

玄武湖水生植物调查及影响因素

俞欣¹, 金哲¹, 朱亮², 邱云鹏², 卜现亭¹, 王芳¹

(1.南京市生态环境保护科学研究院, 江苏南京 210013; 2.河海大学环境学院, 江苏南京 210098)

摘要 以玄武湖为调查对象, 分析了湖泊近年来水质、富营养化及底泥污染状况, 调查了水生植物种类及应用频度, 水生植物群落数量特征、景观特征及多样性与结构特征, 探讨了影响水生植物生长的因素。结果表明, 玄武湖中应用的水生植物共 47 种, 分别隶属于 32 科。其中挺水植物 7 种, 浮水植物 5 种, 沉水植物 3 种, 湿生植物 32 种。玄武湖水生植物数量及群落结构与 DO、COD、氨氮等水质指标相关性较大, 随着近年来水质的不断改善, 玄武湖的水生植物种类和数量总体上呈增长趋势。与南京城区其他湖泊相比, 玄武湖水体水生植物群落的物种相对丰富, 分布也相对均匀。但是, 水花生等外来入侵物种的增加、荷花等物种的大量人为种植, 都会影响玄武湖水生植物群落的多样性特征。

关键词 玄武湖; 水生植物; 群落特征; 影响因素

中图分类号 Q 948.8 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)24-0081-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Aquatic Plants Investigation of Xuanwu Lake and Its Influence Factors

YU Xin¹, JIN Zhe¹, ZHU Liang² et al (1.Nanjing Research Institute of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210013; 2.Environment School of Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)

Abstract A survey was performed to analyse the water quality, eutrophication and sediment pollution of the lake body, to study the species and application frequency of aquatic plants, as well as quantitative characteristics, landscape and diversity features in Xuanwu Lake, to discuss the factors influencing the growth of the aquatic plants. The result showed, a total of 47 species of aquatic plants belonging to 32 families were applied in Xuanwu Lake, which included 7 species of emergent plants, 5 species of floating plants, 3 species of submerged plants, and 32 species of hygrophytes. The quantity and community structure of aquatic plants significantly correlated with water quality factors such as DO, COD and NH₃-N. With the continuous improvement of water quality in recent years, the species and quantity of aquatic plants in Xuanwu Lake were increasing. Compared with other lakes in Nanjing City, the aquatic plants community of Xuanwu Lake was abundant and well-distributed relatively. However, the increase of invasive species such as alligator weed, as well as the artificial planting of lotus, will affect the diversity of aquatic plant communities in Xuanwu Lake.

Key words Xuanwu Lake; Aquatic plant; Community characteristics; Influence factor

玄武湖位于南京市区的玄武门外, 湖水主要来自紫金山北麓, 湖面面积 3.78 km², 平均水深 1.14 m, 属于典型的城市小型浅水湖泊^[1]。玄武湖经护城河通金川河入长江, 另有一支由武庙闸经秦淮河流入长江。玄武湖盛产鱼虾、菱、藕, 水产资源十分丰富, 玄武红莲即源于此湖, 为中国八大观荷胜地之一。该研究拟实地调查玄武湖湖泊中水生植物的种类和群落分布, 分析湖泊水环境与湖泊水生植物间的相互影响, 以为玄武湖水生植物恢复和保护工作提供科学参考。

1 水生植物调查方法

此次湖泊水质情况调查主要采用资料收集法和现场勘察法, 水生植物调查采用现场勘查法^[2]。现场勘查时在重点区域设置样地, 划分样带、样方, 记录每个样方内的植物种类、数目, 单株覆盖面积^[3]。

调查选取样地时, 一般包含 4 种生活型的水生植物, 既包含湖滨带区域, 也包含湖中区域。多度观测采用目测估计法, 盖度观测方法为分别观测单个物种盖度, 同时估计整个样方的总盖度。

1.1 样地、样带划分 在调查区域内采用典型取样方法设置样地, 并在每个样地中设置 1~3 个样带, 样带之间至少间隔 10 m, 所有样带垂直于水陆交界线, 宽 2 m, 长 4~14 m。每个

样带设 2~8 个样方, 样方间隔 2 m, 样方面积 2 m×2 m, 当样方跨越边界明显的水陆交界线时, 紧贴交界线两边的样方之间可无间隔, 水中植物样方设至水中不再出现水生维管植物为止, 其余样方沿水分梯度在陆上排列, 至出现连续的典型旱生群落或道路边界为止(图 1)。

