

文章编号:1671-6833(2024)04-0102-09

人为干扰对黄河湿地植物群落的影响及其机制

万俊锋^{1,2}, 宋一帆^{1,2}, 郭林³, 马逸飞^{1,2}, 李哲^{1,2}, 丁俊祥¹, 郭笑盈^{1,2}

(1. 郑州大学 生态与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省环境与资源国际联合实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质研究院, 河南 郑州 450001)

摘要: 为了分析人为干扰类型对黄河湿地植物群落的影响差异及相关作用机制, 在进行大量实地调查后, 选择郑州段 3 个分别受农业种植、水库修建、建筑施工干扰下的湿地为对象, 在对植物群落与相关环境因子指标进行测定后, 结合人类压力指标评价体系进行冗余分析。结果表明: 研究区湿地植物群落整体表现出明显的退化趋势, 维持湿地生产力的内在功能降低; 对于不同人为干扰类型下的样地, 受到人为干扰的严重程度从大到小依次为建筑施工类干扰、农业种植类干扰、水库修建类干扰; 随着人为干扰严重程度的加剧, 不同湿地植物群落相似性系数依次下降, 鸟类栖息地湿地和太平庄北湿地的物种丰富度指数较桃花峪湿地相比下降程度分别为 15.98% 和 37.05%, 整体湿地植物群落构建逐渐趋于简单化; 在引起湿地退化的诸多因素中, 土壤中铵态氮含量改变对物种多样性指数与物种均匀度指数呈显著负相关, 是湿地植物退化的主要原因之一。

关键词: 黄河湿地; 退化机制; 植物群落; 人为干扰评价; 冗余分析

中图分类号: X506

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2024.01.010

湿地是黄河流域最重要的生态环境系统之一, 不仅能够为人类提供包括水源调节^[1]、储存、净化等多种生态系统服务, 而且在调节陆地生态系统碳循环中发挥着重要作用。目前由于人类活动和气候变化的影响, 黄河湿地呈现破碎化的趋势。因此, 亟须开展湿地生态系统现状和退化机制方面的研究, 从而为湿地恢复与保护及可持续利用提供依据。

在湿地的众多生产要素中, 湿地植物群落扮演着极为重要的角色, 作为湿地中三大生产要素之一, 它在维持整个系统的物质循环和能量流动中发挥着重要作用^[2]。以往的研究发现, 湿地植物对环境变化十分敏感, 是评价生态系统健康状况的重要指标^[3]。几乎所有的自然生态系统的恢复总是以植物的恢复为前提的。由此可见, 调查湿地植物相关特性对于评估整个湿地生态系统的退化程度具有极为重要的意义。

黄河湿地目前发生的退化主要是由强烈的干扰引起的。干扰主要可以分为自然干扰和人为干扰。

其中自然干扰包括气候变暖、极端天气频发等; 人为干扰包括农业种植、渔业养殖、旅游干扰等^[4]。上述干扰中, 人为干扰具有叠加效应, 其规模和强度远超自然干扰, 是导致湿地退化的重要因素^[5]。不同的人为干扰类型对植物群落结构的影响往往表现出不同的特征。周琪^[6]研究发现山东省湿地主要受到了建筑施工干扰的影响, 导致湿地植物群落中水生植物比例明显下降; 曾毅^[7]研究发现武汉市周边 24 个湖泊湿地由于受到的人为干扰类型及干扰程度不同, 其物种丰富度和优势种群均有不同程度的变化。

黄河湿地(郑州段)位于黄河中下游, 普遍受到诸如农业种植、水库修建以及建筑施工等多种干扰类型的影响。这些干扰的侧重点各不相同, 如农业种植过程中化肥的施用往往会导致生境中氮、磷含量超标; 水库修建会改变下游水文状况使土壤性质发生剧烈变化; 建筑施工则可能通过改变土地利用类型, 进而影响湿地土壤条件。这些影响将可能造成湿地生物多样性降低, 植被类型由湿生向旱生或

收稿日期: 2023-08-30; 修订日期: 2023-10-11

基金项目: 河南省自然资源厅科技攻关项目(豫自然资函[2021]157号-9); 郑州大学院士团队科研启动基金(13432340370)

作者简介: 万俊锋(1977—), 男, 河南洛阳人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事污水处理与资源化的基础研究及工程应用, E-mail: wanjunfeng@zzu.edu.cn。

引用本文: 万俊锋, 宋一帆, 郭林, 等. 人为干扰对黄河湿地植物群落的影响及其机制[J]. 郑州大学学报(工学版), 2024, 45(4): 102-110. (WAN J F, SONG Y F, GUO L, et al. Effects of human disturbances on plant community of the Yellow River wetland and its mechanisms[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2024, 45(4): 102-110.)

