

引用格式: 梁少民, 吕宇豪, 李雅, 等. 黄河中下游过渡区河岸植物多样性与土壤因子的关系[J]. 西北植物学报, 2024, 44(6): 0968-0976. [LIANG S M, LÜ Y H, LI Y, et al. Relationship between riparian plant diversity and soil factors in the middle and lower reaches of the Yellow River[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2024, 44(6): 0968-0976.] DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.20230401

黄河中下游过渡区河岸植物多样性与土壤因子的关系

梁少民¹, 吕宇豪², 李雅¹, 吕金岭³

(1 河南省科学院 地理研究所, 郑州 450052; 2 山西师范大学 地理科学学院, 山西临汾 041000; 3 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002)

摘要 【目的】河岸带物种多样性与土壤因子的关系对维持河岸带生态系统的稳定性十分重要, 为揭示黄河中下游河岸带物种多样性与土壤因子的关系, 进一步为黄河中下游过渡区河岸生态恢复、保护和高质量发展提供一定的参考与理论指导。【方法】采用样方调查法、试验分析法、CCA 排序法等方法, 以河南黄河中下游过渡区对植物分布和物种多样性与土壤因子的关系进行研究。【结果】(1) 黄河中下游过渡区河岸有机质、速效钾及有效磷均属于中等变异程度, 土壤含水量、全氮变异系数为强变异性, 土壤养分空间分布总体呈现中度不均匀的特征。(2) 黄河中下游过渡区河岸植物优势度指数(D)与土壤全氮具有显著负相关关系($P < 0.05$); 土壤 pH 值、速效钾和有效磷对物种丰富度指数(S)的影响不明显; 均匀度指数(E)、香农-威纳指数(H)与 6 个土壤因子之间均没有达到显著水平。(3) 红蓼、头状穗莎草、长芒稗、糠稷、醴肠群落的分布受土壤含水量的影响较大; 青蒿、酸枣、毛白杨等的分布主要受全氮的影响较大, 在全氮含量较高的区域分布较多; 葎草和反枝苋受速效钾影响较大; 而狗牙根、苍耳、芦苇、狗尾草、春蓼、绿豆等群落受土壤因子的影响较小。【结论】黄河中下游过渡区河岸带土壤含水量、速效钾及全氮是影响植物分布的主要因子, 不同植物对土壤条件的需求存在差异, 能够直观反映出植被与土壤环境之间的关系。

关键词 黄河中下游过渡区; 河岸带; 植物群落; 物种多样性; 土壤因子

中图分类号 Q948 文献标志码 A

Relationship between riparian plant diversity and soil factors in the middle and lower reaches of the Yellow River

LIANG Shaomin¹, LÜ Yuhao², LI Ya¹, LÜ Jinling³

(1 Institute of Geography, He'nan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China; 2 College of Geographic Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China; 3 Institute of Plant Nutrition and Resource Environment, He'nan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract [Objective] The relationship between species diversity and soil factors in riparian zone is important to maintain the stability of riparian ecosystems. The purpose of the study is to reveal the relationship between species diversity and soil factors in riparian zone and provide references and theoretical guidance for the ecological restoration, protection, and high-quality development of the middle and lower reaches of the Yellow River. [Methods] The study examined the relationship between plant distribution, species di-

收稿日期: 2023-06-20; 修改稿收到日期: 2023-12-07

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42377490); 河南省科技攻关项目(192102310041)

