

DOI: 10.5846/stxb201405201036

武小钢, 杨秀云, 边俊, 朱焱, 曹晔. 长治城市湿地公园滨岸区植物群落特征及其与土壤环境的关系. 生态学报, 2015, 35(7): 2048-2056.

Wu X G, Yang X Y, Bian J, Zhu Y, Cao Y. Species composition and soil gradient analysis of plant communities in the waterside zone of Changzhi National Urban Wetlands Park. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2048-2056.

长治城市湿地公园滨岸区植物群落特征及其与土壤环境的关系

武小钢^{1,*}, 杨秀云², 边俊², 朱焱², 曹晔²

1 山西农业大学城乡建设学院, 太谷 030801

2 山西农业大学林学院, 太谷 030801

摘要: 湿地生境的保护与恢复是当前城市湿地公园建设面临的重大挑战, 而相关研究案例极少。通过对山西长治城市湿地公园滨岸区草本植物群落进行调查和多元分析, 探讨物种分布与土壤因子之间的关系。结果如下: 1) 研究区植物共计 20 个种, 以湿、中生植物为主, 芦苇为建群种, 优势种包括香蒲、早熟禾、扁秆薹草和苍耳, 总体上物种丰富度较低, 随着逐渐远离水域, 物种丰富度、优势度和均匀度均呈递增趋势, 物种组成上呈现水-湿生、湿-中生、中-旱生的梯度序列; 2) CCA 排序和 Monte Carlo 检验结果表明, 土壤氮含量和水分含量是影响研究区植物群落分布的重要环境因子, 二者分别可解释 1.7%、1.4% 的物种分布差异, 较大的未被解释的部分表明研究区植物群落分布在很大程度上受到其他未选取因子的影响, 如种间竞争、水位变化、人为干扰或随机因子。

关键词: 物种多样性; 土壤水分含量; 土壤氮含量; 典范对应分析; 物种-环境关系

Species composition and soil gradient analysis of plant communities in the waterside zone of Changzhi National Urban Wetlands Park

WU Xiaogang^{1,*}, YANG Xiuyun², BIAN Jun², ZHU Ye², CAO Ye²

1 College of Urban and Rural Construction, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2 College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

Abstract: Wetlands provide many important ecosystem services to human society. Thus, urban wetland park construction aiming at a simultaneous increase in nutrient retention and species diversity in urban area has recently become applied as a compensation measure for past disorder exploitation and activities. A lack of information on ecological function and process of wetlands, especially mechanism of plant diversity maintain, has restricted development of wetland park in urban. To fill this information gap, soil characteristics were correlated with plant species diversity in Changzhi Urban Wetland Park, located in southeast Shanxi, China. The occurrence and distribution of herbaceous plants were investigated on 225 plots along 15 transects in the waterside zone. The occurrence and distribution of herbaceous plants were investigated on 225 plots along 15 transects in the waterside zone. The relationship between the distribution and abundance of herbaceous species and environmental gradients was analyzed using the canonical correspondence analysis (CCA) ordination method. Forward selection and Monte Carlo permutation test were used to select the factors significantly determine the herbaceous plant distribution. Partial CCA (PCCA) was also performed to partition the variance that was explainable by factors studied.

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目 (2010021027-4, 2010021028-6); 山西省高校“131”领军人才工程优秀中青年拔尖创新人才项目 (2013); 山西农业大学博士科研启动项目; 山西农业大学“学术骨干”项目

收稿日期: 2014-05-20; 修订日期: 2014-12-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuxg@sxau.edu.cn

There are 20 species were observed in the studying area, belonging to 13 families and 20 genus, and most of them are hygrophytes and mesophytes. In order of the important value (IV), the dominant species are *Phragmites*, *Typha*, *Poa*, *Scripus* and *Xanthium*. Increasing trends in species richness, Shannon-Weiner information, Simpson Index and Pielou uniformity with increasing distance from water were observed. Overall the community showed low species diversity. Forward selection and Monte Carlo test suggested that soil nitrogen and soil moisture were the most important factors determining plant distribution. PCCA revealed that soil nitrogen and soil moisture explained 1.7% and 1.4% of variance in the distribution of herbaceous plants. However, the fact that majority of the variance was unaccounted for by the factors studied suggests that other factors we did not measure could play a vital role in determining the occurrence and distribution of herbaceous plants in the waterside zone, e.g., interspecific competition, water level fluctuation, human activities and random events.

