

# 南四湖区湿地公园水生植物多样性及其对水质的影响

祝琳, 祝钰, 董丽\*

(花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心,  
城乡生态环境北京实验室, 北京林业大学 园林学院, 北京 100083)

**摘要:**采用实地调查与实验分析相结合的方法,研究比较了南四湖区现有的4个湿地公园水生植物物种和群丛多样性,并对4个湿地公园水体的pH、电导率(EC)、总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)进行了检测,其中以微山湖国家湿地公园为主要研究对象,探究了植物群丛分布对湖水水质的影响。结果表明,南四湖区4个湿地公园(简称W、T、B、P)共有水生植物43种,隶属于26科36属,以莎草科种数最多,其次是禾本科和睡莲科。水生植物物种多样性的比较显示T>W>B>P,群丛多样性则是W>T>B>P。4个湿地公园水质均属于中性偏碱性,化学需氧量以B(26.03~41.56 mg·L<sup>-1</sup>)最高,T(9.22~16.98 mg·L<sup>-1</sup>)最低,总氮、总磷含量均以B(TP:1.04~1.89 mg·L<sup>-1</sup>,TN:4.50~5.17 mg·L<sup>-1</sup>)最高,整体水质状态以T最好。不同植物群丛间水体总氮、总磷及化学需氧量存在显著性差异( $p<0.05$ ),芦苇和长苞香蒲群丛水体的TP、COD<sub>Cr</sub>较低(TP比CK低97.40%和95.30%,COD<sub>Cr</sub>比CK低44.70%和35.60%);芦苇和茭白群丛水体的TN较低(TN比CK低77.30%和73.40%),初步证明了自然植物群丛的净化能力。

**关键词:**湿地公园;水生植物;多样性;水质;南四湖

**中图分类号:**S731.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)02-0239-06

## Diversity of Aquatic Macrophytes and Its Influence on Water Quality of Wetland Parks in Nansi Lake Area

ZHU Lin, ZHU Yu, DONG Li\*

(Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, National Engineering  
Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment and College of  
Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China)

**Abstract:** By using methods of field investigation and laboratory experiments, a comparative study of four wetland parks in Nansi Lake area was conducted to examine the diversity of aquatic macrophyte species and associations. Physicochemical factors such as pH, conductivity (EC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and chemical oxygen demand (COD<sub>Cr</sub>) were measured to evaluate eutrophication level of the lake water. The influence of aquatic macrophyte associations on spatial distribution of water pollutants was studied on the national wetland park of Weishan Lake, as the main object of study. The results showed: 1) a total of 43 species of aquatic macrophytes belonging to 36 genera and 26 families were observed widely in the four wetland parks in Nansi Lake area (referred to as W, T, B, and P), Cyperaceae had the most species, followed by Gramineae and Nymphaeaceae. The comparison of diversity of aquatic macrophyte species and associations showed that T and W were the better ones among the four wetland parks, followed by B and P. 2) Waters in the four wetland parks were mildly alkaline, B had the highest COD<sub>Cr</sub> (26.03~

收稿日期:2014-09-29    修回日期:2014-11-02

作者简介:祝琳,女,硕士,研究方向:园林植物应用与生态。E-mail: zhulinhappy1989@163.com

\*通信作者:董丽,教授,博士生导师,研究方向:园林植物应用与生态。E-mail: dongli@bjfu.edu.cn

41.56 mg/L), while T had the lowest (9.22~16.98 mg/L). TP and TN of B were also higher than others, ranged 1.04~1.89 mg/L and 4.50~5.17 mg/L, respectively. The water quality of T was relatively better. 3) TN, TP and COD<sub>Cr</sub> were extremely different among different macrophyte associations( $p<0.05$ ). TP and COD<sub>Cr</sub> were much lower in the water nearby *Phragmites australis* (reduced by 97.40% and 44.70%) and *Typha angustata* (reduced by 95.30% and 35.60%) associations, while TN was lower in the water nearby *Phragmites australis* (reduced by 77.30%) and *Zizania latifolia* (reduced by 73.40%) associations compared with the control, indicating the purifying capacity of natural aquatic macrophyte associations preliminarily.