盐生转变,进而导致湿地生态功能退化。因此,围绕湿地植物群落探讨不同干扰类型下的湿地退化机制将有助于湿地生态系统的恢复和保护。然而,目前围绕黄河湿地的研究主要集中在对物种组成和分布特征的探讨^[5,7-9],针对不同人为干扰类型下植物群落特征的变化及其潜在机制尚缺乏深入认识。

为此,本文通过实地调查并参考基于人类碳足迹所设计的人类压力指标评价体系^[10],选择黄河湿地(郑州段)内多个处于不同干扰类型下的样地开展湿地植物群落特征等方面的调查与分析。在对湿地退化程度进行分析后,探讨不同人为干扰类型导致湿地植物群落系统退化的潜在机制,以期为阻控黄河中下游湿地生态系统退化提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

黄河湿地(郑州段)研究区位于郑州市北部,西起荥阳市,东至中牟县,跨荥阳市、惠济区、金水区、中牟县等多个行政区。地理坐标在北纬 34°51′11.72″~34°57′12.74″,东经 113°11′21.81″~114°12′17.79″,总面积约 258 km²。研究区属温带大陆性季风气候,具有雨热同期的气候特征。

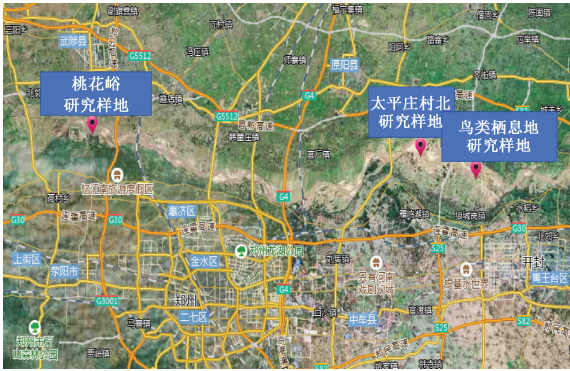
研究区内黄河滩涂湿地面积较大,其中农田、水塘和鱼塘在自然保护区内广泛分布。除河漫滩和部分洼地外,大量的滩涂被过度开垦为农田、苗圃和鱼塘,湿地被占现象较为严重。部分农田弃耕后形成了杂草植物群落。湿地植被整体上呈现不连续的状态,破碎化趋势严重。

1.2 研究样地设置

在调查期间,共踏勘 20 余处湿地并结合 2019 年相关遥感图像解译发现,该区段湿地类型包括河流(永久性、间歇性)湿地、洪泛平原湿地、草本沼泽湿地等。其中,所涉及人为干扰因素主要包括农业种植、水库修建、建筑施工等。在对候选研究样地所受到的人为干扰强度及人为干扰类型进行综合分析后选取了 3 处受到不同强度、不同干扰类型影响的极具普适性的湿地作为研究样地如图 1 所示,并初步开展了植物群落特征与环境因子等因素的调查和分析。其中,选取的研究样地概况如下。

样地 1:桃花峪湿地位于荥阳广武镇桃花峪黄河湿地自然保护区内(北纬 34°56′53.5″,东经 113°29′34.7″),有保护区设置的隔离网加以保护,距河道 100 m 范围内未见到明显的人为活动。经调查,此研究区位于三峡大坝下游附近,极有可能受到水库修建而带来的水文状况改变的影响。总体评估为

受人为干扰较轻。



注:该图基于审图号为 GS(2021)6375 的标准地图制作,底图无修改

图 1 植物群落研究样地分布

Figure 1 Distribution of sample sites for plant community survey

样地 2:鸟类栖息地湿地位于中牟县狼城岗镇鸟类栖息地自然保护区内(北纬 34°54′36″,东经 114°12′),虽与样地 1 类似,均处于保护区内,但该处湿地受到农业种植活动的影响较为严重,在距离河道 50 m 处存在大面积玉米等粮食作物种植区,主要受到农业种植干扰。

样地 3:太平庄北湿地位于中牟县太平庄村北(北纬 34°56′24″,东经 114°5′24″),与样地 1 和样地 2 不同,样地 3 周边未加以保护,处于农业种植区内,受到农业种植活动强烈影响的同时也受施工建设的干扰:在距河道 20 m 附近有道路修建工程将湿地沿河分割开来,对湿地植物群落造成了严重影响。

1.3 研究方法

根据湿地中植物群落分布状况,参照湿地面积、形状及可达性等因素在 3 处样地中分别选取代表性区域作为研究区,按照湿地植物群落标准调查方法^[11],在 2020 年植物生长旺盛期开展研究区植物群落、土壤和水体质量调查和监测。

首先,在每一研究区设置 3~5 个 30 m×40 m 样方,然后按图 2 所示在样方中心地带取样(样方 4 边各留有 10~20 m 以上的缓冲区),取样点由 5 个 1 m×1 m 的样格组成,A~F 为样格编号,S₁ 和 S₂(阴影部分)为灌木层调查样格;H₁~H₅ 为草本调查小样方。在样方内分别开展植物群落土壤、水体质量等调查和取样工作。调查样方内物种的组成时,对其中的灌木分种测量和记录其基径和高度;对其中的草本则分种测量和记录样方内植株的高度、盖度和密度。同时,采集标本,记录样地各环境因子,包括经纬度、海拔、周围人类活动情况等信息。此外,为减少样方调查可能存在的局限性,在研究区样地以外的附近区域也进行了广泛的植被调查,同时充