作者简介: 梁少民(1973—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事区域生态与湿地生态研究。E-mail: liangsm2005@163.com

iversity, and soil factors in the transition zone of the middle and lower reaches of the Yellow River in He'nan Province by means of quadrat survey, experimental analysis, and CCA ranking. [Results] (1) Soil organic matter, available potassium, and available phosphorus in the transition zone of the middle and lower reaches of the Yellow River were moderate variability, water content, the coefficient of total nitrogen was strong variability, and the spatial distribution of soil nutrients was uneven. (2) There was a significant negative correlation between the dominance index of riparian plants and soil total nitrogen ($P < 0.05$). Soil pH, available potassium, and available phosphorus had no obvious effects on species richness index. The evenness index, Shannon-Wiener index, and six soil factors did not reach a significant level. (3) The distribution of *Polygonum polygonatum*, *Cyperus capitatum*, *Echinochloa crusgalli*, *Echinochloa cristatum*, and *Eclipta prostrata* communities was affected by water content. The distribution of *Artemisia annua*, *Ziziphus jujuba*, and *Populus tomentosa* was mainly affected by total nitrogen, which were mainly distributed in areas with high total nitrogen content. *Humulus scandens* and *Amaranthus retroflexus* were affected by available potassium. However, *Cynodon dactylon*, *Xanthium strumarium*, *Phragmites australis*, *Setaria viridis*, *Polygonum persicaria*, *Vigna radiata*, and other communities were less affected by soil factors. [Conclusion] The soil moisture content, available potassium, and total nitrogen in the transitional zone of the middle and lower reaches of the Yellow River are the main factors affecting plant distribution. Different plants have different requirements for soil conditions, which can reflect the relationship between vegetation and soil environment.

Key words middle and lower reaches of the Yellow River; riparian zone; plant community; species diversity; soil factor

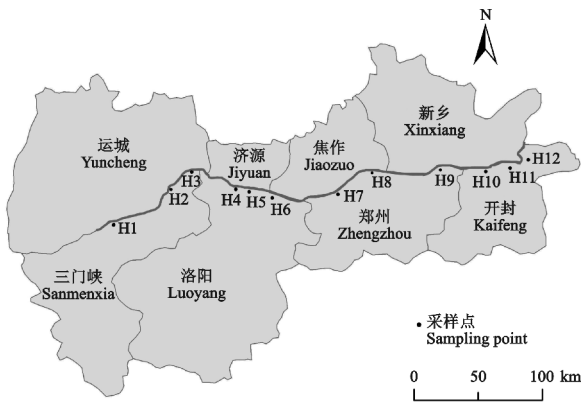
土壤是植物生长和发育的物质基础,影响着植物群落组成和多样性^[1]。认识植物多样性与土壤因子的关系,有助于表征群落和生态系统的特征过程,并揭示土壤因子对物种多样性的影响机制^[2]。黄河河南段作为黄河中下游过渡区,也是生态敏感区,更是高质量发展的重点区。因此,研究黄河中下游过渡区河岸带植被物种多样性与土壤性质的关系,对湿地资源的保护与利用具有重要意义。目前,学者就黄河沿岸带的植物群落结构^[3]、物种多样性对人类活动的响应^[4]、河岸带土壤性质空间变异特征^[5]等方面做了一些工作,但是对黄河中下游过渡区河岸物种多样性与土壤因子的关系研究相对较少。为定量研究黄河中下游过渡区河岸植被的物种多样性与土壤因子之间的关系,作者以黄河中下游过渡区河岸植被为研究对象,通过样地调查,分析黄河中下游过渡区河岸物种多样性的变化特征,用回归分析及用 CCA 排序法分析植被分布与土壤因子的关系,以为黄河中下游过渡区河岸生态恢复、保护和高质量发展提供一定的参考与理论指导。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄河中下游过渡区,地理位置 110°50′—114°47′ E, 34°38′—35°4′ N。东西跨度总长约 428 km,包括灵宝市二里半、三门峡市湖滨区、渑池县的

南村乡、新安县石井、新安县白云渡口、新安县鹰嘴山、吉利区关庙沟、孟津市张庄、巩义市龙潭沟、郑州市惠济区、开封市和尚本村、兰考县新庄户(图 1)。



H1. 灵宝市二里半; H2. 三门峡市湖滨区; H3. 渑池南村; H4. 新安石井; H5. 新安县白云渡口; H6. 新安县鹰嘴山; H7. 吉利区关庙沟; H8. 孟津市张庄; H9. 巩义市龙潭沟; H10. 郑州市惠济区; H11. 开封市和尚本村; H12. 兰考县新庄户。下同。