**Key words:** wetland park; aquatic macrophyte; diversity; water quality; Nansi Lake area

湿地公园作为保护湿地生态环境和资源、提供科普教育和休憩空闲的综合体,越来越被重视<sup>[1]</sup>。水生植物作为湿地的重要组成部分,是湿地景观最具表现力和功能性的元素之一<sup>[2]</sup>,在整个湿地生态系统中起到至关重要的作用<sup>[3-7]</sup>。不同水生植物对氮、磷、有机物<sup>[8]</sup>等水体污染物的去除能力有很大的差异<sup>[9]</sup>,筛选适合本地区生长且净化能力较强的水生植物用于湿地公园的植物配置和水体净化,具有重要的理论和实际意义。

本研究通过调查南四湖区 4 个湿地公园水生植物的物种和群丛多样性及分布规律,探究水生植物群丛分布对水质的影响,以期为湿地公园的植物配置及湖水污染治理提供科学依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

南四湖(34°27′—35°20′N、116°34′—117°21′E)位于山东省西南部华北平原与黄淮平原交接地带,由南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖 4 个相互连贯的湖泊构成。全湖面积 1 266 km<sup>2</sup>,南北长 126 km,东西宽 5~25 km,平均水深 1.46 m,是华北最大的淡水湖泊和重要的水源地。

依托南四湖丰富的自然湿地资源,现建有 4 个湿地公园,分别名为微山湖国家湿地公园(34°43′—34°46′N、117°8′—117°9′E,位于山东省微山县,以下简称 W)、滕州微山湖湿地公园(35°6′—35°7′N、116°50′—116°51′E,位于山东省滕州市,以下简称 T)、北湖湿地公园(35°17′—35°20′N、116°34′—116°36′E,位于山东省济宁市,以下简称 B)和微山湖湖滨湿地公园(34°49′N、116°58′—116°59′E,位于江苏省沛县,以下简称 P)。

### 1.2 研究方法

1.2.1 植物调查及分析方法 2013 年 5 月至 2014 年 8 月,逐季对 4 个湿地公园进行实地调查,根据水生植物分布现状布设采样点,在各公园每一采样点

方圆 500 m<sup>2</sup> 的范围内随机设置 6 个 2 m×2 m 的样方<sup>[3,5-6]</sup>,然后记录每一样方中的植物物种及各种群的多度、盖度和其他群落特征。物种多样性指数选用 Simpson 多样性指数和 Shannon-wiener 多样性指数进行计算<sup>[3,5]</sup>。群丛的命名采用优势种原则,同一层的优势种用“+”按其在群落中相对重要值从大到小的顺序连接,不同层间的优势种用“—”连接<sup>[5]</sup>。

重要值=(相对多度+相对盖度+相对频度)/3

Simpson 多样性指数: $D=1-\sum P_i^2$

Shannon-wiener 指数: $H=-\sum P_i \ln P_i$

式中: $P_i=N_i/N$ ;  $N_i$  为第  $i$  种物种的重要值;  $N$  为群落所有种的重要值。

1.2.2 水体采样及指标检测方法 于 2014 年 7—8 月,水生植物生长旺盛的阶段,根据各湿地公园面积大小及植物群丛多样性布设 10~15 个采样点,样点的布设充分考虑水生植物的种类、群丛的分布状况,使各个群丛内的样点水质基本上能代表该区域的水质状况<sup>[10]</sup>,并在公园入口无植物分布的开阔水面布设空白对照点(CK),每个处理设置 3 个重复<sup>[11]</sup>。

采样过程控制在同一时间段内,用 1 L 采水器在植物群丛内部,靠近植物根系部位采取上、中、下 3 个不同水层的水样,混匀,立即经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,总氮水样加硫酸酸化至 pH≤1,总磷和化学需氧量水样加硫酸酸化至 pH≤2,用密封玻璃容器、4℃ 低温保存,在规定时间内完成检测<sup>[12]</sup>。

水样的 pH 采用 PHTEST30 测定仪,电导率(EC)采用 HI98303 测定仪在水样加酸化前进行现场测定;总氮(TN),总磷(TP)和化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)采用美国 Thermo Scientific 公司生产的紫外可见分光光度计(BioMate 3S)进行测定;水样总氮(TN)采用碱性过流酸钾氧化—紫外分光光度法;总磷(TP)采用磷钼蓝分光光度法;化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)采用快速密闭催化消解法<sup>[12]</sup>。

2 结果与分析

2.1 物种多样性比较

根据实地调查结果,南四湖区 4 个湿地公园共有水生植物 43 种,隶属于 26 科 36 属(表 1)。其中挺水植物 24 种,占 55. 81%,浮水植物 8 种,占 18. 60%,漂浮植物 3 种,占 7. 0%,沉水植物 8 种,占 18. 60%;W、T、B、P 湿地公园各分布有水生植物

