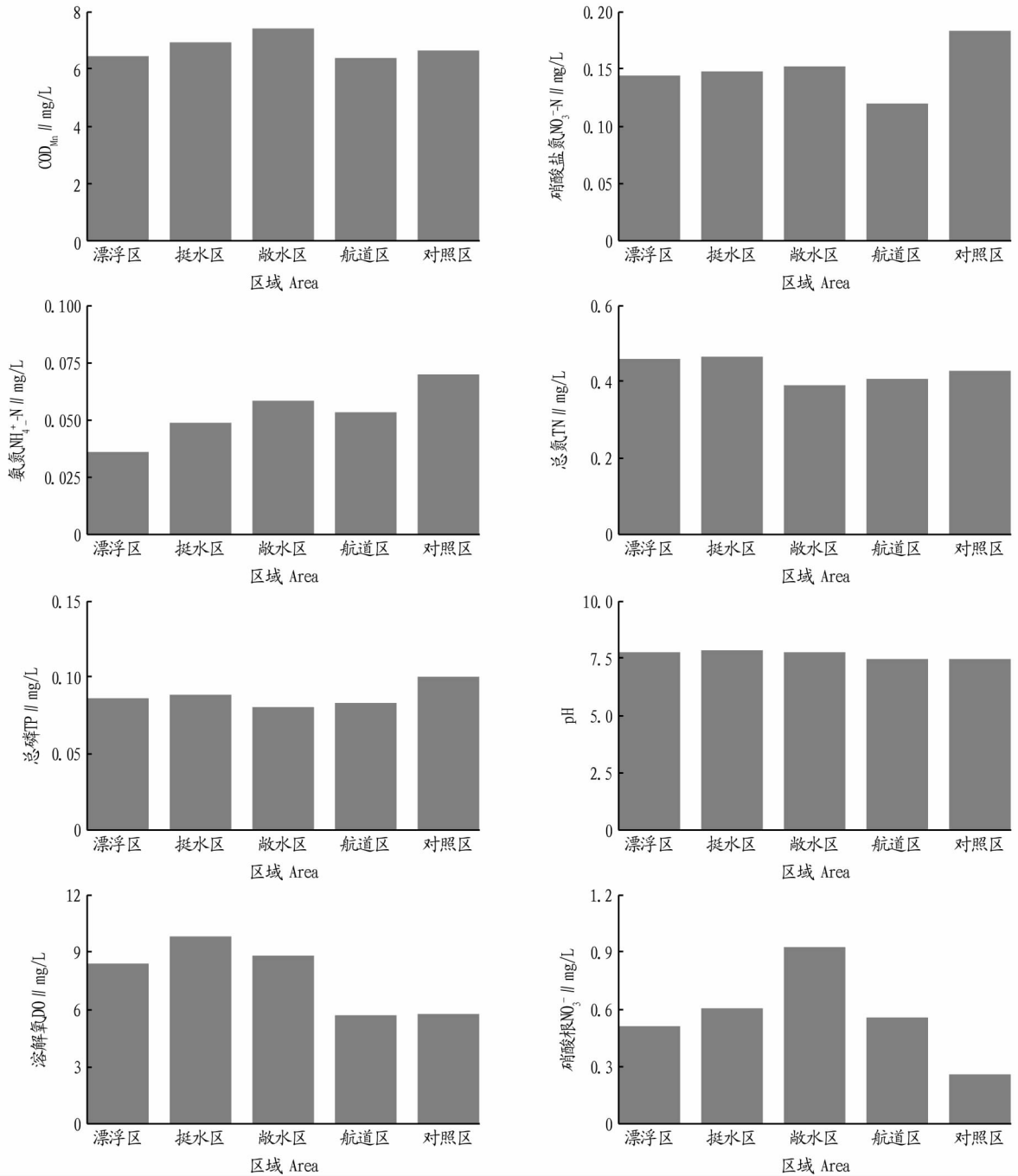


图 6 各采样点水质化学指标

Fig.6 Chemical properties of water quality at each sampling point

群落的生存。可能是因为在芦苇岛西侧与对照区相连,没有围栏阻挡。

3.2 水质及沉积物变化 对照区与项目区的水质差异主要体现在温度、透明度、高锰酸盐指数、溶解氧和硝酸根离子上,特别是溶解氧的差异较大,项目区与对照区达到的水质标准相差 2 个等级。