图 1 研究区位置与采样点分布示意图

H1, Erliban in Lingbao City. H2, Hubin in Sanmenxia City. H3, Mianchi South Village. H4, Shijing in Xin'an County. H5, Baiyundukou in Xin'an County. H6, Yingzui Mountain in Xin'an County. H7, Guanmiaogou in Jili District. H8, Zhangzhuang in Mengjin City. H9, Longtangou in Gongyi City. H10, Huiji District in Zhengzhou City. H11, Shangben Village in Kaifeng City. H12, Xinzhuanghu in Lankao County. The same as below.

Fig. 1 Locations of the study areas and distributions of the sampling points

该地区属于暖温带大陆性季风气候,主要受季风因素影响,降水量空间分布不均匀^[6]。研究区土壤类型以棕壤土、褐土、黄棕壤土为主,地形地貌包含山地、丘陵、平原等 3 种类型,且跨越中国地势的二、三级阶梯。河岸带河道宽浅,水少沙多,冲淤变化剧烈^[7]。

1.2 调查方法

为了使采样点具有代表性与典型性,样地选择依据实际调查和卫星图像,综合考虑植被覆盖、植物群落、土壤类型、距河岸距离等因素。在黄河中下游过渡区河岸带,沿河流流向(由西到东)共选取并调查样地 12 个。

在每个样地设置 5 个 10 m×10 m 的大样方。其中,2 个大样方布置在滨水区域,2 个在堤岸中部,1 个在堤岸上,样方分布与水流呈垂直方向;在滨水区、堤岸中部的每个大样方内 对角线两端取 2 个 1 m×1 m 的小样方(因为这里是水位变动区域,全是草本),随着样地向岸边推移,到堤岸上出现小灌木的地方在大样方内选取 2 个 5 m×5 m 的样方,共 120 个样方。

用手持 GPS 确定地理坐标和海拔高度,并记录每个样地的植物名称、物种数、样方总盖度、物种的盖度、株高。采用 5 cm 直径土钻沿每个小样方对角线交叉处采集 0—20 cm 土壤样品进行测定。

用铝盒采集土样并及时称重保存以便测定土壤水分含量。同时,用密封袋取土样带回实验室做土壤检测分析。土壤全氮含量用凯氏定氮法测定;土壤有机质含量用重铬酸钾滴定法测定;土壤 pH 值用 pH 仪测定;土壤速效钾含量采用醋酸酸提取火焰光度法测定;土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;土壤含水量用烘干法测定。

1.3 数据处理

利用重要值评价样方,将其作为群落内物种相对重要性的数量指标^[8-9]。

草本重要值=(相对盖度+相对高度+相对密度)/3 (1)

多样性是指生境内部或者某个群落的物种多样性,文中参照方精云等^[9]的计算方法选用丰富度指数(S)为样方内出现的物种数、优势度指数(D)、香农-维纳指数(H)和均匀度指数(E)对植物群落多样性进行分析^[10-12]。具体公式为:

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

$$D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2 \tag{3}$$

$$E=H/\ln S \tag{4}$$

式中: P_i 为第 i 种植物的相对重要值。

用统计软件 Canoco5.0 对黄河中下游过渡区河岸物种多样性与环境数据进行排序分析。设置 2 个矩阵,分别是物种数据和环境数据。物种数据是每个样方植物群落重要值,环境因子矩阵则是 6 个土壤环境因子参数。每个环境因子箭头长度所代表的特征向量的长度,2 个箭头的夹角可以看作是环境因子与物种群落的相关性。

当夹角角度为 0~90°时 2 个变量之间呈正相关关系;当夹角角度为 90°~180°时,两者之间呈负相关关系^[1]。用 SPSS 软件分析 4 个物种多样性与土壤因子的简单相关系数。用 Excel 进行多样性指数的计算和绘图。