分参考近期研究区内相关文献资料,以准确掌握研究区的相关信息。

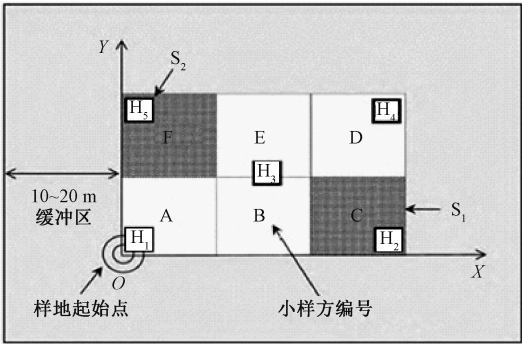


图 2 植物群落调查样方设置模式图

Figure 2 Setting model of plant community survey sample plot

土壤样本测定参数具体包括含水量、pH、无机态氮、有机碳、全氮、全磷、有效磷、重金属等指标的测定。其中,采用烘干法测定土壤含水量,采用环刀法测定容重,采用浸水法测定毛管孔隙度;使用碱解扩散法测土壤碱解氮含量,采用重铬酸钾-外加热法测定有机质等。水质样本测定参数具体包括化学需氧量、总有机碳、氨氮、亚硝态氮、硝态氮、总磷、氯离子和硫酸根离子等。上述离子含量均按照中华人民共和国国家环境保护标准的国标法测定。

1.4 数据处理与分析方法

对于调查所得数据,利用相关软件计算物种丰富度、多样性指数和均匀度指数以表征植物群落生长特征,计算方法如下。

(1)Patrick 丰富度指数:

$$D = S。$$
(1)

(2)Shannon-Wiener 多样性指数:

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

(3)Pielou 均匀度指数:

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}};$$
(3)

$$H_{\max} = \ln S。$$
(4)

式中: S 为样地内的物种数目; P_i 为种 i 的相对重要值, $P_i = N_i / N$, N_i 为种 i 的数量, N 为所在样地的各个种的个体数量之和。

为进一步对不同干扰类型下黄河湿地植物群落响应特征进行定量研究,参考 Huang 等^[10] 基于人类碳足迹所设计的人类压力指标评价体系,根据湿地植物所受到主要干扰的类型和来源选取湿地周边土地利用方式、人口密度、夜晚灯光,以及道路、铁路和通航水道距样地距离这 6 项指标作为影响湿地植物群落演替的主要环境因子。其中,土地利用方式来源于 Esri 公司发布的基于 10 m 分辨率的全球土地覆盖数据;人口密度来源于各县第七次人口普查结果;夜晚灯光值来源于 Liu 等^[12] 整合 DMSP-OLS 和 SNPP-VIIRS 数据求得的矫正后的夜晚灯光数据;道路和铁路数据来源于开放街道地图的矢量数据;通航水道数据来源于河南省内河航道与港口布局规划(2022—2035 年)。各指标具体赋值见表 1。将所得环境因子参数进行汇总后,利用 SPSS 26 进行相关性分析,进一步利用 Canoco 5.0 排序软件使用冗余分析(RDA)对各样地与环境因子之间的关系进行分析,以揭示驱动植物群落特征变化的关键因素。

表 1 人类压力指数赋值

Table 1 Human stress index assignment

环境因子	赋值区间	分数	计分法	总分
土地利用	建筑用地	10	直接赋值	10
	农业耕地	7	直接赋值	
	其他	0	直接赋值	
人口密度	>1 000 人/km ²	10	直接赋值	10
	≤1 000 人/km ²	0~10	对数变换	
夜晚灯光	夜间灯光值	0~10	以十分位数表示	10
道路	≤500 m	4~8	根据道路等级表示	8
	500 m~1 000 m	0~4	对数变换	
	>1 000 m	0	直接赋值	
铁道	≤500 m	8	直接赋值	8
	>500 m	0	直接赋值	
通航水道	≤15 km	0~4	对数变换	4
	>15 km	0	直接赋值	

2 结果与分析

2.1 不同研究样地湿地植物群落组成和多样性特征

通过对 3 处样地进行野外调查,获取了各样地植物群落的物种组成、多样性以及生长特征等信息,对此进行分析后,结果如下。

在物种组成方面,整个研究区植物主要以草本群系为主,包含莎草型湿地植被、禾草型湿地植被和杂草型湿地植被等植被型,是典型的草丛湿地植被型湿地。出现最多的植物群系为芦苇群系(*Phragmites australis*),其次为宽叶香蒲群系(*Typha latifolia*)、假苇拂子茅群系(*Calamagrostis pseudophragmites*)、怪柳群系(*Tamarix chinensis*)等植物群系。整个研究区共调查植物 4 724 株,其中共发现 42 种植物,分属 22 科,38 属。含 5 属以上的分别是禾本科(8 属)和菊科(5 属);莎草科、怪柳科、蓼科、桑科、十字花科分别为 2 属。未发现在以往同区域研究中较为常见的豆科植物^[13-14]。3 处样地的植物群落均以芦苇为优势种且一些典型湿生植物如香蒲、假苇拂子茅有退化倾向。3 处样地还同时存在少量外来入侵物种,如小飞蓬、空心莲子草、钻叶紫菀、反枝苋等。在鸟类栖息地湿地和桃花峪湿地还同时伴生有较多中生和耐性植物,如怪柳、旱柳、小飞蓬等。3 处样地中湿地植物占比约为 11.9%,外来入侵物种占比约为 9.5%,与同区段湿地公园往年数据有一定差距,且未发现国家保护植物。这也间接表明本研究调查的湿地存在退化趋势。

在植物群落相似性方面,3 种不同退化程度湿地植物群落在物种组成上差异不大,如表 2 所示。其中太平庄北湿地植物群落与鸟类栖息地湿地植物群落相似性最高,相似系数达到 0.76;桃花峪湿地植物群落与鸟类栖息地湿地和太平庄北湿地植物群落相似系数稍低,分别为 0.60 和 0.50。