对照区水温明显低于项目区,可能是由于对照区水花生泛滥,有效阻挡了阳光的照射,导致水面温度降低,虽然这可能对水质有积极作用^[17],但水花生对阳光的阻挡在一定程度上还是会造成水体缺氧,导致水质变差。对照区水体透明度的降低也印证了水质下降,表明藻类繁殖比较旺盛,沉水

植物生存条件较差^[18]。

高锰酸盐指数是反映水体中有机及无机可氧化物质污染的常用指标,指数越高,表明水体有机污染程度越高^[19]。项目区特别是敞水区的高锰酸盐指数较高,反映出敞水区有一定程度的富营养化。同时,敞水区的硝酸根浓度也明显高于其他区域,也代表了敞水区的水体有富营养化的特征^[20],说明植物的存在对湖区富营养化有一定的改善效果,敞水区植被仍处于演替初期阶段,对水质的净化作用较弱,但从水体的其他化学指标综合对比来看,敞水区水质条件优于对照区。试验区与对照区差异最大的水质因子是溶解氧,经过植被恢复后,试验区水体溶氧量提升了 3 个等级,显著改善了

水体的水质和植被生长环境^[18]。

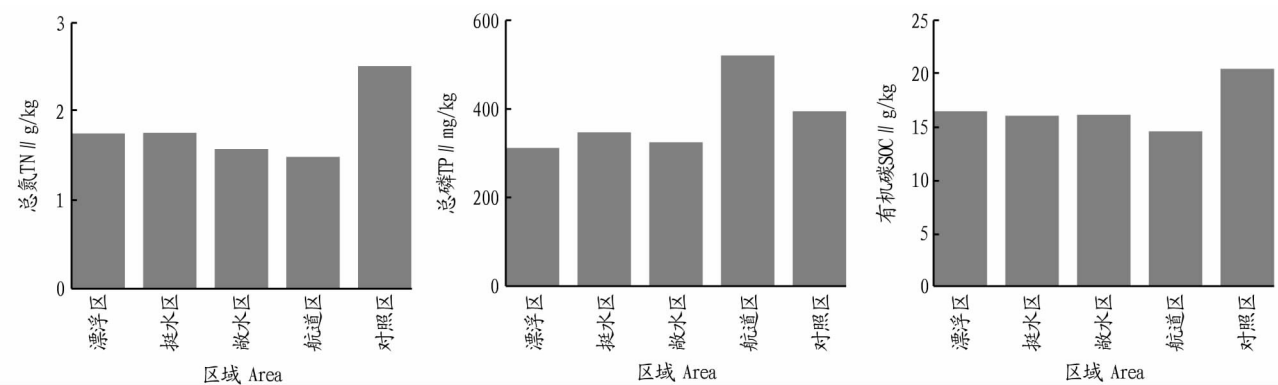


图7 各采样点沉积物化学性质

Fig.7 Chemical properties of sediments at each sampling point

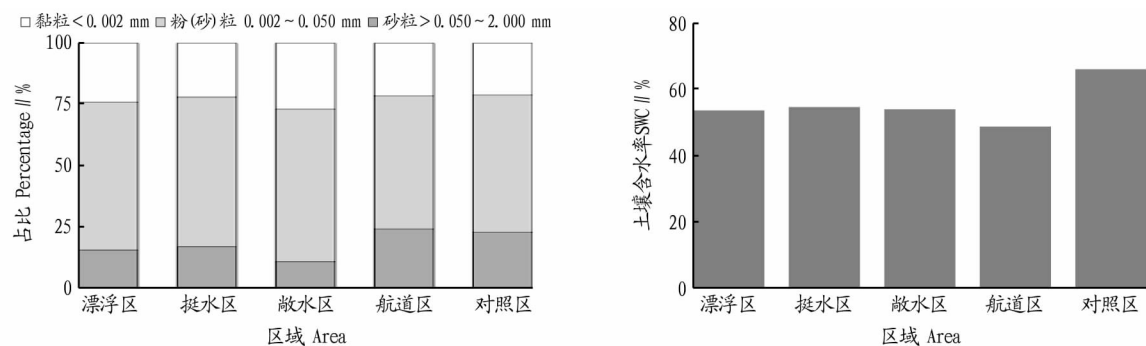


图8 各采样点沉积物物理性质

Fig.8 Physical properties of sediment at each sampling point

对照区沉积物的碳、氮、磷含量都明显高于试验区,可能是由于水花生对水面的覆盖造成水体溶氧量下降,水体整体是缺氧环境,有机污染物不能及时分解,沉降到了湖底沉积物中^[20]。底泥的富营养化可能会随着水体的循环扰动重新进入水体中^[21],造成水体的富营养化。