Key Words: species diversity; soil moisture; soil nitrogen content; CCA; vegetation-site relationship

城市湿地是城市最具美学价值和生态服务功能的自然斑块,是城市风貌特色的主要组成部分^[1],截止 2013 年 12 月全国已建立国家级城市湿地公园 49 处,成为近年来我国城市生态建设的一个新的热潮。然而,与此极不相称的是,生态设计作为湿地景观设计的核心内容,行业规范性文件《城市湿地公园规划设计导则(试行)》(2005)仅在框架层面设计了若干指导性条款^[2],缺乏操作性强、面向不同类型湿地的技术性条款。设计者对此的探讨也局限于不同设计方法或开发模式的比较^[3-5],而这些都并未建立在科学研究的基础之上。现实与理论之间的鸿沟彰显着一个事实,即人们对城市湿地的形成与演化的机理与规律、城市湿地的功能与过程、湿地对城市环境的影响和响应等的认识还存在许多空白^[3],亟待开展城市湿地物理、化学和生物过程及其相互关系以及这些过程与湿地功能关系的研究,以提高我们对城市湿地过程和功能的充分理解并预测湿地公园建设活动可能带来的影响,从而维护和提高城市湿地公园的生态服务功能。

植物多样性的保护与恢复是湿地生态功能的重要基础^[6],是城市湿地公园规划设计、建设和管理的重要内容目标^[3],而研究植物群落物种多样性的分布格局以及控制这些格局的生态因子,则是开展上述工作的基础。关于湿地植物多样性分布格局与环境因子的关系已在自然湿地生态系统中得到了广泛研究^[7-11]。水分条件(水质、水量、水文情势等)是湿地主要控制因素,直接影响到湿地植物物种组成、多样性和群落演替^[10,12]。营养物质含量及其有效是决定植物的生长、植物群落优势种及其丰富性的重要因素^[13-15],植物群落类型随着营养物质梯度而变化,当某种营养物质超过某一阈值后(如氮、磷),物种丰富度将下降^[16-17],稀有种和罕见种往往出现在物种丰富度高的群落当中^[18]。然而,关于土壤因子与植物群落多样性分布格局关系的研究表明^[13,19],营养物质梯度往往与其他因子相互作用,在某一类型湿地中取得的研究成果并不能简单地外推到其他类型湿地系统。

长治湿地公园是 2010 年由国家住建部正式授牌成立的国家级城市湿地公园,因漳泽水库的修建而形成,为蓄水区型人工湿地。此类湿地的形成与发育与自然湿地存在显著差异,在城市湿地中具有代表性。湿地土壤是湿地生态系统的重要环境因子,扮演着“载体”、“库”和“源”的重要功能^[20],因此在城市湿地公园建设活动中地位重要,可发挥积极的调节作用。目前国内学者对城市湿地的关注多集中于景观格局动态与生态健康评价^[21]、生态服务功能与环境容量^[22-23]、物种多样性调查^[24-26]等方面,而关于植物多样性分布格局与土壤因子关系的研究案例尚未见报道。目前,长治城市湿地公园停止了一切建设开发活动,处于围封恢复期,植物群落多样性特征调查及影响因子的分析对于公园生物多样性保护和恢复策略措施的制定具有重要价值。本文试图通过探讨 1) 公园滨岸区植物群落特征如何;2) 植物群落分布与土壤因子的关系如何? 为长治城市湿地公园今后的建设开发活动提供理论支撑,同时蓄水区型人工湿地是在当前城市湿地建设中具有典型性,对其植物群落组成、物种多样性梯度变化格局以及影响因子的研究,对于同类型湿地植物多样性维持与保护很有参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长治城市湿地公园位于山西省长治市主城区西北 3km 处 (113°01′—113°40′E, 35°50′—37°08′N), 漳泽水库南部。漳泽水库为海河流域漳卫南运河水系浊漳河南源干流上的一座大型多年调节水库。湿地公园总规划面积为 58.72km², 其中湿地面积 7.40 km²。根据公园建设可行性报告, 长治湿地公园有数百公顷成片的芦苇荡和湿地防护林, 有野鸭、黑鹳等 80 多种鸟类长期栖息, 高等植物 52 科 217 种, 浮游植物 7 门 83 种, 鸟类 16 目 40 科 162 种, 主要水生动物 7 纲 25 种, 浮游动物 58 种, 是山西省面积最大和保存最好的湿地生态系统之一。

研究区属暖温带大陆性季风气候, 年均温 9.5℃, 年降水量 621.1mm 多于全省的平均降水量, 属于半湿润地区, 降水集中于夏季 6—9 月, 平均海拔 1000m, 无霜期 155—184d。湿地土壤属于草甸土和沼泽土 2 个亚类^[26]。

1.2 采样方法

根据现场踏勘结果, 长治国家城市湿地公园东、西部为漳泽水库淹没后形成的自然驳岸或人工堤坝, 大部分陡峭壁立, 北部为漳泽水库大坝, 南部平缓形成泥沼地, 是湿地植被集中分布区, 也是湿地公园建设的重点区域。湿地公园植被群落以草本植物为主, 乔木和灌木均为近年来人工栽植, 集中成片分布在道路两侧及部分地势较高处。孙利青等研究认为^[27], 长治湿地公园草本植物群落分布格局表现为随土壤湿度的梯度变化。因此, 本研究植被群落学调查采用样带法, 在长治国家城市湿地公园的西南部湿地原生植物分布区, 按照由水向陆的方位设置 15 条样带。由水陆交界处起, 把每条样带划分为 3 个区, 0—15m 的区域为近水区 (NW); 15—30m 的区域为中水区 (MW); 30—45m 的区域为远水区 (FW)。每区内布设 5 个 1.0m×1.0m 的样方, 总计 225 个样方。考虑到水位变化对物种组成和分布的影响以及样方调查的便利性, 因此每样带均在水陆交界处的浅水区设置调查样方 1 个。