表 2 3 种不同退化程度湿地植物群落相似系数
Table 2 Similarity coefficients of plant communities in three wetlands with different degrees of degradation

样地	桃花峪 湿地	鸟类栖息地 湿地	太平庄 村北湿地
桃花峪湿地	1.00		
鸟类栖息地湿地	0.60	1.00	
太平庄村北湿地	0.50	0.76	1.00

在物种多样性方面,3 处样地存在一定差异,如图 3 所示,3 块样地物种丰富度指数 D 介于 2.20~

5.40,多样性指数在 0.14~0.80,均与以往数据相比差距明显^[15]。在 3 块样地中:桃花峪湿地物种丰富度和多样性较高,均值分别为 4.13 和 0.75。鸟类栖息地湿地物种丰富度次之,均值为 3.47;太平庄北湿地物种丰富度指数均值最低,为 2.60。在多样性指数方面,太平庄北湿地高于鸟类栖息地湿地,两者的均值分别为 0.52 和 0.28。过往研究认为:一个群落或地区的多样性指数越高,该系统越稳定。相较而言,桃花峪湿地具有比其他两处湿地更大的生态价值。

在物种均匀度指数方面,桃花峪湿地的指数在样方间差异不大,在 0.29~0.38;相比之下,太平庄北湿地和鸟类栖息地湿地物种均匀度指数在样方间变化较大,其中太平庄北湿地的指数在 0.25~0.48,鸟类栖息地湿地的指数在 0.11~0.38。这些结果均表明,桃花峪湿地各样方间生境条件相对一致,斑块化和破碎化程度较低;而鸟类栖息地湿地和太平庄北湿地局部异质性相对较高,植物生境的斑块化程度也表现出相对较高的趋势。

2.2 不同研究样地湿地植物群落生长特征比较

3 处样地湿地植物群落盖度存在较大的差别,其中植物群落盖度以太平庄北湿地最高,均值为 80%,在 69%~89%变化;其次是鸟类栖息地湿地,盖度均值为 75.67%,在 70%~81%变化;桃花峪湿地植物群落盖度最低,均值为 58.33%,在 52%~62%变化。

不仅各样地盖度存在差异,其生长情况也有较大的差别。从生长高度来看,太平庄北湿地最高,平均高度达到 132.61 cm,在 123.26~140.83 cm 变化;其次是鸟类栖息地湿地,平均高度为 96.49 cm,在 92.70~102.76 cm 变化;桃花峪湿地植物群落高度最低,平均高度为 64.07 cm,在 60.71~66.03 cm 变化。从植株密度来看,太平庄北湿地最高,平均密度达到 137 株/ m^2 ,在 99.8~143.2 株/ m^2 变化;鸟类栖息地湿地与桃花峪湿地植株密度相差不大,均值分别为 94.53 株/ m^2 和 99.13 株/ m^2 ,分别在 72~106 株/ m^2 和 64.6~125.8 株/ m^2 变化。

从 3 处湿地植物群落盖度、生长高度、植株密度的变化情况来看,太平庄北湿地生境的植物生长情况较好,能够维持较高植被覆盖度和生产力。相比之下鸟类栖息地湿地生境质量稍差,在维持植被覆盖度和生产力方面的能力低于太平庄北湿地生态系统。桃花峪湿地植株密度与鸟类栖息地湿地相差不大,但植物群落盖度、生长情况相比前两处湿地均较低。