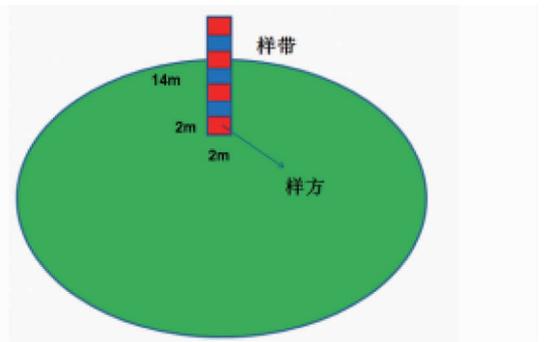


图 1 样带和样方示意

Fig.1 Sketch of the transects and quadrats

此次调查在玄武湖内共设置样地 19 个, 样带 38 条, 样方 117 个, 样地分布见图 2。

1.2 调查分析方法 采用单因子指数法评价植物的现状覆盖情况, 选取的评价因子包括植物的相对应用频度、相对盖度以及重要值。

选取 α 生物多样性测度方法, 生物多样性评价选取香农-威纳指数(Shannon-Wiener)表征, 植物丰富度评价选取

基金项目 南京市科技计划项目(2013405S)。

作者简介 俞欣(1983—), 男, 安徽旌德人, 高级工程师, 硕士, 从事水与生态环境管理及污染控制研究。

收稿日期 2020-07-10



图2 玄武湖调查样地分布

Fig.2 Distribution of survey plots in Xuanwu Lake

Gleason 丰富度指数表征,植物的均匀度评价选取 Pielou 均匀度指数表征,具体参照《生物多样性观测技术导则》(陆生维管植物)(HJ 710.1—2014)进行数据处理与分析^[3]。

2 湖泊水环境质量分析

2.1 湖泊水质分析 水质分析指标主要包括 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、氨氮、汞、铅、挥发酚、石油类 9 个指标。采用 2014—2015 年水质监测数据的算术平均值进行评价。

评价结果显示,玄武湖的水质相对较好,综合评分值为 67.24,水质总体为 IV 类。从数据分布来看,除 6、7 月外,玄武湖 TN 常年超标,超标范围为 0.02~0.48 倍;此外,6—8 月,玄武湖 BOD₅ 出现超标,可能是由于夏季泛滥的外来污水入侵和一些不规则排放,导致水体中的有机物含量增高;TP 出现超标,可能是由于生活污水的排入和对岸边植物喷打的农药

混入水体造成的。

2.2 湖泊富营养化分析 富营养化分析选取总磷、总氮、透明度、高锰酸盐指数 4 个评价指标进行分析。采用 2014—2015 年水质监测数据的算术平均值进行评价。评价结果显示,玄武湖处于轻度富营养化状态,评分值为 58.23。

2.3 底泥重金属污染分析 玄武湖底泥重金属污染分析采用总砷、铅、铜、总汞、锌、总铬、镉 7 个指标,根据玄武湖 2014—2015 年监测结果的算术平均值进行评价。评价结果显示,玄武湖底泥重金属潜在风险等级为很高风险,其中总汞为很高污染,镉为中风险,其余都为低风险(表 1)。

表 1 玄武湖底泥重金属污染评价

Table 1 The heavy metal pollution assessment in Xuanwu Lake's sediment

评价项目 Assessment items	Er ⁱ 值 Er ⁱ value	范围 Scope	评价等级 Evaluation level
锌 Zinc	7.71	Er ⁱ < 40	低风险
铜 Copper	8.55	Er ⁱ < 40	低风险
铅 Lead	7.44	Er ⁱ < 40	低风险
镉 Cadmium	42.63	40 ≤ Er ⁱ < 80	中风险
总铬 Total chromium	2.50	Er ⁱ < 40	低风险
总砷 Total arsenic	10.40	Er ⁱ < 40	低风险
总汞 Total mercury	590	Er ⁱ ≥ 320	很高污染
RI	669	600 ≤ RI < 1 200	很高风险