根据长治市物候特征 (≥10℃ 平均初日为 4 月 19 日)^[28], 结合长治湿地公园季节性水文特征 (1 月—6 月为枯水期, 7—9 月为丰水期, 10—12 月为平水期), 2012 年 7 月进行群落学调查, 记录草本植物种类、盖度、高度等群落特征。土壤取样采用多点混合法, 即使用土壤取样器在每个样方内随机钻取 5 个土芯, 深度 0—10cm, 混合后装入自封袋密封后带回实验室待进一步处理。

1.3 室内分析

将土壤样品自然风干后, 除去石块、植物残根残叶、人为垃圾等杂物, 研碎后, 部分过 20 目土壤筛用于有机碳含量的测定; 剩余过 100 目土壤筛用于测定其他指标。参照鲍士旦的《土壤农化分析》对土壤各理化性质进行测定^[29], 均各设 3 个重复, 其中, 土壤含水量采用 105℃ 烘干法测定, 含盐量以电导率表示, 采用电导率仪测定 (土:水 = 1:5), 全氮用半微量凯氏定氮法, 全磷用 HClO₄-H₂SO₄ 法测定, pH 值测定采用电位法 (土:水 = 1:2.5), 有机碳用干烧法。

1.4 数据处理

物种多样性具有多种测度指标, 根据方精云等关于植物群落清查方法的建议^[30], 本研究如下指标测度:

$$\text{物种丰富度}(S) \quad S = \text{出现在样方内的物种数} \quad (1)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad E = H' / \ln S \quad (3)$$

$$\text{Simpson 优势度指数} \quad P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

式中, P_i 为种 i 的重要值, 由于研究区样地植物均为草本植物, 且芦苇植株高度远高于其他物种, 为避免芦苇高度在重要值计算中权重过高, 因此样方内各物种的重要值采用单一的相对盖度值作为计算依据, 而不同土壤水分梯度以及整个研究区各物种重要值的计算采用如下公式:

$$\text{重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 2 \quad (5)$$

采用典范对应分析(CCA)方法分析植物群落与土壤因子的关系, CCA 可描述样地物种组成与环境变量间的关系, 并给出对物种组成具有显著解释力的环境因子, 具体分析原理详见《数量生态学》^[31] 和 *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*^[32]。采用各物种重要值, 组成了[物种×样地]_{20×225}的物种数据矩阵。土壤因子包含土壤体积含水量(VWC)、土壤酸碱度(pH)、土壤含盐量(EC)、土壤全氮含量(TN)、全磷含量(TP)和土壤有机质含量(SOM), 数据经过 $\lg(x+1)$ 转换后构成[环境×样地]_{6×225}环境因子矩阵, 用于植被-环境关系的多元数量分析。进入 CCA 分析之前, 先将频度小于 5% 的物种剔除^[33], 利用除趋势对应分析(DCA)对物种数据进行梯度分析, 通过查看第一轴的长度以确定排序模型的类型(单峰或线性)。为了消除冗余变量(对植物群落影响不明显的环境变量)的影响, 通过 CANOCO 里面的环境因子预选功能和偏蒙特卡罗置换检验(partial Monte Carlo permutation test)来评估每个备选的环境变量对于解释物种的贡献, 在统计意义上显著相关的变量进入环境解释变量。借助于分量典范对应分析(PCCA)来考察不同因子对物种分布差异的解释率。

多样性指数计算使用 Excel 软件进行。采用 SPSS17.0 统计软件对土壤理化性状指标进行描述统计、单因素方差分析(One-Way ANOVA)及差异显著性检验。DCA、CCA 和 PCCA 排序, Monte Carlo 检验以及排序图的绘制使用 CANOCO 5.0 软件包。

2 结果与分析

2.1 湿地公园植被群落特征

湿地植物群落的分布特征是其对生长环境长期适应的结果, 也是多种因素长时间共同影响的结果, 这些因素主要包括气候、土壤、水分、地形及植物本身的生物学特性等^[19]。对 15 条样带 225 个样方的植被调查分析结果表明(表 1), 长治城市湿地公园滨岸区共计 13 科 20 属 20 个种。其中, 水生植物 4 种, 湿生植物 3 种, 湿中生植物 4 种, 中生植物 5 种, 旱中生植物 2 种, 中旱生植物 2 种。在所有样方中出现频度和重要值前五位的物种分别为芦苇为(频度 72%, 重要值 65.32)、香蒲(频度 28.67%, 重要值 16.81)、早熟禾(频度 20%, 重要值 14.73)、扁杆藨草(频度 20.67%, 重要值 13.47)和苍耳(频度 18%, 重要值 11.74)。频度低于 5% 的物种有 9 种, 低于 10% 的则有 15 种。就研究样地内物种数分布频度而言, 具有 2 个物种的样方占全部样方数的 79.3%; 单个样方内最大物种数为 5, 仅占 2.7%; 仅有 1 个物种的样方占 8%, 其物种均为芦苇。以上数据反映出长治湿地公园滨岸区植物物种丰富度较低, 物种分布以湿生植物为主, 芦苇为优势种的特点。