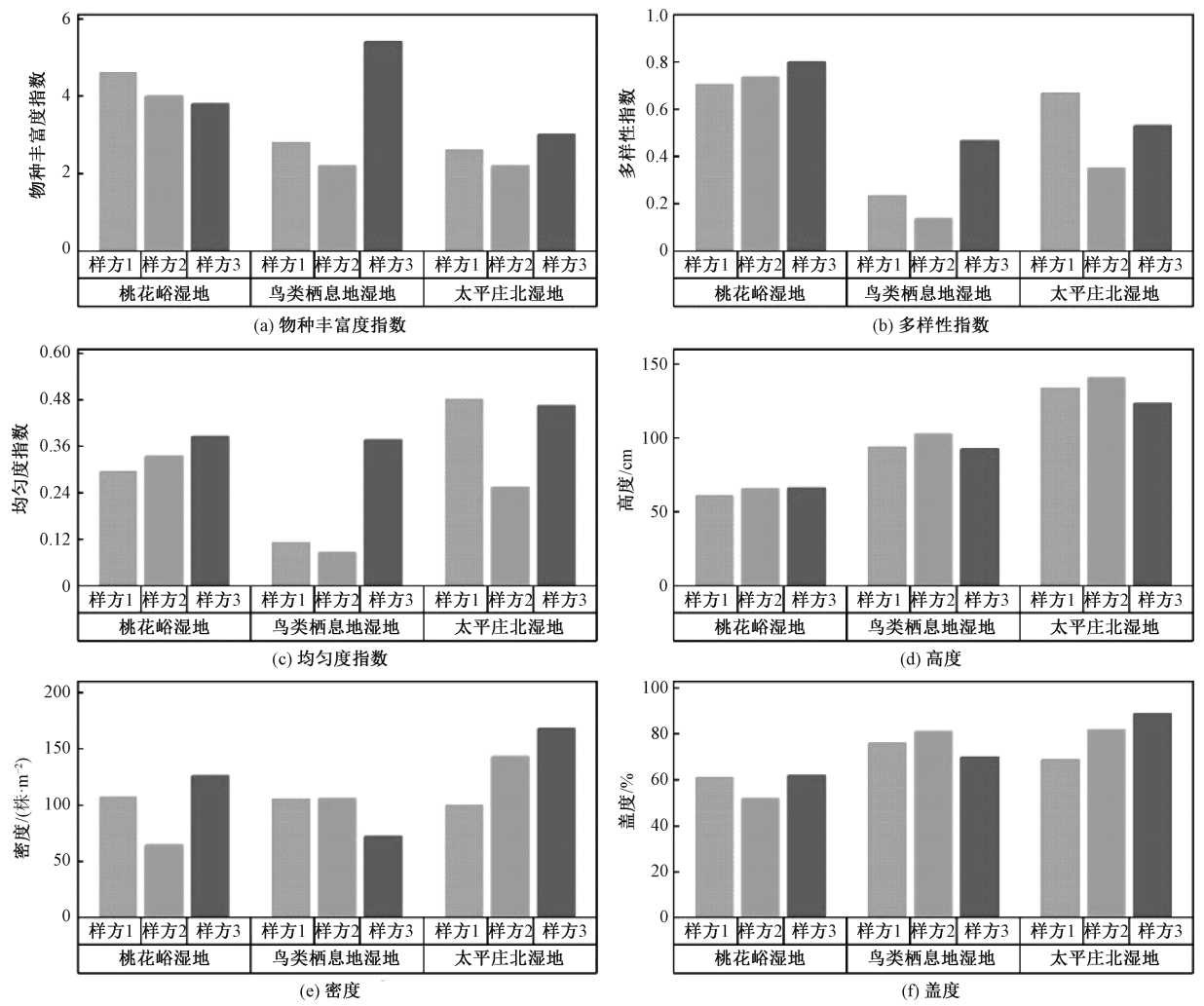


图3 3种不同退化程度湿地植物群落生长特征

Figure 3 Growth characteristics of plant communities in 3 wetland species with different degradation degrees

2.3 湿地植物群落特征影响因素分析

在对人为干扰进行赋值后(表1),将所得数据与所测得的环境因子特点进行总结,具体如下。桃花峪湿地受周边通航水道影响较大,人为干扰指数为18.51,该处湿地中土壤全氮含量相对较高,均值为333.83 mg/kg;鸟类栖息地湿地受农业干扰严重,人为干扰指数为19.40,且因该处上游有工业废水排放,镉离子的含量为风险管制值2.99倍;太平庄北湿地周边的土地利用及人口密度均为3处样地最高值,人为干扰指数为26.10,该处湿地土壤全磷含量相对较高,达到了52.57 mg/kg。整体上看,研究区内湿地生态系统土壤水分水平适中,且总体均衡,水源涵养能力良好;但土壤营养元素分布极度不均衡;3处湿地均表现出贫氮、贫钾和富磷的养分状态,存在盐渍化迹象。

湿地植物群落物种多样性与环境因素间的相关性分析表明,物种丰富度指数与人为干扰指数呈现显著的负相关($P=0.045$),与其余环境因子则不存

在相关关系;物种多样性指数与物种均匀度指数除了与铵态氮浓度呈负相关(P 分别为0.012、0.035)外,与其余环境因子间不存在相关关系。

如图4所示,进一步排序分析表明,物种多样性指数与土壤中的全磷、速效磷、含水率及pH呈正相关,与人为干扰指数、铵态氮、全氮等土壤特性呈负相关;物种丰富度指数则受到全磷、含水率及pH的积极影响,同时受到人为干扰指数等一系列指数的负面影响;对于物种均匀度指数,在受到土壤中磷含量及人为干扰的影响时呈现正相关趋势。此外,人为干扰指数对物种多样性指数的影响从大到小依次为太平庄北湿地、鸟类栖息地湿地、桃花峪湿地。

以上结果表明:人为干扰如农业施肥在一定程度上造成湿地养分负荷过高,进而影响了湿地植物群落结构,减少了整体的生物多样性。因此,迫切需要阻断人为干扰,减缓湿地环境恶化,推进湿地植物多样性恢复与功能提升。

湿地植物群落生长特征与环境因素间的相关分

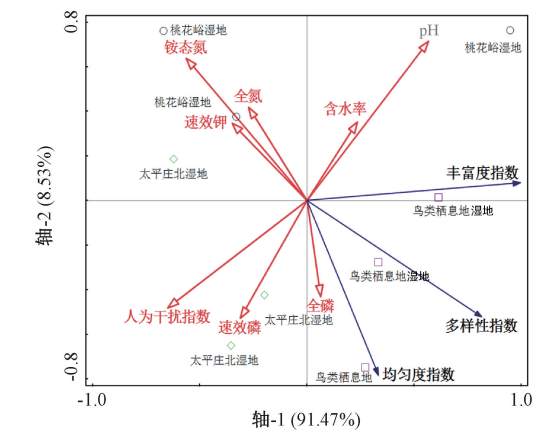


图 4 不同湿地植物群落物种多样性与影响因子间的关系

Figure 4 Relationships between species diversity and influencing factors in different wetland plant communities

析表明,与植物群落盖度显著相关的因素是铵态氮含量 ($P = 0.043$),其余各因子如其他养分离子、人为干扰指数等与植物群落盖度间的关系并不显著。此外,植株密度除了与人为干扰指数存在显著相关关系 ($P = 0.043$) 外,与其他因素不显著相关。