3 水生植物调查结果分析

3.1 种类及应用频度 此次调查结果显示,玄武湖应用的水生植物共 47 种,分别隶属于 32 科(表 2)。其中,挺水植物 7 种,浮水植物 5 种,沉水植物 3 种,湿生植物 32 种。与田如男等^[4]在 2011 年的调查结果比较,玄武湖既有新生长的植物,也有些植物衰退,但是总体数量增多。

表 2 玄武湖主要水生植物

Table 2 The aquatic plant in Xuanwu Lake

生活型 Life style	科名 Family name	属名 Genus name	种名 Species name	
挺水植物 Emergent plant	睡莲科 Nymphaeaceae	莲属 <i>Nelumbo</i>	荷花 <i>Nelumbo nucifera</i>	
	鸢尾科 Iridaceae	鸢尾属 <i>Iris</i>	黄萼蒲 <i>Iris pseudacorus</i>	
	苋科 Amaranthaceae	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	水生花 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	
	禾本科 Poaceae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	
	天南星科 Araceae	菖蒲属 <i>Acorus</i>	菖蒲 <i>Acorus calamus</i>	
	莎草科 Cyperaceae	蘆草属 <i>Scirpus</i>	水葱 <i>Scirpus validus</i>	
	香蒲科 Typhaceae	香蒲属 <i>Typha</i>	香蒲 <i>Typha orientalis</i>	
浮水植物 Floating plant	睡莲科 Nymphaeaceae	睡莲属 <i>Nymphaea</i>	睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>	
	浮萍科 Lemnaceae	浮萍属 <i>Lemna</i>	浮萍 <i>Lemna minor</i>	
	满江红科 Azollaceae	满江红属 <i>Azolla</i>	满江红 <i>Azolla imbricata</i>	
	菱科 Trapaceae	菱属 <i>Trapa</i>	菱 <i>Trapa bispinosa</i>	
沉水植物 Submerged plant	水鳖科 Hydrocharitaceae	水鳖属 <i>Hydrocharis</i>	水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i>	
	眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	
	金鱼藻科 Ceratophyllaceae	金鱼藻属 <i>Ceratophyllum</i>	金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	
	小二仙草科 Haloragaceae	狐尾藻属 <i>Myriophyllum</i>	轮叶狐尾藻 <i>Myriophyllum verticillatum</i>	
	湿生植物 Wet plant	禾本科 Poaceae	早熟禾属 <i>Poa</i>	早熟禾 <i>Poa annua</i>
			白茅属 <i>Imperata</i>	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>
			黄金茅属 <i>Eulalia</i>	金茅 <i>Eulalia speciosa</i>
			求米草属 <i>Oplismenus</i>	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>
			雀稗属 <i>Paspalum</i>	双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i>
			芒属 <i>Miscanthus</i>	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>

接下表

续表 2

生活型 Life style	科名 Family name	属名 Genus name	种名 Species name
		看麦娘属 <i>Alopecurus</i>	看麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i>
	胡桃科 Juglandaceae	枫杨属 <i>Pterocarya</i>	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>
	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> 杠板归 <i>Polygonum perfoliatum</i> 扁蓄 <i>Polygonum aviculare</i>
		酸模属 <i>Rumex</i>	羊蹄 <i>Rumex japonicus</i>
	樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>
	车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	车前 <i>Plantago asiatica</i>
	玄参科 Scrophulariaceae	婆婆纳属 <i>Veronica</i>	阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>
	桑科 Moraceae	构属 <i>Broussonetia</i>	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>
	杨柳科 Salicaceae	杨属 <i>Populus</i>	响叶杨 <i>Populus adenopoda</i>
		柳属 <i>Salix</i>	柳树 <i>Salix babylonica</i>
	毛茛科 Ranunculaceae	毛茛属 <i>Ranunculus</i>	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>
	蔷薇科 Rosaceae	蛇莓属 <i>Duchesnea</i>	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>
	悬铃木科 Platanaceae	悬铃木属 <i>Platanus</i>	悬铃木(小苗) <i>Platanus</i>
	菊科 Asteraceae	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>
	酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>
	旋花科 Convolvulaceae	打碗花属 <i>Calystegia</i>	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>
		马蹄金属 <i>Dichondra</i>	马蹄金 <i>Dichondra repens</i>
	鸢尾科 Iridaceae	鸢尾属 <i>Iris</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i> 德国鸢尾 <i>Iris germanica</i>
	豆科 Leguminosae	车轴草属 <i>Trifolium</i>	百花车轴草 <i>Trifolium repens</i>
	唇形科 Lamiaceae	紫苏属 <i>Perilla</i>	白苏 <i>Perilla frutescens</i>
	葡萄科 Vitaceae	葡萄属 <i>Vitis</i>	嬰奥 <i>Vitis adstricta</i>
	蝶形花科 Fabaceae	野豌豆属 <i>Vicia</i>	救荒野豌豆 <i>Vicia sativa</i>
	美人蕉科 Cannaceae	美人蕉属 <i>Canna</i>	美人蕉 <i>Canna indica</i>