21 种、35 种、17 种和 12 种,分别隶属于 14 科 20 属、22 科 32 属、13 科 15 属、11 科 11 属,以莎草科(Cyperaceae)物种数量最多,共 6 种,其次是禾本科(Gramineae)和睡莲科(Nymphaeaceae),均是 4 种,其中,芦苇(*Phragmites australis*)、长苞香蒲(*Typha angustata*)、芡实(*Euryale ferox*)和竹叶眼子菜(*Potamogeton malaianus*)是 4 个湿地公园的共有种,水生植物物种多样性的现状是 T>W>B>P。

表 1 南四湖区湿地公园水生植物分布

Table 1 The distribution of aquatic macrophytes of wetland parks in Nansi Lake area

中文名	拉丁名	科名	属名	分布				生活型
				W	T	B	P	
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	+	+	+	+	挺水
芦竹	<i>Arundo donax</i>	禾本科	芦竹属	+	+			挺水
茭白	<i>Zizania latifolia</i>	禾本科	菰属	+	+			挺水
蒲苇	<i>Cortaderia selloana</i>	禾本科	蒲苇属		+			挺水
长苞香蒲	<i>Typha angustata</i>	香蒲科	香蒲属	+	+	+	+	挺水
小香蒲	<i>Typha minima</i>	香蒲科	香蒲属			+		挺水
水葱	<i>Scirpus validus</i>	莎草科	蔺草属		+			挺水
扁秆蔺草	<i>Scirpus planiculmis</i>	莎草科	蔺草属	+			+	挺水
头状穗莎草	<i>Cyperus glomeratus</i>	莎草科	莎草属		+	+		挺水
纸莎草	<i>Cyperus papyrus</i>	莎草科	莎草属		+			挺水
旱伞草	<i>Cyperus alternifolius</i>	莎草科	莎草属		+			挺水
荸荠	<i>Heleocharis dulcis</i>	莎草科	荸荠属	+				挺水
灯芯草	<i>Juncus effusus</i>	灯心草科	灯心草属				+	挺水
喜旱莲子草	<i>Alternanthera Philoxeroides</i>	苋科	莲子草属	+	+	+		挺水
酸模叶蓼	<i>Polygonum lapathifolium</i>	蓼科	蓼属	+	+		+	挺水
再力花	<i>Thalia dealbata</i>	竹芋科	水竹芋属		+	+		挺水
梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i>	雨久花科	梭鱼草属		+	+		挺水
千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>	千屈菜科	千屈菜属		+	+		挺水
野慈姑	<i>Sagittaria trifolia</i>	泽泻科	慈姑属		+			挺水
东方泽泻	<i>Alisma orientale</i>	泽泻科	泽泻属		+			挺水
黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	鸢尾科	鸢尾属		+			挺水
菖蒲	<i>Acorus calamus</i>	天南星科	菖蒲属	+	+	+	+	挺水
紫芋	<i>Colocasia tonoi</i>	天南星科	芋属		+			挺水
荷花	<i>Nelumbo nucifera</i>	睡莲科	莲属	+	+	+		挺水
睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	睡莲科	睡莲属	+	+	+		浮水
萍蓬草	<i>Nuphar pumilum</i>	睡莲科	萍蓬草属	+	+			浮水
芡实	<i>Euryale ferox</i>	睡莲科	芡属	+	+	+	+	浮水
王莲	<i>Victoria regia</i>	睡莲科	王莲属		+			浮水
荇菜	<i>Nymphoides peltatum</i>	龙胆科	荇菜属	+		+	+	浮水
水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>	水鳖科	水鳖属	+	+			浮水
水罨粟	<i>Hydrocleys nymphoides</i>	花蔺科	水罨粟属		+			浮水
菱	<i>Trapa bispinosa</i>	菱科	菱属		+			浮水
槐叶苹	<i>Salvinia natans</i>	槐叶苹科	槐叶苹属	+	+			漂浮
浮萍	<i>Lemna minor</i>	浮萍科	浮萍属		+			漂浮
萍	<i>Marsilea quadrifolia</i>	萍科	萍属		+	+		漂浮
菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	眼子菜科	眼子菜属	+		+	+	沉水
篳齿眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i>	眼子菜科	眼子菜属		+			沉水
竹叶眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>	眼子菜科	眼子菜属	+	+	+	+	沉水
金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	金鱼藻科	金鱼藻属	+			+	沉水
轮叶狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	小二仙草科	狐尾藻属	+	+			沉水
黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	水鳖科	黑藻属		+	+	+	沉水
狸藻	<i>Utricularia vulgaris</i>	狸藻科	狸藻属	+				沉水
黄花狸藻	<i>Utricularia aurea</i>	狸藻科	狸藻属		+			沉水