物种分布在距离水域远近的梯度上表现出明显差异(表 2), 近水区植物群落以芦苇为优势种, 总盖度一般在 65%—95%, 其中芦苇平均盖度为 71.90%, 频度为 88.89%, 重要值为 80.40; 伴生有香蒲、浮萍、扁杆藨草和早熟禾, 偶见荇菜、慈姑等水生植物和柳树幼苗、酸模叶蓼以及朝天委陵菜等湿生或中生植物; 中水区植物群落以芦苇为优势种, 总盖度 70%—98%, 其中芦苇平均盖度为 62.57%, 频度为 76.67%, 重要值为 69.62; 伴生种中香蒲、早熟禾、扁杆藨草的重要值较近水区明显上升, 中生植物苍耳的重要值也达到 10.63, 同时出现了中旱生植物蒺藜($IV = 1.36$); 远水区植物群落中芦苇的重要值较近水区和中水区明显降低, 苍耳成为重要值仅次于芦苇的物种, 与早熟禾和扁杆藨草重要值成为共优种, 湿中生和中生植物的盖度和频度均有所增长, 菟丝子、蒺藜等中旱生植物的重要值上升到 5.43 和 3.30。总体上, 随着离水域的距离的增加, 植物群落优势种由单优种群落逐渐趋于共优种群落, 物种组成上由湿生植物为主逐渐演变为湿生、中生为主, 并有中旱生植物出现。

表 1 长治湿地公园滨岸区植物群落特征

Table 1 Characteristic of plant community in the waterside zone

物种 Species	科属 Family & genus	水分生态功能群 Water ecological groups	重要值 Important value	相对频度 Frequency/%
荇菜 <i>Nymphoides peltatum</i> (Gmel.) O. Kuntze	龙胆科荇菜属	水生	0.55	0.67
慈姑 <i>Sagittar trifolia</i> Linn	泽泻科慈姑属	水生	1.98	3.33
浮萍 <i>Lemna minro</i> L.	浮萍科浮萍属	水生	4.43	6.67
香蒲 <i>Typha orientalis</i> Presl.	香蒲科香蒲属	水生	16.81	28.67
双穗雀稗 <i>Paspallum paspaloides</i> (Michx.) Scribn	禾本科雀稗属	湿生	4.50	6.67
扁秆藨草 <i>Scirpus planiculmis</i> Fr.Schmidt	莎草科藨草属	湿生	13.47	20.67
芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	禾本科芦苇属	湿生	65.32	72.00
天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i> L.	豆科苜蓿属	湿中生	1.08	2.00
牛鞭草 <i>Hemarthria altissima</i> (Poir.) Stapf et C.E. Hubb.	禾本科牛鞭草属	湿中生	3.96	5.33
酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i> L.	蓼科蓼属	湿中生	3.78	6.67
早熟禾 <i>Poa annual</i> L.	禾本科早熟禾属	湿中生	14.73	20.00
小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> Willd.	菊科鬼针草属	中生	0.71	1.33
垂柳幼苗 <i>Salix babylonica</i> L.	杨柳科柳属	中生	1.63	2.67
朝天委陵菜 <i>Potentilla supine</i> L.	蔷薇科委陵菜属	中生	3.43	6.00
飞蓬 <i>Erigeron acer</i> L.	菊科飞蓬属	中生	4.49	6.67
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i> Patrin ex Widder	菊科苍耳属	中生	11.74	18.00
苦苣菜 <i>Ixeris polycephala</i> Cass.	菊科苦苣菜属	旱中生	0.45	0.67
大车前 <i>Plantago major</i> L.	车前科车前属	旱中生	1.11	2.00
菟丝子 <i>Cuscuta chinensis</i> Lam.	旋花科菟丝子属	中旱生	1.62	2.00
蒺藜 <i>Tribulus terrester</i> L.	蒺藜科蒺藜属	中旱生	1.53	2.00

表 2 植被群落重要值排前 5 位的物种

Table 2 Vegetation condition of the sampling sites

水分梯度 Water gradient	物种及重要值 Species & important value				
近水区 NW	芦苇 80.40	香蒲 17.13	浮萍 11.29	扁秆藨草 9.10	早熟禾 7.25
中水区 MW	芦苇 69.62	香蒲 20.12	早熟禾 14.74	扁秆藨草 11.43	苍耳 10.63
远水区 FW	芦苇 44.40	苍耳 25.1	早熟禾 22.22	扁秆藨草 20.58	双穗雀稗 11.78

NW, near to water, 近水区; MW, middle to water, 中水区; FW, far to water, 远水区

水分梯度上物种多样性指数变化情况见图 1。4 个多样性指数均表现为随土壤含水量下降而逐渐增高的趋势。近水区和中水区植被群落的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数以及 S 指数均显著低于远水区 ($P < 0.05$), 而近水区和中水区差异不显著。近水区植被群落 Pielou 优势度指数显著低于远水区, 而中水区与两者均差异不显著。