如图 5 所示,进一步的排序分析表明,土壤铵态氮、全磷及人为干扰指数对植物群落盖度和密度均具有正向影响,土壤全氮及 pH 指数则仅对植物群落盖度具有正面影响,而硝态氮、土壤含水率、速效钾等指标则对植物群落盖度和密度具有负向的影响。此外,人为干扰对植物群落生长特征的影响从大到小依次为太平庄北湿地、鸟类栖息地湿地、桃花峪湿地。

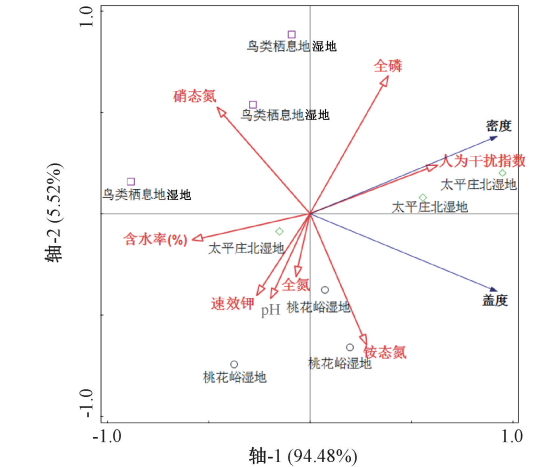


图 5 不同湿地植物群落生长特征与影响因子间的关系

Figure 5 Relationships between plant community growth characteristics and influencing factors in different wetlands

以上结果表明,土壤养分状况如铵态氮及人为干扰指数对植物盖度和密度具有一定促进作用,但硝态氮等因素则对植物群落盖度和密度具有一定抑

制作用。

3 讨论

在物种组成方面,研究区湿地植物群落中典型湿地植物占比较小且物种单一,主要以芦苇为优势种;中生和耐性植物比例偏高,表现出对退化湿地生态系统(如旱化、盐碱化)的适应性特征。未发现国家保护植物,外来入侵物种在各个样地均有分布。3处样地均表现出一定的退化倾向。从物种多样性方面来看,本研究区内的物种丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数以及均匀度指数均小于以往黄河湿地(郑州段)的研究结果^[16-17]。这主要是由人为干扰增强导致的土壤中铵态氮含量的改变所引起的。从植物群落生长特征来看,土壤水分和养分对植物生长的限制作用十分明显,具体表现为群落盖度和高度降低以及生产力的下降。从 3 处样地间植物多样性和生长特征的差异也可看出:自然或人为因素尚未强烈改变样点间的物种组成,但对群落生长特征有较大影响,这在一定程度反映了湿地退化发生的过程,即首先影响物种适合度,进而淘汰适性较差物种,最后改变湿地生态功能。总体上看,由于人为干扰的强烈影响,研究区湿地植物群落表现出由湿生向中生和旱生退化的迹象,同时植物群落构建趋于简单化,生物多样性和生产力维持方面的能力降低。

桃花峪湿地受到人为干扰最低,区域内的废弃鱼塘和周围的农业活动对湿地的影响较小,湿地植物群落多样性较高,在 3 个样地中具有最高的生态价值。目前对该样地影响较大的因素是位于黄河小浪底水库下游修建的桃花峪大坝。水库的蓄水和调洪会降低河流自然泛洪的频率和强度,使湿地的水文状况发生改变的同时阻碍沉积物流入下游,由此引发生态累积效应,进而可能导致下游湿地面积的萎缩,同时对植物产生水分上的筛选,使新的优势群落产生,最终改变该段湿地植物群落生态结构^[18]。具体表现为植物生长特征较往年比均有所下降,野大豆、砖子苗、碱蓬等群落消失。

桃花峪湿地位于季节性河道周边 100 m 范围内,是湿地动植物的重要栖息地和繁殖场所,对其生态恢复需结合黄河的自然恢复能力,以及通过严格划定保护区、在周边利用乡土植物建立植物缓冲带等方式来进行恢复。

中牟狼城岗镇鸟类栖息地湿地受到农业种植干扰较为严重。农田的开垦使大面积的自然湿地景观转变成功能结构较为单一的农业景观,并由于各种

农业活动在土壤中留下诸如肥料施放过多,土壤中重金属离子本底值严重超标,抗生素、微塑料含量过高等隐患,其中较为严重的在于土壤中含磷量过高,有富营养化的趋势。前人提出的物种丰富度和生产力关系的峰形曲线以及“资源比例假说”^[19]表明:极度营养的环境可能会减少某些物种在环境中的适应性并加剧优势物种间的竞争,这将最终导致区域湿地植物群落物种丰富度的降低,并成为该湿地退化的诱因之一。

农业种植不仅对鸟类栖息地湿地产生影响还造成了面源污染,因此应在减少农业活动、恢复湿地植物群落结构的同时,充分发挥湿地的生态修复功能,改善土壤生境。为此要优先选择对磷、钾有富集与转运作用的湿地植物如水菖蒲(*Acorus calamus* L.)、碱蓬(*Suaeda glauca* Bge)^[20]等,其中碱蓬是一年生耐盐碱植物,对大多数重金属元素都有很强的富集作用,较为适合对该处湿地进行修复。