注:“+”表示有分布。

## 2.2 群落多样性比较

南四湖区 W、T、B、P 4 个湿地公园各有水生植物群丛类型 8、5、5、4 个,主要为挺水植物、浮叶植物和沉水植物群丛(表 2)。T 虽然植物种类最多,占总数的 81.3%(表 1),但旱伞草(*Cyperus alternifolius*)、紫芋(*Colocasia tonoiimo*)、再力花(*Thalia dealbata*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)等植物均是作为其水生植物园中的展示植物,数量与面积相对较少,未形成植物群丛,所以群丛类型少于 W。整体群丛多样性的现状是 W>T>B>P。

同一群丛类型 Simpson 指数与 Shannon-Wiener 指数的大小相呼应,表明二者均适应于水生植物群落多样性的度量。芦苇群丛和荷花(*Nelumbo nucifera*)群丛在 4 个湿地公园均有分布,两群丛的

物种组成数目都是以 W 最多、P 最少,其多样性指数,无论是 Simpson 指数还是 Shannon-Wiener 指数,也是以 W 最高、P 最低。这是因为 W 人为干扰强度小且面积较大,P 干扰强度大且面积较小,多数水生植物群落由单一物种组成。W、T、B 群丛的物种多样性均表现为睡莲(*Nymphaea tetragona*)群丛最高,芦苇群丛最低,P 少有睡莲分布,但仍以芦苇群丛物种多样性最低。这是因为睡莲为浮叶植物,虽在群丛中作为优势种但优势度较低,喜旱莲子草(*Alternanthera Philoxeroides*)、芡实、萍(*Mar-silea quadrifolia*)等伴生种多,群丛的物种多样性高,芦苇群丛多以芦苇荡的形式出现,优势度高,除了人为干扰与香蒲、荷花组成共优群丛外,其间少有其他物种生长。

表 2 南四湖区湿地公园主要水生植物群丛多样性指数的比较

Table 2 Comparison of diversity indices of main association types in macrophyte communities of wetland parks in Nansi Lake area									
群丛类型	W		T		B		P		
	D	H	D	H	D	H	D	H	
芦苇群丛 <i>Phragmites australis</i> Ass.	0.340 1±0.046 2	0.515 6±0.054 9	0.210 1±0.063 8	0.328 3±0.097 6	0.130 2±0.062 5	0.173 3±0.086 6	0.095 0±0.042 5	0.172 8±0.081 7	
长苞香蒲群丛 <i>Typha angustata</i> Ass.	0.432 5±0.033 8	0.638 1±0.043 2	0.304 2±0.028 5	0.453 2±0.040 4	0.300 3±0.084 7	0.467 9±0.101 0			
茭白群丛 <i>Zizania latifolia</i> Ass.	0.239 7±0.063 5	0.363 4±0.072 1							
喜旱莲子草群丛 <i>Alternanthera Philoxeroides</i> Ass.	0.458 3±0.053 7	0.741 1±0.114 4							
荷花群丛 <i>Nelumbo nucifera</i> Ass.	0.350 1±0.059 3	0.646 4±0.109 8	0.187 6±0.027 9	0.301 6±0.043 2	0.170 1±0.043 2	0.313 5±0.077 1	0.166 7±0.053 5	0.275 2±0.084 6	
睡莲群丛 <i>Nymphaea tetragona</i> Ass.	0.620 1±0.065 4	0.743 9±0.049 3	0.353 3±0.050 5	0.579 3±0.079 9	0.185 2±0.062 5	0.295 8±0.094 1			
荇菜群丛 <i>Nymphoides peltatum</i> Ass.	0.353 9±0.036 7	0.710 3±0.045 3					0.226 7±0.026 9	0.493 5±0.098 1	
菹草+金鱼藻群丛 <i>Potamogeton crispus</i> + <i>Ceratophyllum demersum</i> Ass.	0.009 9±0.007 1	0.028 1±0.019 7			0.138 3±0.054 7	0.233 0±0.083 0			
黑藻群丛 <i>Hydrilla verticillata</i> Ass.			0.280 1±0.080 8	0.407 2±0.117 5			0.288 7±0.053 7	0.383 5±0.033 7	

注: Mean ±SD; D;Simpson 指数(Simpson Index),H;Shannon-Wiener 指数(Shannon-Wiener Index)。