2.2 湿地公园土壤因子变化

长治城市湿地公园不同区域土壤有机碳、氮、磷及盐含量表现出规律性变化(表 3)。由表可知, 近水区、中水区和远水区土壤含水量分别为 57.58%、51.60%和 40.31%, 近水区土壤含水量显著高于远水区, 而中水区土壤含水量与近水区和远水区差异不显著。土壤 pH 值的变化范围为 7.54—8.05, 水分梯度上差异不显著。水分梯度上土壤有机碳、全氮及盐含量均呈现随水分含量升高而下降的趋势, 其中远水区土壤有机质、全氮及盐含量显著高于近水区 ($P < 0.05$), 而中水区土壤有机碳、全氮及盐含量与近水区和远水区差异不显著。土壤磷含量变化趋势与上述几个因子不同, 近水区土壤磷含量 (0.66 g/kg) 显著高于中水区 (0.50 g/kg) 和远水区 (0.46 g/kg), 中水区与远水区无明显差异。

2.3 物种分布与土壤环境因子的关联性

在不同生态系统中,植物生物多样性与环境因子之间表现不同的相关性,是由其特定的系统特征和功能所决定,同时与外界干扰等因素有密切关系。对长治城市湿地公园滨岸区物种-环境关系的 CCA 分析结果见表 4,在环境因子预选过程中,Monte Carol 置换检验显示仅土壤总氮含量和含水量达到显著性检验水平,分别可解释 1.7% ($F=2.5, P=0.01$)、1.4% ($F=2.1, P=0.03$) 的物种分布差异,二者与第一排序轴显著相关 ($P=0.044$),第一排序轴对全部可解释的物种-环境关系的贡献率为 56.45%,其中土壤氮含量的贡献率为 28.4%,土壤含水量的贡献率为 23.4%,二者交互部分的贡献率为 4.75%。

进一步考察土壤氮含量和含水量对不同物种分布的影响,对前两个排序轴做二维排序图,根据物种与土壤氮含量和水分含量的多重回归系数绘制 t -value 双序图(图 2)。图中,物种以带有箭头的线段来表示,环境因子以红色三角形表示,箭头长度与方向代表物种与此环境因子的典范相关关系;红色区域表示显著正相关

($P<0.01$),蓝色区域表示显著负相关($P<0.01$)。结果表明,浮萍、慈姑与土壤水分含量显著正相关,两物种多度随土壤水分含量上升而增加;芦苇、酸模叶蓼和扁杆藨草与土壤水分含量正相关性不显著。双穗雀稗、牛鞭草、苦苣菜与土壤水分含量显著负相关,早熟禾和朝天委陵菜与土壤水分含量负相关性不显著。在土壤氮含量梯度上,浮萍和苍耳表现为显著正相关,而香蒲和酸模叶蓼表现为显著负相关。对土壤水分含量和氮含量进行分量典范对应分析,结果表明土壤氮、磷含量对物种分布差异的贡献率分别为 32.1% ($P=0.01$) 和 25.5% ($P=0.042$)。

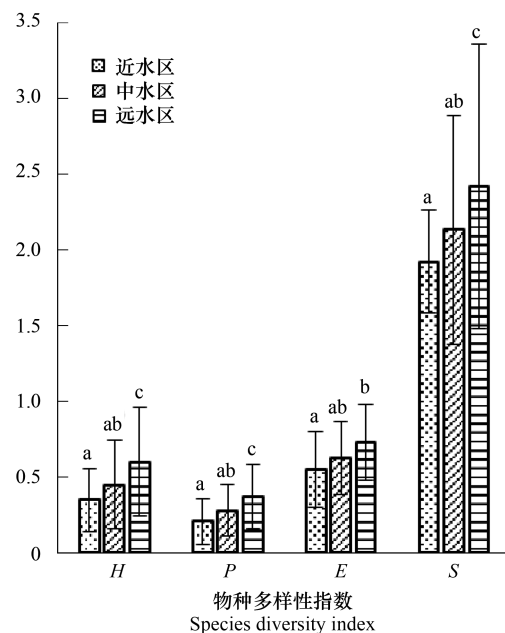


图 1 水分梯度上植物群落的物种多样性指数

Fig.1 Species diversity index along moisture gradient

柱图上方不同小写字母分别表示不同水分梯度上植被物种多样性指数在 $P<0.05$ 水平下差异性显著;图中误差棒为标注差(sd)

表 3 水分梯度上土壤有机碳、氮、磷、盐含量及 pH 值分布特征

Table 3 Soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, salinity and pH along water gradient