将玄武湖内出现的主要挺水植物、浮叶植物、沉水植物及湿生植物的应用频度进行统计,结果如图 3 所示。玄武湖

中应用频度较高的挺水植物为水花生、荷花及芦苇等。水花生的应用频度为50%左右,多在陆水交界线处分布,荷花应

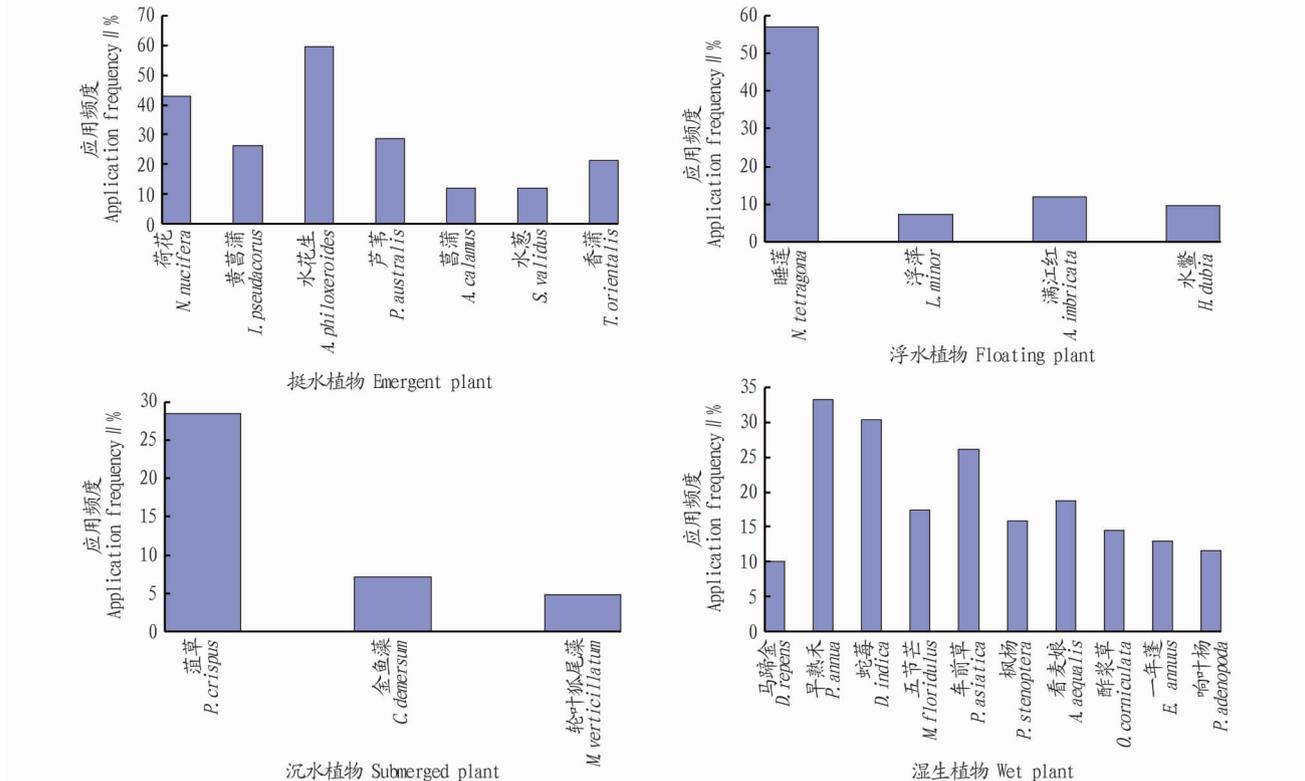


图 3 玄武湖主要水生植物应用频度

Fig.3 The application frequency of main aquatic plants in Xuanwu Lake

用频度为 40%左右,多在宽阔水域以群状分布。黄菖蒲、香蒲等观赏价值较高的挺水植物的应用频度也都在 20%以上。浮叶、漂浮及沉水植物中,浮萍的出现频度最高,达 50%以上,菹草的应用频度在 20%以上。玄武湖中应用的湿生植物种类较多,应用频度分析只抽取了重要值排在前 10 的部分