## 2.3 水质评价比较

南四湖水体的 pH 为中性偏碱性,其中 B、W、T 相近(pH:7.78~8.31),P 碱性较高,最高值达到 9.89;电导率可以反映水体的离子浓度,4 个湿地公园中以 B 最高(EC:1 203~1 330 μs),T 最低(EC:470~783 μs),P(1 254 μs)和 W(1 149 μs)的均值相近,但各样点电导率变化规律不明显;B 的 CODcr(26.03~41.56 mg·L<sup>-1</sup>)最高,属于Ⅳ~Ⅴ类水体<sup>[13]</sup>,其中样点 1(41.56 mg·L<sup>-1</sup>)和样点 5(35.74 mg·L<sup>-1</sup>)较高,属于Ⅴ类水体,其余属于Ⅳ类水体,T 的 CODcr(9.22~16.98 mg·L<sup>-1</sup>)最低,属于Ⅰ~Ⅲ类水体,P、W 的 CODcr 在Ⅲ~Ⅴ类之间变化;TP 和 TN 也是以 B(TP:1.04~1.89 mg·L<sup>-1</sup>,TN:4.50~5.17 mg·L<sup>-1</sup>)最高,除了 W 的 TN 在

Ⅰ~Ⅴ类水体之间变化外,其他公园的 TP 和 TN 检测值均位于Ⅴ类水质标准以下,属于典型的富营养化水体<sup>[9-11]</sup>(表 3、4)。

## 2.4 植物群丛对水质影响

通过微山湖国家湿地公园主要水生植物群丛间水体的 pH、电导率、氮、磷及化学需氧量与 CK 的对比,基本能够反映出该种植物群丛在自然状态下对氮、磷等污染物的去除能力。在本研究的中度富营养化水中,各样点水体的 pH、电导率无明显规律,但水面越宽阔,pH 值越接近中性;植物群丛内部水体的氮、磷及化学需氧量明显低于 CK,对 TP 的去除效果最好,样点浓度比 CK 低 21.9%~97.40%,TN 的去除效果居中,样点浓度比 CK 低 14.50%~77.30%,CODcr 的去除率最低,样点浓度比 CK 低

3.20%~44.70%(表 5)。

不同植物群丛间水体总氮、总磷及化学需氧量存在显著性差异( $p<0.05$ ),挺水植物对湖水的总体去除效果优于浮叶植物和沉水植物,其中芦苇群丛的 3 种物质浓度均处于最低状态。芦苇群丛和长苞香蒲群丛对 TP、CODcr 的去除效果较好,TP 比 CK 低 97.40%和 95.30%,CODcr 比 CK 低 44.70%和 35.60%;芦苇群丛和茭白群丛对 TN 的

去除效果较好,TN 比 CK 低 77.30%和 73.40%,睡莲群丛和菹草(*Potamogeton crispus*)+金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)群丛对 TP、CODcr 的去除效果较差,TP 比 CK 低 28.50%和 21.90%,CODcr 比 CK 低 4.10%和 3.20%,睡莲群丛和喜旱莲子草群丛对 TN 的去除效果较差,TN 比 CK 低 14.50%和 16.91%。

表 3 南四湖区湿地公园水质状况的比较

Table 3 Comparison of water quality of wetland parks in Nansi Lake area								
指标	位置	样点 1	样点 2	样点 3	样点 4	样点 5	样点 6	样点 7
pH	W	8.32	7.83	7.89	8.03	8.07	8.03	8.07
	T	8.39	8.19	8.12	8.29	8.15	7.81	8.31
	P	8.73	9.86	8.53	9.56	8.34	8.69	9.31
	B	8.31	8.20	8.09	8.02	8.03	8.35	7.78
EC/ $\mu$ s	W	1 279	1 436	1 007	918	1 363	1 193	847
	T	470	484	783	673	709	690	723
	P	1 217	1 254	1 203	1 261	1 290	1 330	1 223
	B	2 180	2 105	2 197	2 207	2 215	2 278	2 186
CODcr/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	W	24.74	27.98	21.51	22.16	17.63	31.86	31.86
	T	12.46	13.75	16.97	16.95	16.98	13.10	9.22
	P	27.98	15.04	25.39	29.92	30.56	20.86	32.5
	B	41.56	26.68	27.04	29.92	35.74	26.68	26.04
TP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	W	1.03	1.02	0.25	0.02	1.08	0.37	0.16
	T	0.61	0.27	0.45	0.26	0.26	0.46	0.70
	P	0.47	0.33	0.50	0.41	0.43	0.43	0.56
	B	1.19	1.42	1.89	1.56	1.31	1.04	1.36
TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	W	1.51	0.48	1.70	1.07	0.41	1.49	1.29
	T	2.99	1.90	2.85	2.94	2.95	2.77	2.21
	P	4.38	4.30	3.88	4.08	4.10	4.07	4.15
	B	4.62	4.50	4.69	4.50	5.17	4.53	4.75