2 结果与分析

2.1 黄河中下游过渡区河岸沿河流纵向的物种重要值

根据物种重要值大小,确定出每个样地前 3 名的植物(表 1)。共发现植物 20 种,隶属 10 科 20 属,从每个样地来看,在新安石井、新安县白云渡口、新安县鹰嘴山和郑州市惠济区等样地中均由狗牙根和苍耳的存在,但重要值各不相同。物种重要值大于 0.4 的有 17 个,其中新安石井地狗牙根重要值达 0.967,苍耳为 0.640,新安县白云渡口狗牙根重要值达 0.619,滎池南村、新安石井、新安县白云渡口、新安县鹰嘴山、吉利区关庙沟等地物种重要值均大于 0.4。

总体来看,黄河中下游过渡区沿河流方向植物样方种类组成较为简单,物种重要值变化幅度较大,主要原因是黄河中下游过渡区河岸物种生境条件变化大,生境差异相对显著,每个样地的优势种也不同。

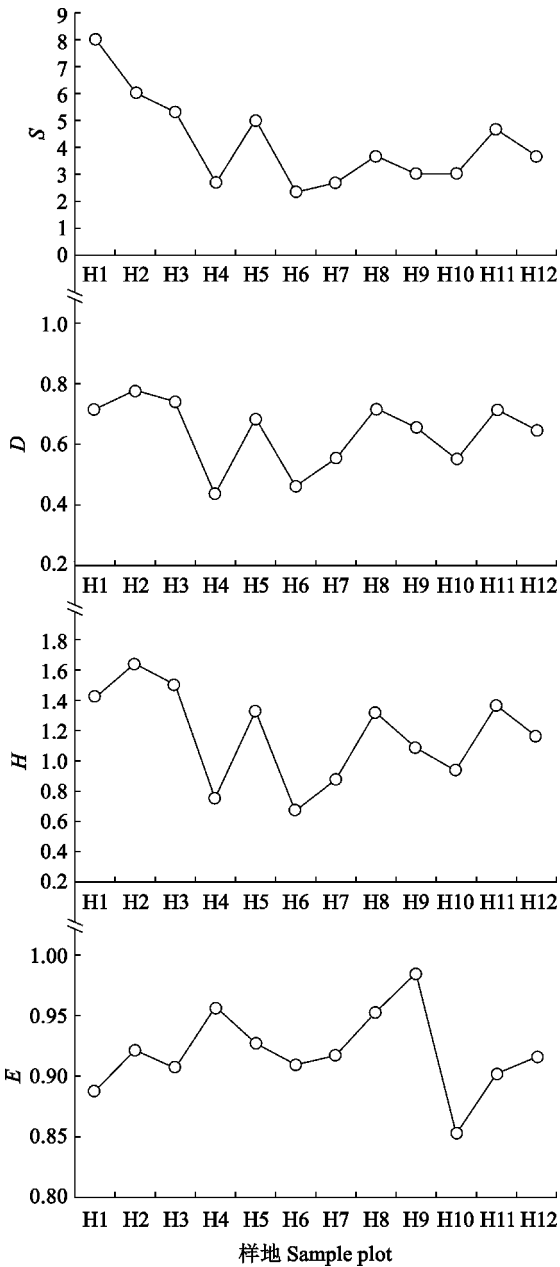
2.2 黄河中下游过渡区河岸植物群落多样性特征

黄河中下游过渡区河岸带植物群落的香农-威纳指数(H)、物种丰富度指数(S)、优势度指数(D)与均匀度指数(E)随着河流流向呈现不规则变化,表明多样性指数的变化与样地的特性有关,与河流方向关联不大(图 2)。