湿生植物种类进行分析。其中,早熟禾、蛇莓、车前草的应用频度较高,早熟禾和蛇莓应用频度达 30%以上,车前草达 20%以上,其余 7 种植物的应用频度均达 10%以上。玄武湖水生植物典型群落如图 4 所示。



图 4 玄武湖典型群落

Fig.4 The typical communities in Xuanwu Lake

3.2 群落数量特征 玄武湖应用的植物种类较多,水生植物群落的层次较为丰富。其中,挺水植物 7 种,浮水植物 5 种,沉水植物 3 种,湿生植物 32 种。挺水植物层中的优势种为水花生、芦苇、荷花、黄菖蒲等。其中,水花生重要值高达

0.457;浮叶植物层中的优势种为睡莲和浮萍,重要值分别为 0.331 和 0.304;沉水植物层中的优势种为菹草,重要值高达 0.414。在主要的 28 种湿生植物中,马蹄金的重要值最高,为 0.418,其次分别为早熟禾、五节芒、车前草和枫杨等(图 5)。

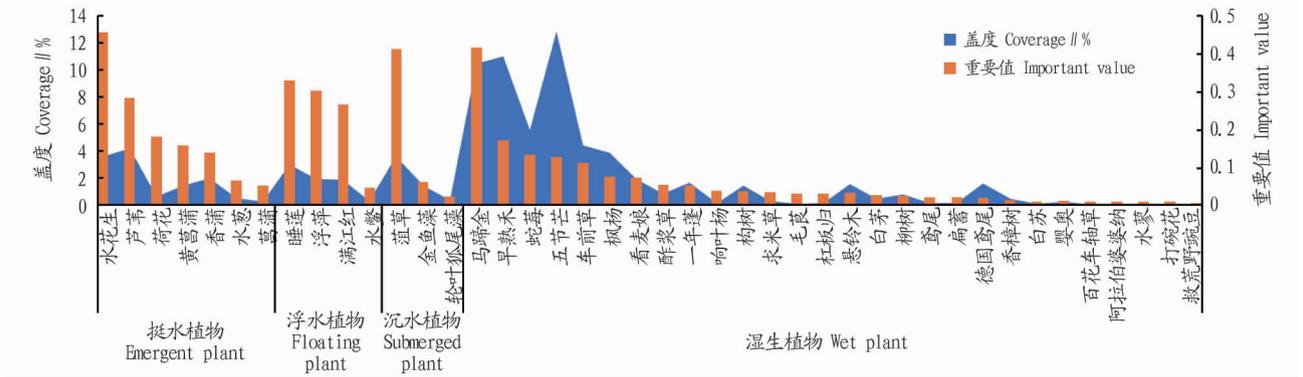


图 5 玄武湖水生植物群落数量特征

Fig.5 The quantitative characteristics of aquatic plant communities in Xuanwu Lake

3.3 群落景观特征 依据水生植物的形态特征和观赏部位将 3 处水体水生植物分为观花、观叶、观果及观姿植物 4 类,许多水生植物的观赏特征兼而有之。玄武湖水生观花植物颜色较多,岸边水生植物层中混杂的一些野生花卉也具有一定的观赏性,因而在调查时将湿生植物也纳入其中。玄武湖水体水生植物以观花和观叶类为主,观果及观姿植物较为少

见。观花植物的颜色以蓝紫色居多,岸边的水生植物生长杂乱,缺乏良好的配置设计。观花植物多是夏秋季开花,观果和色叶树种应用的也较少,导致冬季和早春景观相对萧条,缺乏特色^[5]。