水分梯度 Water gradient	含水量 VWC/%	酸碱度 pH	全氮 TN/(g/kg)	全磷 TP/(g/kg)	有机碳 SOC/%	电导率 EC/(ms/cm)
近水区 NW	57.58±6.20a	7.82±0.23a	1.04±0.14b	0.66±0.01a	5.85±0.130b	0.33±0.03 b
中水区 MW	51.60±4.30ab	7.87±0.20a	1.15±0.09ab	0.50±0.08b	6.04±0.132b	0.35±0.03 b
远水区 FW	40.31±3.20b	7.91±0.14a	1.27±0.09a	0.46±0.07b	8.37±2.53a	0.45±0.09 a
总体 Total	50.40±8.87	7.87±0.19	1.23±0.27	0.50±0.13	6.68±1.75	0.36±0.11

SOC: 土壤有机碳 soil organic carbon; TN: 全氮 total nitrogen; TP: 全磷 total phosphorus; EC: 电导率 electrical conductivity; VWC: 土壤含水量 soil water content; 均值后不同小写字母分别表示不同水分梯度上土壤因子在 $P<0.05$ 水平下差异性显著

3 讨论

CCA 排序较好地揭示了植物群落分布与土壤因子的关系(表 4,图 2),分析结果表明,土壤氮含量和水分含量是影响该区域植物群落分布的重要环境因子。随着逐渐远离水域,群落优势种均为芦苇,但伴生种类发生明显变化,且物种丰富度、均匀度和优势度均表现出一定差异(图 1)。随逐渐远离淹水区,土壤水分含量逐渐下降,尽管群落优势种未发生变化,但其重要值不断下降,伴生种则由香蒲、浮萍等适应积水环境中生长的物种,逐渐过渡到苍耳、早熟禾、扁杆藨草等较湿润生境中生长的物种。同时,伴生种的优势度也在发生变

化(表 2),如早熟禾在土壤含水量比较高的区域处于低优势度的伴生种,而在土壤含水量较低区域其优势度明显上升,其重要值从近水区的 7.25 上升到中水区的 14.74,远水区则高达 22.22,并在局部形成了以其为优势种的小群落。物种均匀度(Pielou 指数)的变化趋势也充分反映出以芦苇为建群种的单优群落向芦苇与多个亚优种共存的转变。此外,不同植物对水位梯度反应具有一定差异^[34],水位波动对植被组成、植被边界具有重要作用^[35-36],水位波动较大导致植物物种丰度降低^[13,37]。漳泽水库枯水期/丰水期周期性交替对消落带植物群落组成的扰动,可能是造成本研究中土壤含水量较高区域物种丰富度低的重要原因之一。湿地生态系统对水位变化的响应是动态的,研究区水文情势变化对消落带植物的动态变化可能具有较大的影响,其影响程度以及对植物多样性保护和恢复策略的意义,有待于进一步的研究。

表 4 典范对应分析(CCA)排序结果
Table 4 Results by canonical correspondence analysis (CCA) ordination

统计特征值 Statistic		排序轴 1 Axis 1	排序轴 2 Axis 2	排序轴 3 Axis 3	排序轴 4 Axis 4
特征根值 Eigenvalue		0.0802	0.0619	0.08129	0.7139
物种数据变化的累计解释率 Explained variation (cumulative)		1.74	3.08	20.70	36.18
物种-环境关系的累计解释率 Explained fitted variation (cumulative)		56.45	100.00		
置换检验结果 Permutation Test Results;		第一轴,pseudo- $F=4.1$, $P=0.044$; 全部 4 个轴,pseudo- $F=1.5$, $P=0.03$			
环境因子与排序轴的相关性	土壤含水量 VWC	0.2419	0.1994	-0.0471	-0.0609
	全氮 TN	0.3046	-0.1646	0.0690	0.0606
	全磷 TP	-0.1005	-0.0768	0.1195	-0.0243
	有机碳 SOC	0.1295	0.0622	0.0409	0.0573
	酸碱度 pH	-0.0954	-0.1236	-0.1996	-0.0170
	电导率 EC	0.1542	0.1644	0.0172	0.1290