表 4 地表水环境质量标准基本项目标准限值

Table 4 Environment quality standard for surface water standard limits basic project						( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
指标		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
化学需氧量(COD)	$\leq$	15	15	20	30	40
总磷(TP)	$\leq$	(湖、库 0.01)	(湖、库 0.025)	(湖、库 0.05)	(湖、库 0.1)	(湖、库 0.2)
总氮(TN)	$\leq$	0.2	0.5	1	1.5	2

表 5 微山湖国家湿地公园水生植物群丛水质净化效果比较

Table 5 Comparison of aquatic macrophyte associations for water purification in the national wetland park of Weishan Lake					
群丛类型	pH	EC/ $\mu$ s	TP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	CODcr/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
芦苇群丛 <i>Phragmites australis</i> Ass.	8.03±0.02ab	1 330±5f	0.025±0.001a	0.437±0.049a	19.356±0.780a
长苞香蒲群丛 <i>Typha angustata</i> Ass.	7.89±0.16a	1 363±6g	0.045±0.002a	0.676±0.041c	22.519±1.163b
茭白群丛 <i>Zizania latifolia</i> Ass.	8.19±0.04bc	1 193±6d	0.136±0.005b	0.513±0.035b	27.167±1.790c
荷花群丛 <i>Nelumbo nucifera</i> Ass.	8.07±0.06b	1 450±11h	0.156±0.003b	1.362±0.004e	30.718±0.957d
喜旱莲子草群丛 <i>Alternanthera Philoxeroides</i> Ass.	8.07±0.04b	847±18a	0.247±0.011c	1.602±0.033g	32.138±1.741de
睡莲群丛 <i>Nymphaea tetragona</i> Ass.	8.32±0.05c	1 279±10e	0.689±0.032e	1.647±0.028g	33.558±1.189ef
荇菜群丛 <i>Nymphoides peltatum</i> Ass.	8.06±0.01b	1 007±9c	0.374±0.009d	1.462±0.035f	32.347±0.295de
菹草+金鱼藻群丛 <i>Potamogeton crispus</i> + <i>Ceratophyllum demersum</i> Ass.	8.87±0.19d	918±29b	0.752±0.013f	1.203±0.072d	33.875±1.457ef
无植物 CK	8.73±0.08d	1263±6e	0.963±0.029g	1.928±0.035h	34.978±1.358f

注:Mean±SD; 邓肯氏新复极差检验, 同列中有相同字母的表示未达到  $p=0.05$  水平的显著差异。

3 结论与讨论

南四湖通过湿地公园水生植物的种植有效的改善了水质,水体 TP、TN 和 COD<sub>Cr</sub> 均有降低,植物多样性显著增加,且植物群落趋于稳定,形成了南四湖独特的湿地景观<sup>[13]</sup>。已建成的 4 个湿地公园中,滕州微山湖湿地公园(T)植物多样性最丰富,水质净化效果较好,但由于多数物种以单株展示的方式栽植于水生植物园内,属于人工栽培,未形成自然群落,且公园人为干扰强度较大,因而植物群丛类型少于微山湖国家湿地公园(W);北湖湿地公园(B)因位于南四湖北端而得名,紧邻京杭大运河,靠近市中心,人工干扰性最强,自身净化能力弱,水质污染严重;微山湖湖滨湿地公园(P)属于南四湖流入江苏境内的水域,面积较小,但以群岛的形式建成,尽管水生植物量有限,但各水质检测指标仍在均值上下浮动;微山湖国家湿地公园(W)基本保持自然湿地的原貌,人工干扰性小,分布有大片的芦苇、长苞香蒲和荷花,且设有集中净化点,水质净化效果因植物分布区域存在显著性差异。

植物群丛间水质与无植物区(CK)的对比分析表明:湿地水生植物对水体的 COD<sub>Cr</sub>、总氮和总磷均有一定的净化效果,该研究结果与以往大量研究结果一致。研究表明,污水中的氮、磷和 COD<sub>Cr</sub> 的去除依靠植物根系的吸收和微生物的代谢<sup>[8,14]</sup>。本研究的 8 个水生植物群丛间水体总氮、总磷和 COD<sub>Cr</sub> 存在显著性差异且呈现一定规律,净化效果表现为挺水植物>浮叶植物>沉水植物,这是因为挺水植物生物量大,生长速度快、有较好的吸收能力,能为微生物提供附着界面的庞大根系;能将光合作用产生的氧气通过气道输送至根区,在植物根区的还原态介质中形成氧化态的微环境,提高整个湿地生态系统微生物的数量。再通过微生物的降解作用,将污染物转化成能够被植物吸收的组分,最后储存在植物体中,通过收割,被植物吸收的氮、磷等营养物质也随之离开水体,从而达到净化的目的。但收割打捞要及时,防止水体的二次污染<sup>[10]</sup>。