通过对玄武湖调查统计,总结出以具观赏价值的水生植物为优势种而构成的主要水生植物群落(表 3)。

表 3 主要水生植物群落景观特征

Table 3 The landscape characteristics of aquatic plant communities in Xuanwu Lake

分类 Classification	群落主要植物 Main plants in the community	群落伴生植物 Associated plants in the community	群落景观特征 Landscape characteristics in the community
挺水植物群落 Emergent plants community	黄菖蒲群落	伴生水花生、羊蹄、一年蓬、白茅、双穗雀稗	花期 4—7 月,观花和观叶,多种湿生草本伴生,低矮层次景观丰富
	香蒲群落	伴生荷花、睡莲、菹草、水花生、浮萍、满江红、白茅	挺水植物层以观叶为主,5—10 月观香蒲的果序;浮叶植物层较丰富,观叶观花俱佳,偶与沉水植物形成立体混生结构
	菖蒲群落	伴生黄菖蒲、酸模叶蓼、羊蹄、水花生	菖蒲叶色亮绿,叶形如剑,观花为主的黄菖蒲伴生,景观效果良好,低矮层次的湿生草本景观略显杂乱

续表 3

分类 Classification	群落主要植物 Main plants in the community	群落伴生植物 Associated plants in the community	群落景观特征 Landscape characteristics in the community
	荷花群落	伴生睡莲、野菱、菹草、双穗雀稗、水花生、轮叶狐尾藻	荷花花叶俱大,花色多样,为著名的观花观叶植物。与野菱、睡莲等其他浮叶植物以及菹草等沉水植物构成层次丰富的水生植物群落,观赏期集中在夏季
	水花生群落	伴生白茅、羊蹄、石龙芮、菹草、浮萍、一年蓬	水花生适应性极强,石龙芮早春观黄花,小巢菜、一年蓬均为优良观花草本,群落结构复杂,景观杂乱
	芦苇群落	伴生菹蒲、白茅、双穗雀稗	伴生种较少,常独自形成大片芦苇荡,形成壮观的群落景观,并且以观姿为主
	水葱群落	伴生轮叶狐尾藻、金鱼藻、菹草、双穗雀稗、水花生、浮萍	水葱株丛挺拔直立,植株较高,伴生种多为沉水及低矮的湿生草本,形成的景观层次不够丰富
浮叶植物群落 Floating leaf plant community	睡莲群落	伴生野菱、菹草	以花叶俱佳的睡莲为主,夏秋观花
漂浮植物群落 Floating plant community	萍蓬草群落	伴生荷花、满江红	萍蓬草叶色光亮,心形,花黄色。与红色荷花相得益彰,观花期集中
	浮萍/满江红群落	伴生水花生、菹草、轮叶狐尾藻、水鳖、双穗雀稗	以浮叶观叶植物为主,满江红在早春和秋季呈紫红色,并与其他沉水及挺水植物构成立体混生结构
沉水植物群落 Submerged plant community	金鱼藻群落	伴生水花生、野菱、菹草	金鱼藻叶细小,是优良的观姿沉水植物。多与浮叶观叶植物构成立体结构
	轮叶狐尾藻群落	伴生双穗雀稗、菹草、水花生	观叶,在河岸边与低矮草本形成稍丰富的群落结构
	菹草群落		观叶,景观效果单一
湿生植物群落 Wet plant community	五节芒群落	伴生杠板归、一年蓬、看麦娘	观叶,景观效果单一
	早熟禾群落	伴生车前草、看麦娘、酢浆草、马蹄金	观叶,景观效果单一
	蛇莓群落	伴生石龙芮、毛茛、阿拉伯婆婆纳	观花,以蛇莓为主,夏秋观花
	马蹄金群落	伴生酢浆草、百花车轴草、救荒野豌豆	观叶,景观效果单一

3.4 群落多样性与结构 对南京市另 2 个主要城市湖泊莫愁湖和月牙湖水生植物开展了调查工作,与玄武湖相比,从 Gleason 丰富度指数(GI)、Shannon-Wiener 多样性指数(SW)和群落均匀度 Pielou 指数(PI)3 个方面分析。结果显示,玄武湖的 3 项指数均为最高,其中 GI 指数为 7.38,SW 指数为 6.27,PI 指数为 1.65(表 4)。香农-威纳指数是一种能较好反映个体密度、生境差异、群落类型、演替阶段的多样性指标^[6],Pielou 均匀度指数反映了个体的分布均匀程度,说明玄武湖水体水生植物群落的物种相对丰富,分布也相对均匀。