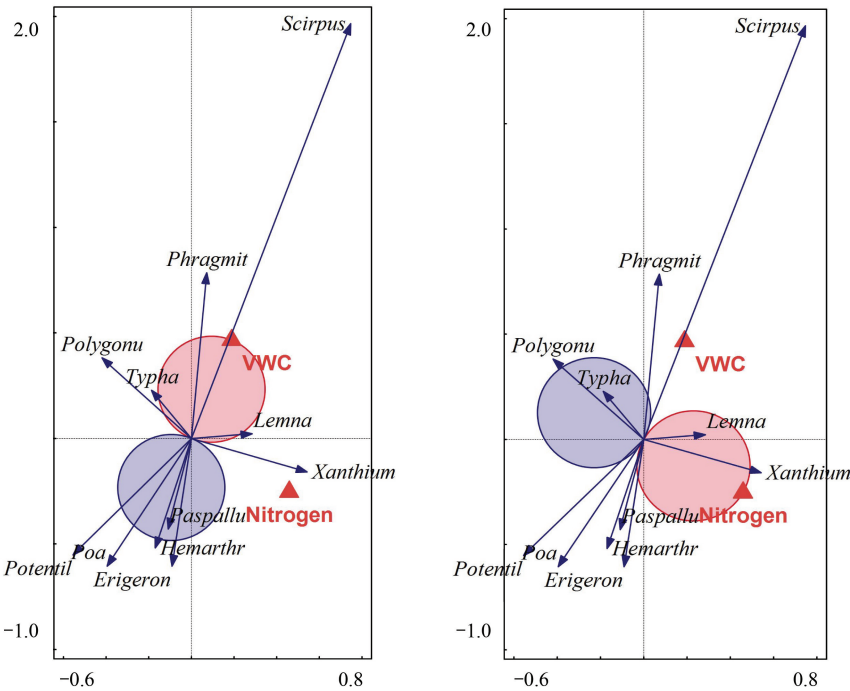


图 2 物种-环境典范对应分析的 t-value 双序图
Fig.2 t-value biplot interpretation between species and environmental factors based on canonical correspondence analysis

在 CCA 分析的环境因子预选过程中,土壤氮含量成为第一个进入模型的因子($P=0.008$)(表 4),表明土壤氮含量在研究区植物群落分布中具有较土壤水分含量更为重要的作用。营养物质的不断输入对湿地植物

吸收氮和磷的量以及物种组成的影响十分明显。本研究中,浮萍和苍耳的多度与土壤氮含量显著正相关,而香蒲和酸模叶蓼的多度与氮含量显著负相关,具有相近水分需求特性的物种对土壤氮表现出截然相反的特性,营养物浓度、土壤水分以及物种间竞争对不同湿地植物生长表现出不同程度的影响^[38],导致适应富氮环境物种的大量繁殖限制了其他植物生长和繁殖,从而使生物多样性显著降低。

植物群落分布特征既是多种因素(主要包括气候、土壤、水分、地形等)长时间共同影响的结果,也是植物本身的生物学特性对生长环境长期适应的结果^[39]。本研究中,芦苇是滨岸区植物群落的建群种,225个调查样方中有8%为芦苇单一群落,其原因可能主要是芦苇自身的生物学特性。Watzel等研究发现,与宽叶香蒲(*Typha latifolia*)和苔草(*Carex stricta*)相比^[38],芦苇的高度和根冠比几乎不受营养物浓度和土壤水分的影响。在水位、土壤水分含量以及氮含量的作用下,敏感物种被消除,而耐受物种——芦苇则成为本研究区植物群落的优势种。此外,富营养化生境中植物对光照的竞争是造成植物多样性下降的主要原因^[40],芦苇植株高度远高于研究区大部分草本植物,在对光资源的竞争中处于优势地位,这也使得其成为研究区的优势物种。

本研究中,土壤氮含量和水分含量仅可以解释3.1%的物种-环境关系,表明研究区植物群落分布很大程度上还受到其他因子的影响,如种间竞争、水位变化、人为干扰、群落的发育历史、土地利用方式改变等。例如,远水区土壤氮含量显著高于近水区的现象在很大程度上反映出(表3),陆源营养物质的输入可能是造成研究区土壤氮含量增加的主要来源,湿地内人类活动(如放牧、耕作),虽然目前已经停止,但其影响仍将持续。加深对物种-环境关系的理解,将有助于受损湿地生态系统的保护和恢复,而这有赖于对不同环境下植物群落多样性关键影响因子的识别及其长期效应的进一步研究。

4 结论

通过对长治城市湿地公园滨岸区植物群落分布特征的调查,借助CCA分析其与土壤因子的关联性,结果表明:1)长治城市湿地公园滨岸区植物共计13科20属20个种。优势物种为芦苇、香蒲、早熟禾、扁秆藨草和苍耳。总体上植物物种丰富度较低,物种分布以湿生植物为主,芦苇为建群种;随着离水域的距离的增加,物种丰富度、优势度和均匀度均呈递增趋势,物种组成上由湿生植物为主逐渐演变为湿生、中生为主,并有中旱生植物出现。2)土壤氮含量和水分含量是影响研究区植物群落分布的重要环境因子,二者分别可解释1.7%、1.4%的物种分布差异,其贡献率分别为28.4%和23.4%。

参考文献(References):