4 结论

通过对洪泽湖湿地网围拆除区的水生植被修复技术应用示范与推广工程,项目区内的生物组成和多样性得到显著恢复;项目区水质情况有所改善,但敞水区由于水生植被尚处于群落演替发育早期,缺少植物净化,硝酸盐氮含量较高,但整体水质特别是溶氧量相比对照区有明显提升;沉积环境富营养化显著改善,项目工程初步取得了良好的效果。

然而项目区建成后湖区生态系统修复期只有 1 年的时间,植被演替仍处在初期先锋阶段,群落结构比较单纯,植被对水质和沉积环境的改造作用还不明显,生态系统相对不稳定,需要持续跟进对项目进行检测评估,以全面评价植被景观构建修复技术的整体效果。

参考文献

[1] 朱立平,彭萍,张国庆,等.全球变化下青藏高原湖泊在地表水循环中的作用[J].湖泊科学,2020,32(3):597-608.
[2] 吕哲敏.湖泊过程对区域及全球气候预报的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2021.
[3] 熊雄,吴辰熙.湖泊——内陆水体微塑料污染的热点区域[J].自然杂志,2021,43(4):243-250.
[4] 李成之.洪泽湖湿地退化成因及生态修复实践:以江苏泗洪洪泽湖湿地

国家级自然保护区为例[J].绿色科技,2021,23(4):169-170.
[5] 姚敏,毛晓文,孙瑞端.洪泽湖水质 2010—2020 年时空变化特征[J].水资源保护,2022,38(3):174-180.
[6] 沈海琴,张敏,汪露,等.洪泽湖水质时空变化和富营养化研究[J].江苏水利,2021(6):30-35.
[7] 刘超,王智源,张建华,等.景观类型与景观格局演变对洪泽湖水质的影响[J].环境科学学报,2021,41(8):3302-3311.
[8] 黄进,南楠,张金池.洪泽湖主要水生植物群落水环境效益研究[J].环境科技,2008,21(6):5-8.
[9] 段海昕,毛志刚,王国祥,等.洪泽湖养殖网围拆除生态效应[J].湖泊科学,2021,33(3):706-714.
[10] 赵筱侠.黄河夺淮对苏北水环境的影响[J].南京林业大学学报(人文社会科学版),2013,13(3):92-101.
[11] SIMPSON E H.Measurement of diversity[J].Nature,1949,163(4148):688.
[12] SHANNON C E.A mathematical theory of communication[J].Bell system technical journal,1948,27(3):379-423.
[13] PIELOU E C.The measurement of diversity in different types of biological collections[J].Journal of theoretical biology,1966,13:131-144.
[14] 杜红春.汉江干流浮游生物群落结构和功能群特征及水质评价[D].武汉:华中农业大学,2020.
[15] 许志.上海河道浮游生物群落结构时空分布特征及水质生物学评价[D].上海:华东理工大学,2020.
[16] 张军.丹江流域植被格局演变及其与水质响应关系研究[D].西安:西安理工大学,2017.
[17] 苏琴.含沙水环境中影响水质监测结果的因素分析[J].陕西水利,2021(1):106-108.
[18] 杨潇,马吉顺,张欢,等.鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征和影响因素及水质评价[J].水生生物学报,2021,45(5):1093-1103.
[19] 戚春玲,尤斌,常玉婷.艾比湖高背景指标对湖体水环境的影响[J].干旱环境监测,2021,35(3):107-111.
[20] 陈明,刘正芳,刘友存,等.赣江上游河道氮污染分析评价[J].有色金属科学与工程,2021,12(2):79-89.
[21] 李刚,太娇阳,董会军,等.湖泊潜流带水交换研究现状与思考[J].地下水,2021,43(3):1-5,43.