表 4 南京城区主要水体的水生植物多样性比较

Table 4 The diversity index of the aquatic plants in main lakes of Nanjing

水体 Water body	Gleason 丰富度指数 Gleason richness index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
玄武湖 Xuanwu Lake	7.38	6.27	1.65
莫愁湖 Mochou Lake	5.48	3.92	1.23
月牙湖 Yueya Lake	3.91	3.36	1.17

4 水生植物生长影响因素分析

影响玄武湖植物种类增加和减少的因素有水质变化、人工干扰和生物入侵 3 种原因。

4.1 环境因子影响 水生植物的群落结构及生长情况受 pH、溶解氧、COD、氮磷等环境因子的影响^[7]。为了了解 3 个湖泊水生植物群落结构分布产生差异的原因,进一步分析这种差异与环境因子的关系,将水生植物群落与理化因子进行相关性分析。结果显示,各类水生植物的数量与 DO 呈正相关,与高锰酸盐指数、COD、BOD₅、氨氮、总氮、总磷呈负相关。

其中,DO、COD、氨氮与各类水生植物相关性较大,影响比较显著。COD 等指标污染严重的水体中,菹草的光合作用会下降,新陈代谢减缓,过度的污染还会导致植物死亡^[8]。当总氮>2 mg/L 时,水体向浊水状态转换^[9],此时对高等水生植物消失的作用不容忽视。

从群落结构来看,DO、COD、氨氮对丰富度指数、多样性指数、均匀度指数的影响最大。其中 DO 与多样性指数呈极显著正相关,与均匀度指数呈显著正相关,而 COD、氨氮等水质指标都与 3 个指数呈负相关。

从以上分析可以看出,水生植物的恢复离不开环境因子的改善,特别是增加 DO,减少 COD、BOD₅、氨氮的浓度,对于水生植物的恢复有着显著作用。

4.2 人工干扰影响 对于城市湖泊,人工重建的水生植物群落抗外界干扰能力弱,群落稳定性较差^[10]。此次研究结果表明,在玄武湖中大量种植的是荷花和睡莲,这 2 种植物会覆盖水面,减少水下光照,不利于沉水植物的生长,从而减少玄武湖中沉水植物的面积。此外,为了营造湖岸景观,玄武湖也有一些人工种植的黄菹蒲和菹蒲,这可能会影响湿生植物美人蕉的生长,从而导致美人蕉减少。此外,清淤疏浚、水华控制等人工干预措施都会对水生植物及其群落产生不利影响^[11]。

5 结论与讨论

随着近年来水质的不断改善,玄武湖的水生植物种类和数量总体上呈增长趋势,水生植物生长状况处于近年来较好水平。从调查结果来看,玄武湖中应用的水生植物共 47 种,分别隶属于 32 科。其中挺水植物 7 种,浮水植物 5 种,沉水植物 3 种,湿生植物 32 种。玄武湖中应用频度较高的挺水植物包括水花生、荷花及芦苇等。浮叶、漂浮及沉水植物中,浮萍的出现频度最高,其次是菹草。玄武湖中应用的湿生植

表5 水生植物群落与环境因子相关性

Table 5 The correlation between aquatic plants communities and environmental factors