- [1] 仇保兴. 城市湿地公园的社会、经济和生态意义. 中国园林, 2006, 22(5): 5-8.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 关于印发《城市湿地公园规划设计导则(试行)》的通知(建城[2005]97号). http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/200611/t20061101_157138.html
- [3] 王凌, 罗述金. 城市湿地景观的生态设计. 中国园林, 2004, (1): 39-41.
- [4] 林建桃, 胡洋, 曹磊. 基于场地特征的城市湿地公园规划设计. 中国园林, 2013, 29(11): 104-108.
- [5] 王进安, 胡垚, 蔚俊杰. 城市湿地保护利用模式及复合型保护利用策略研究. 城市规划学刊, 2013, (Z1): 137-144.
- [6] 韩大勇, 杨永兴, 杨杨, 李珂. 湿地退化研究进展. 生态学报, 2012, 32(4): 1293-1307.
- [7] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄, 熊雄, 冯光海. 水盐梯度下黄河三角洲湿地植被空间分异规律的定量分析. 湿地科学, 2007, 5(3): 208-214.
- [8] 王卿, 汪承焕, 黄沈发, 沙晨燕, 阮俊杰, 王敏. 盐沼植物群落研究进展: 分布、演替及影响因子. 生态环境学报, 2012, 21(2): 375-388.
- [9] 徐远杰, 陈亚宁, 李卫红, 付爱红, 马晓东, 桂东伟, 陈亚鹏. 伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1142-1154.
- [10] 孙菊, 李秀珍, 王宪伟, 吕久俊, 李宗梅, 胡远满. 大兴安岭冻土湿地植物群落结构的环境梯度分析. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1165-1173.
- [11] 赵常明, 陈伟烈, 黄汉东, 田自强, 陈玥, 谢宗强. 三峡库区移民区和淹没区植物群落物种多样性的空间分布格局. 生物多样性, 2007, 15(5): 510-522.
- [12] 娄彦景, 赵魁义, 马克平. 洪河自然保护区典型湿地植物群落组成及物种多样性梯度变化. 生态学报, 2007, 27(9): 3883-3891.

- [13] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 任慧敏. 营养物及水位变化对湿地植物的影响. 生态学杂志, 2006, 25(1): 87-92.
- [14] 傅德平, 何龚, 袁月, 吕光辉. 艾比湖湿地植物群落特征与土壤环境关系研究. 江西农业学报, 2008, 20(5): 106-109.
- [15] 肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系. 生态学报, 2008, 28(7): 3116-3124.
- [16] Miao S L, Newman S, Sklar F H. Effects of habitat nutrients and seed sources on growth and expansion of *Typha domingensis*. Aquatic Botany, 2000, 68(4): 297-311.
- [17] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 宋长春. 湿地植物对外源氮、磷输入响应研究. 环境科学研究, 2007, 20(1): 64-68.
- [18] Bedford B L, Walbridge M R, Aldous A. Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands. Ecology, 1999, 80(7): 2151-2169.
- [19] 张江英, 周华荣, 高梅. 艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤因子的关系. 生态学杂志, 2007, 26(7): 983-988.
- [20] 田应兵, 宋光煜, 艾天成. 湿地土壤及其生态功能. 生态学杂志, 2002, 21(6): 36-39.
- [21] 李玉凤, 刘红玉, 曹晓, 郑囡. 城市湿地公园景观健康空间差异研究-以杭州西溪湿地公园为例. 地理学报, 2010, 65(11): 1429-1437.
- [22] 何浩, 潘耀忠, 申克建, 朱文泉, 李宜展, 张锦水. 北京市湿地生态系统服务功能价值评估. 资源科学, 2012, 34(5): 844-854.
- [23] 李睿, 戎良. 杭州西溪国家湿地公园生态旅游环境容量. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2301-2307.
- [24] 沈琪, 黄茶英, 蒋跃平. 杭州西溪和绍兴镜湖国家湿地公园内的维管植物多样性. 武汉植物学研究, 2008, 26(4): 385-390.
- [25] 郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 滕明君, 徐永荣, 陈桂桥. 武汉市城市湖泊湿地维管束植物物种组成与生态特征分析. 湿地科学, 2010, 8(3): 279-286.
- [26] 李素清, 武冬梅, 王涛, 上官铁梁. 山西长治湿地草本植物优势种群和群落的空间格局分析. 草业学报, 2011, 20(3): 43-50.
- [27] 孙利青, 武冬梅, 李素清. 长治漳泽水库湿地植物群落数量分类与排序研究. 科技情报开发与经济, 2010, 20(2): 165-167.
- [28] 长治市城区志编委会. 长治市城区志. 西安: 陕西人民出版社, 1999.
- [29] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [30] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [31] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [32] Lepés J, Smilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [33] 李国庆, 王孝安, 郭华, 朱志红. 陕西子午岭生态因素对植物群落的影响. 生态学报, 2008, 28(6): 2463-2471.
- [34] 王海洋, 陈家宽, 周进. 水位梯度对湿地植物生长、繁殖和生物量分配的影响. 植物生态学报, 1999, 23(3): 269-274.
- [35] Wagner T, Michael Falter C. Response of an aquatic macrophyte community to fluctuating water levels in an oligotrophic lake. Lake and Reservoir Management, 2002, 18(1): 52-65.
- [36] Leira M, Cantonati M. Effects of water-level fluctuations on lakes; an annotated bibliography. Hydrobiologia, 2008, 613(1): 171-184.
- [37] 孙荣, 袁兴中, 刘红, 陈忠礼, 张跃伟. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性. 生态学杂志, 2011, 30(2): 208-214.
- [38] Wetzel P R, van der Valk A G. Effects of nutrient and soil moisture on competition between *Carex stricta*, *Phalaris arundinacea*, and *Typha latifolia*. Plant Ecology, 1998, 138(2): 179-190.
- [39] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. 生态学报, 1997, 17(1): 91-99.
- [40] Hautier Y, Niklaus P A, Hector A. Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. Science, 2009, 324(5927): 636-638.