太平庄北湿地是 3 个样地中受到人类干扰类型最为复杂的湿地,不仅位置处于公路与村庄附近,在受到建筑施工类人为干扰影响的同时还受到农业种植的影响。对于该处湿地植物群落来说,人为干扰产生的垃圾进入到环境中,造成了该区域水质恶化、湿地面积大幅缩小、湿地周围小气候环境改变、当地植物群落生态环境越来越严苛等一系列严重后果。建筑及修路等人为干扰将原本较大的湿地进行分割,使得植物原有的自然生境急剧恶化并越来越趋于破碎化,小的湿地斑块彼此之间没有连通,物种的繁殖和扩散过程被阻隔,最终导致植被覆盖率下降的同时物种丰富度降低、湿地退化^[21]。

对于因建筑施工干扰而破碎化的湿地,因其人类碳足迹量较大,所以要以自然封育作为相应手段修复湿地是不可能的。在此应适当控制湿地旁建设行为的进行,强化居民生态价值认知,引导居民共同保护湿地景观^[22]。

4 结论

综上所述,通过对黄河湿地(郑州段)中植物群落各项指标的分析发现,与之前的调查相比,该区段湿地在不同人为干扰类型和程度下均表现出退化趋势,其中在物种组成方面,典型湿生植物物种数量较少,而旱生和盐生植物种类增加,整体湿地植物群落构建随着人为干扰加强逐渐趋于简单化。在植物生长方面,经过冗余分析可知土壤养分状况如铵态氮含量及人为干扰指数对植物盖度和密度具有一定促进作用,不同人为干扰程度下的湿地植物群落生长

特征有较大差异。

为了恢复该区段湿地植物群落,提高湿地生态系统服务功能,亟须采取措施阻断人为干扰,如以黄河流域历史水量为依据更加合理地制定泄水计划来减轻水库修建干扰^[23],依据农业生产区污染程度的不同选择合适的湿地植物在修复湿地的同时恢复土壤生境等。其次,需遵循植物种类多样性与人工干预最小化原则,以适当的地带性自然湿地群落为参照,构建乔、灌、草复合混交群落和多样性的水生植物群落使其在促进植物群落系统的正向演替的同时使湿地能更好地抵御外界风险。在选择植物种类和构建湿地群落结构时,可以选用在该段黄河湿地范围内频繁出现的豆科植物,以实现固氮和控制水土流失的目的;除此之外,还可以选用具有重金属污染修复功能的典型湿地植物,如碱蓬、香茅草(*Cymbopogon citratus*)、芦竹(*Asparagus*)等。最后,需对湿地恢复工程实施全程跟踪和恢复效果评价,并随时通过一定的人工措施优化群落组成,使其达到具有相应定位功能(如水土保持、生态保护、美化景观等)的要求^[24]。

参考文献:

[1] 龙志伟,肖松毅,王晖,等. 基于粒子群算法的水资源需求预测[J]. 郑州大学学报(工学版), 2019, 40(4): 32-35, 47.
LONG Z W, XIAO S Y, WANG H, et al. Water resources demand prediction based on particle swarm optimization[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2019, 40(4): 32-35, 47.

[2] 郭畏. 土壤氮/磷比对植物影响的初步研究[D]. 天津: 南开大学, 2010.
WU W. Preliminary study on the influence of soil N/P ratio on plants[D]. Tianjin: Nankai University, 2010.

[3] YANG X, LIU S, JIA C, et al. Vulnerability assessment and management planning for the ecological environment in urban wetlands[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 298: 113540.

[4] WARD E J. Wetlands under global change[M]// LIKENS G E. Encyclopedia of Inland Waters. Amsterdam: Elsevier, 2022: 295-302.

[5] 陈钰,雷琨,杜尧,等. 沉湖湿地近 50 年退化过程识别[J]. 地球科学, 2021, 46(2): 661-670.
CHEN Y, LEI K, DU Y, et al. Identification of degradation process of Chenhu wetland over last 50 years[J]. Earth Science, 2021, 46(2): 661-670.

[6] 周琪. 山东省湿地人为干扰分析及人为建设干扰对湿地植物分布的影响[D]. 济南: 山东大学, 2014.

ZHOU Q. Human disturbance analysis of wetland in Shandong province and effects of human construction disturbance on the plant distribution[D]. Jinan: Shandong University, 2014.

[7] 曾毅. 基于植物群落分析的武汉城市湖泊湿地植被恢复典型模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.

ZENG Y. Study on the typical vegetation restoration models of urban lake wetlands in Wuhan based on plant community analysis[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.

[8] 肖春艳. 小浪底大坝下游滨河湿地退化特征及修复途径研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2015.

XIAO C Y. Study on degradation features and restoration approaches of downstream riparian wetland from the Xiaolangdi Dam of the Yellow River[D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2015.

[9] XIA C C, LIU G D, XIA H Y, et al. Influence of saline intrusion on the wetland ecosystem revealed by isotopic and hydrochemical indicators in the Yellow River Delta, China[J]. Ecological Indicators, 2021, 133: 108422.

[10] HUANG X J, WU Z F, ZHANG Q F, et al. How to measure wetland destruction and risk; wetland damage index[J]. Ecological Indicators, 2022, 141: 109126.

[11] 张奇奇, 韩广轩, 路峰, 等. 不同修复年限对黄河三角洲湿地植物多样性和群落稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1249-1257.