项目 Item		pH	DO	高锰酸 盐指数 Perma- nganate index	COD	BOD ₅	氨氮 Ammonia nitrogen	TP	TN
挺水植物	相关性	0.248	0.986	-0.457	-0.945	-0.466	-0.96	-0.357	-0.038
Emergent plant	显著性	0.841	0.107	0.698	0.212	0.691	0.182	0.768	0.976
沉水植物	相关性	0.248	0.986	-0.457	-0.945	-0.466	-0.960	-0.357	-0.038
Submerged plant	显著性	0.841	0.107	0.698	0.212	0.691	0.182	0.768	0.976
浮叶植物	相关性	0.248	0.986	-0.457	-0.945	-0.466	-0.960	-0.357	-0.038
Floating leaf plant	显著性	0.841	0.107	0.698	0.212	0.691	0.182	0.768	0.976
漂浮植物	相关性	-0.083	0.877	-0.140	-0.786	-0.151	-0.814	-0.032	0.292
Floating plant	显著性	0.947	0.319	0.910	0.425	0.904	0.394	0.980	0.812
湿生植物 Wet plant	相关性	0.821	0.855	-0.928	-0.929	-0.931	-0.910	-0.881	-0.683
	显著性	0.386	0.347	0.244	0.242	0.237	0.273	0.313	0.522
丰富度 Richness	相关性	0.659	0.955	-0.809	-0.991	-0.815	-0.983	-0.740	-0.485
	显著性	0.542	0.191	0.400	0.086	0.393	0.117	0.469	0.678
多样性 Diversity	相关性	0.419	1.000**	-0.610	-0.989	-0.619	-0.995	-0.52	-0.218
	显著性	0.725	0.009	0.582	0.096	0.575	0.066	0.652	0.860
均匀度 Uniformity	相关性	0.357	0.999*	-0.556	-0.976	-0.567	-0.985	-0.462	-0.152
	显著性	0.768	0.034	0.625	0.139	0.618	0.109	0.694	0.903

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

Note: ** .Significantly correlated at 0.01 level (bilateral); * .Significantly correlated at 0.05 level (bilateral)

物种种类较多,其中早熟禾、蛇莓、车前草的应用频度较高。玄武湖水体水生植物的丰富度和多样性指数在城区湖泊中也处于较高水平,景观配置也较为丰富,这说明玄武湖水体水生植物群落的物种相对丰富,分布也相对均匀。

需要引起重视的是,水花生等外来入侵物种在玄武湖的重要值有所增加。水花生被国家环境保护总局公布列为《中国第一批外来入侵物种名单》,其适应性广、繁殖迅速,已经成为我国杂草防治中的重点目标之一。水花生的快速繁殖是造成玄武湖挺水植物种类由 2011 年的 11 种下降至 7 种的潜在因素之一。此外,大量人为种植的荷花会影响沉水植物和浮水植物的生长。

针对玄武湖可以探索建立一个存储效率和查询效率高的植物数据库,在时间和空间尺度上对植物分布状况进行对比分析,同时预测其演变趋势^[12]。在此基础上引入 GIS 技术用于水生植物的演替和空间异质性研究,并进行一些相关的模拟和预测^[13],从而更合理地进行水生植物群落的构建与恢复,最终更高效地对湖泊水生植物进行管理控制。

参考文献

[1] 王天阳,王国祥.玄武湖菹草种群空间格局分析及其环境效应[J].生态

环境,2007,16(6):1660-1664.

- [2] 中华人民共和国环境保护部.环境影响评价技术导则 生态影响:HJ 19—2011[S].北京:中国环境科学出版社,2011.
- [3] 中华人民共和国环境保护部.生物多样性观测技术导则 陆生维管植物:HJ 710.1—2014[S].北京:中国环境科学出版社,2015.
- [4] 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.
- [5] 童丽丽,许卉.湿生植物在南京玄武湖风景区中的应用[J].金陵科技学院学报,2011,27(1):59-62.
- [6] 阎桂琴,毕润成.山西霍山森林群落物种的多样性和生态优势度[J].西南师范大学学报(自然科学版),1993,18(2):173-178.
- [7] 陈书琴,许秋瑾,李法松,等.环境因素对湖泊高等水生植物生长及分布的影响[J].生物学杂志,2008,25(2):11-15.
- [8] 王斌,周莉苹,李伟.不同水质条件下菹草的净化作用及其生理反应初步研究[J].武汉植物学研究,2002,20(2):150-152.
- [9] GONZÁLEZ SAGRARIO M A,JEPESEN E,GOMÁ J, et al.Does high nitrogen loading prevent clear-water conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? [J].Freshwater biology,2005,50(1):27-41.
- [10] 王文林,唐晓燕,胡孟春,等.人工重建的水生植物群落演替动态研究[J].长江流域资源与环境,2009,18(9):802-806.
- [11] 肖琼,王锦旗.人工调控措施对玄武湖水质的影响[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2018,10(2):232-237.
- [12] 吴彩云.杭州新西湖人工湿地的植物物种多样性及其水生态环境研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [13] 詹存卫,于丹.地理信息系统在水生植物生态学中的应用[J].水生生物学报,2000,24(5):555-562.