芦苇、长苞香蒲和茭白的净化优势明显;睡莲、荇菜(*Nymphoides peltatum*)和沉水植物也呈现出一定的净化能力,但明显小于挺水植物,且收割困难,所以不作为主要净化植物应用,然而睡莲、荇菜等浮叶植物观赏性较强,景观效果好,可在湿地公园重点区域作为观赏植物配置。本研究未涉及漂浮植物,南四湖表面虽分布有槐叶萍(*Salvinia natans*)、浮萍(*Lemna minor*)等漂浮植物,但因其仅浮于水体表面,根系不扎入土中,位置不稳定、不易打捞等

特点,不能作为水体净化植物应用,所以未对其净化能力进行研究;喜旱莲子草虽然有一定的净化能力,且生长状况良好,但属于入侵物种<sup>[15]</sup>,竞争力强,抑制其他物种生长,因而应该人为控制其蔓延生长。

由氮、磷等营养盐所引起的湖泊湿地富营养化已成为世界性的环境问题。湿地公园在协调湿地保护、污水净化与开发利用之间的矛盾上扮演着重要的作用,越来越被重视。水生植物作为湿地水体的主要元素之一,不仅能提高湿地公园的景观质量,而且其天然净化能力在湿地污水处理中发挥着重要的作用。不同水生植物群丛对氮、磷等污染物质的净化效果不同,水质污染物的分布与水生植物的分布具有一定的联系,本研究通过调查南四湖水生植物多样性,并分析植物群丛与湖水污染物分布的关系,初步证明了自然状态下不同水生植物的净化能力,对湿地公园水生植物的筛选具有重要的意义。

参考文献:

[1] 唐丽红,马明睿,韩华,等.上海市景观水体水生植物现状及配置评价[J].生态学杂志,2013,32(3):563-570.  
TANG L H, MA M R, HAN H, *et al.* Present situation and configuration evaluation of aquatic plants in landscape waters in Shanghai[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 563-570.

[2] 吴彩芸,夏宜平.杭州园林水景的水生植物调查及其配置应用[J].中国园林,2008(1):83-88.  
WU C Y, XIA Y P. The Status and Landscape Uses of Aquatic Plants in Waterscape of Hangzhou[J]. Chinese Landscape Architecture, 2008(1):83-88.

[3] 田如男,朱敏,吴彤,等.南京城区水体水生植物调查[J].东北林业大学学报,2012,40(5):91-97.  
TIAN R N, ZHU M, WU T, *et al.* Investigation of Aquatic Plants in Urban Water Bodies in Nanjing[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(5):91-97. (in Chinese)

[4] 许军,王召滢,唐山,等.鄱阳湖湿地植物多样性资源调查与分析[J].西北林学院学报,2013,28(3):93-97.  
XU J, WANG Z Y, TANG S, *et al.* Investigation and Analysis of the Resources of Wetland Plant Diversity in Poyang Lake[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 28(3):93-97. (in Chinese)

[5] 彭映辉,简永兴,王建波,等.湖北省五大湖泊水生植物多样性的比较研究[J].水生生物学,2004,28(5):464-470.

[6] 魏华,成水平,柴培宏,等.2009年秋季武汉大东湖北湖水系水生植物调查[J].湖泊科学,2011,23(3):401-408.  
WEI H, CHENG S P, CHAI P H, *et al.* Investigation of aquatic macrophytes in lakes of Beihu Watershed of East Lake area in Wuhan, in the autumn of 2009[J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(3):401-408.

济、生态效益的发挥和社会化运营等诸多问题<sup>[5-7]</sup>。只有全面系统地将这些问题整合在城市滨水绿地空间的研究、设计和开发之中,才能取得较好的综合效应。淀山湖景观的生态设计,依托现有湿地景观,探讨城市湖泊景观空间特色的生态规划设计,通过充分分析现状问题,在尊重现状场地特征、挖掘自然湿地景观的基础上,对淀山湖湿地系统的自然过程进行了保护和恢复,同时运用模拟自然的设计手法不仅加强了湖泊湿地的自然过程,而且增加了湿地的边缘效应<sup>[8]</sup>,为滨湖生物多样性的恢复提供了条件。该项目在探讨营造城市的湖泊岸线景观和城市湿地生态恢复的同时,努力解决人与自然、动植物的和谐问题。不仅保护野生动植物的栖息地,同时又提供给当地居民和游人游憩空间。生物、水岸、湖泊、密林、植被、构筑物等,空间多样的渐变又构成了一个完善的多样的景观体验系统,使人在感受湖泊生命呼吸和野生动植物自然生长过程的同时,又体验景观的变化之美。