ZHANG Q Q, HAN G X, LU F, et al. Effects of different restoration ages on plant diversity and community stability of wetlands in the Yellow River Delta[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(7): 1249-1257.

[12] LIU S R, SHI K F, WU Y Z. Identifying and evaluating suburbs in China from 2012 to 2020 based on SNPP-VIIRS nighttime light remotely sensed data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2022, 114: 103041.

[13] 齐睿, 王春平, 李子豪, 等. 不同积水生境对河南黄河湿地植物多样性的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8578-8588.

QI R, WANG C P, LI Z H, et al. Difference of plant diversity in different waterlogging habitats in the Yellow River wetland in Henan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(21): 8578-8588.

[14] 张会萍, 肖曼, 曾曼芸, 等. 河南段黄河湿地水文因子对植物多样性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(5): 822-829.

ZHANG H P, XIAO M, ZENG M Y, et al. Effects of hydrological environment on plant diversity in the Yellow River Wetland of Henan Section[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(5): 822-829.

[15] 姚新治, 王鑫宇, 胡永歌, 等. 郑州沿黄湿地草本植物群落多样性研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(1): 186-191.

YAO X Z, WANG X Y, HU Y G, et al. Study on diversity of herbaceous plants along the Yellow River Wetland in Zhengzhou City[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(1): 186-191.

[16] 肖洒. 黄河三角洲滨海湿地植物景观评价研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2019.

XIAO S. Study on plant landscape evaluation of coastal wetland in the Yellow River Delta[D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2019.

[17] 宋红丽, 牟晓杰, 刘兴土. 人为干扰活动对黄河三角洲滨海湿地典型植被生长的影响[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12): 2307-2314.

SONG H L, MOU X J, LIU X T. Anthropogenic effect on wetland vegetation growth in the Yellow River Delta[J]. Ecology and Environment Sciences, 2019, 28(12): 2307-2314.

[18] 祁继英, 阮晓红. 大坝对河流生态系统的环境影响分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(1): 37-40.

QI J Y, RUAN X H. Dam construction-induced environmental impact on riverine ecosystem[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2005, 33(1): 37-40.

[19] NIU L H, ZOU G H, GUO Y T, et al. Eutrophication dangers the ecological status of coastal wetlands: a quantitative assessment by composite microbial index of biotic integrity[J]. Science of the Total Environment, 2022, 816: 151620.

[20] 张乐添. 碱蓬对土壤中重金属的富集作用及在湿地污染修复中的应用研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2019.

ZHANG L T. Practical application of *Suaeda salsa* on enrichment of heavy metals and restoration ability to pollutants in wetland soils[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2019.

[21] 曹晨晨, 苏芳莉, 李海福, 等. 辽河口盐地碱蓬湿地景观破碎化及驱动机制[J]. 生态学报, 2022, 42(2): 581-589.

CAO C C, SU F L, LI H F, et al. Landscape fragmentation and driving mechanism of *Suaeda salsa* wetland in Liaohai Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 581-589.

[22] 车俊毅. 鄱阳湖湿地景观破碎化过程与恢复对策研究[J]. 江西化工, 2018(6): 127-131.

CHE J Y. Study on the fragmentation process and restoration countermeasures of wetland landscape of the Poyang

Lake[J]. Jiangxi Chemical Industry, 2018(6): 127-131.

[23] 李宗坤, 胡义磊, 邓宇, 等. 基于改进突变评价法的黄河凌汛灾害风险评价[J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(1): 89-95.

LI Z K, HU Y L, DENG Y, et al. The Yellow River ice flood disaster risk assessment based on improved catastrophe theory evaluation method[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, 44(1): 89-95.

[24] 郑忠明. 武汉市城市湖泊湿地退化与植被恢复研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

ZHENG Z M. Studies on degradation and vegetation restoration of urban lake wetland in Wuhan[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.

Effects of Human Disturbances on Plant Community of the Yellow River Wetland and its Mechanisms

WAN Junfeng^{1, 2}, SONG Yifan^{1, 2}, GUO Lin³, MA Yifei^{1, 2}, LI Zhe^{1, 2}, DING Junxiang¹, GUO Xiaoying^{1, 2}

(1. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan International Joint Laboratory of Environment and Resources, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan Academy of Geology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to analyze the different types of influence of human disturbance on plant communities in the Yellow River wetland and the relevant mechanisms, three wetlands in Zhengzhou section which were respectively affected by agricultural planting, reservoir construction and building construction, were selected after conducting a large number of field investigations. After measuring the plant communities and related environmental factors, redundancy analysis was carried out based on human pressure index evaluation system. The results showed that the whole wetland plant community showed an obvious degradation trend, and the function of productivity maintenance decreased. For the sample land with different types of human disturbance, the severity of human disturbance varied from the disturbance caused by reservoir construction to agricultural planting, and building construction. With intensification of the severity of human disturbance, the similarity coefficients of plant communities in different wetlands declined successively, and the species richness index of wetland in Bird Nature Reserve and Taipingzhuang North wetland decreased by 15.98% and 37.05%, respectively, compared with the Taohuayu wetland, indicating that the overall construction of wetland plant communities gradually became simpler. Among the many factors causing wetland degradation, the change of ammonium nitrogen content in soil had a significant negative correlation with species diversity index and species evenness index, and was one of the main reasons for wetland plant degradation.

Keywords: Yellow River wetland; degradation mechanism; plant community; human disturbance assessment; redundancy analysis