参考文献:

[1] 叶德敏. 园林景观生态设计理论探讨[J]. 西北林学院学报, 2005,20(4):170-173.  
YE D M. Study of the ecological design in landscape architecture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005,20(4):170-173. (in Chinese)

[2] 欧阳志云,王如松. 生态规划的回顾与展望[J]. 自然资源学报,1995(3):10-15.  
OUYANG Z Y, WANG R S. The review and prospect ecolog-

ical planning[J]. Journal of Natural Resource, 1995(3):10-15. (in Chinese)

[3] 张静,张庆费,陶务安,等. 上海公园绿地植物群落调查与群落景观优化调整研究[J]. 中国农学通报,2007,23(6):454-457.  
ZHANG J, ZHANG Q F, TAO W A, *et al.* The plant community investigation and research on community landscape optimization analysis of plants in park green of Shanghai[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007,23(6):454-457. (in Chinese)

[4] 俞孔坚,陈晨,牛静. 最少干预——绿林中的红飘带:秦皇岛汤河滨河公园设计[J]. 城市环境设计,2007(1):19-27.

[5] 王向荣,任京燕. 从工业废弃地到绿色公园——景观设计与工业废弃地的更新[J]. 中国园林,2003(3):11-18.  
WANG X R, REN J Y. From industrial wasteland to green park[J]. Journal of Chinese Landscape Architecture, 2003(3):11-18. (in Chinese)

[6] 赵爱华,李冬梅,胡海燕,等. 园林植物与园林空间景观的营造[J]. 西北林学院学报,2004,19(3):136-138.  
ZHAO A H, LI D M, HU H Y, *et al.* Light pollution and preventive treatments in landscape architecture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004,19(3):136-138. (in Chinese)

[7] 路培,刘贺明. 滏阳河武强段滨河生态景观规划设计[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):226-229.  
LU P, LIU H M. A case study of ecological landscape design of Fuyang river bank in Wuqiang[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(5):226-229. (in Chinese)

[8] 朱祥明,梅晓阳. 上海城市湿地空间的绿化特色初探[J]. 中国园林,2005(1):59-61.  
ZHU X M, MEI X Y. Green characters of Shanghai city wetland space[J]. Journal of Chinese Landscape Architecture, 2005(1):59-61. (in Chinese)

(上接第 244 页)

[7] 刘伟龙,胡维平,陈永根,等. 西太湖水生植物时空变化[J]. 生态学报, 2013, 27(1):159-170.  
LIU W L, HU W P, CHEN Y G, *et al.* Temporal and spatial variation of aquatic macrophytes in west Taihu Lake[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 27(1):159-170. (in Chinese)

[8] Abou-Elela S I, Hellal M S. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Canna*, *Phragmites* and *Cyprus* [J]. Ecological Engineering, 2012, 47:209-213.

[9] Iamchaturapatr J, Yi S W, Rhee J S. Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface-flow (VFS) constructed wetland[J]. Ecological Engineering, 2007, 29(3):287-293.

[10] 黄玉洁,张银龙,李海东,等. 太湖人工恢复湿地区植物群落建植对沉积物中氮、磷空间分布的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 18(5):161-165.  
HUANG Y J, ZHANG Y L, LI H D, *et al.* Influence of plant community in artificial wetland on spatial distribution of N,P in the sediments of Taihu Lake[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 18(5):161-165.

[11] 陆胤,许晓路,张德勇,等. 京杭大运河(杭州段)典型断面水生植物多样性调查及其与水环境相关性研究[J]. 环境科

学, 2014, 35(5):1708-1717.  
LU Y, XU X L, ZHANG D Y, *et al.* Correlation between aquatic plant diversity and water environment in the typical sites of Hangzhou section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal[J]. Environmental Science, 2014, 35(5):1708-1717. (in Chinese)

[12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.

[13] 徐新洲,薛建辉. 基于 AHP-模糊综合评价的城市湿地公园植物景观美感评价[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2):213-216.  
XU X Z, XUE J H. Aesthetic evaluation for plant landscape of wetland park based on AHP[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 27(2):213-216. (in Chinese)

[14] 李龙山,倪细炉,李志刚,等. 5 种湿地植物对生活污水净化效果研究[J]. 西北植物学报, 2013, 33(11):2292-2300.  
LI L S, NI X L, LI Z G, *et al.* Sewage cleaning abilities of five wetland plants[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2013, 33(11):2292-2300. (in Chinese)

[15] Houlahan J E, Findlay C S. Effect of invasive plant species on temperate wetland plant diversity[J]. Conservation Biology, 2004, 18(4):1132-1138.