表 1 黄河中下游过渡区河岸沿河流纵向重要值 排名前 3 位的植物种		
Table 1 The top three plant species along the river in He'nan section of the Yellow River Basin		
位置 Position	植物名称 Plant name	重要值 Important value
H1	节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	0.345
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	0.469
	星星草 <i>Puccinellia tenuiflora</i>	0.311
H2	头状穗莎草 <i>Cyperus glomeratus</i>	0.236
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	0.223
	糠稷 <i>Panicum bisulcatum</i>	0.429
H3	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.406
	春蓼 <i>Polygonum persicaria</i>	0.469
	多枝扁莎 <i>Pycnus polystachyus</i>	0.249
H4	稗草 <i>Echinochloa crusgali</i>	0.299
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.967
	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.640
H5	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.619
	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.203
	荆条 <i>Vitex negundo</i>	0.310
H6	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	0.130
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.652
	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.867
H7	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	0.592
	大白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	0.464
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	0.603
H8	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	0.393
	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	0.339
	蒺藜 <i>Tribulus terrester</i>	0.290
H9	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.380
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	0.368
	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.252
H10	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.160
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	0.234
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.607
H11	多枝扁莎 <i>Pycnus polystachyus</i>	0.414
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.408
	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	0.349
H12	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.361
	绿豆 <i>Vigna radiata</i>	0.415
	百蕊草 <i>Thesium chinense</i>	0.631

注: H1. 灵宝市二里半; H2. 三门峡市湖滨区; H3. 渑池南村; H4. 新安石井; H5. 新安县白云渡口; H6. 新安县鹰嘴山; H7. 吉利区关庙沟; H8. 孟津市张庄; H9. 巩义市龙潭沟; H10. 郑州市惠济区; H11. 开封市和尚本村; H12. 兰考县新庄户。

Note: H1, Erliban in Lingbao City. H2, Hubin in Sanmenxia City. H3, Mianchi South Village. H4, Shijing in Xin'an County. H5, Baiyundukou in Xin'an County. H6, Yingzui Mountain in Xin'an County. H7, Guanmiaogou in Jili District. H8, Zhangzhuang in Mengjin City. H9, Longtangou in Gongyi City. H10, Huiji District in Zhengzhou City. H11, Shangben Village in Kaifeng City. H12, Xinzhuanghu in Lankao County.



S. 丰富度指数; H. 香农-威纳指数; D. 优势度指数; E. 均匀度指数。

图 2 黄河中下游过渡区河岸物种多样性指数变化
S, Margalef's richness index. H, Shannon's diversity index. D, Simpson's dominance index. E, Pielou's evenness index.
Fig. 2 Variations of the riparian species diversity index in He'nan section of the Yellow River Basin

香农-威纳指数(H)变化范围为 0.033~1.86, 优势度指数(D)变化范围为 0.066~0.832, 其中灵宝市二里半、三门峡市湖滨区和新安县的白云渡口样地的群落物种多样性指数相对较高, 植物群落结构复杂、物种丰富, 主要是该区域人为干扰较少; 新安石井、新安县鹰嘴山、吉利区关庙沟样地群落多样性指数较低, 物种较少, 主要受农耕、滩区湿地利用

等人为因素影响。物种丰富度指数(S)随着河流流向有减小趋势,其中灵宝市二里半样地最高为 8,新安县的鹰嘴山和石井样地最低为 2.33。均匀度指数(E)表示在不同物种间多度分布的均匀程度,黄河中下游过渡区河岸物种均匀度指数(E)为 0.817~0.989,整体波动起伏较小,说明河岸带群落的组成以少数物种为主,优势种明显。

2.3 黄河中下游过渡区河岸植物多样性与土壤因子关系

2.3.1 河岸带土壤性质

沿河流流向河岸带 12 个样地群落土壤指标有所差异(图 3)。土壤含水量逐渐下降,三门峡市湖滨区(H2)样地土壤含水量最高,而郑州市惠济区(H10)样地因受人为干扰影响,土壤含水量最低;各样地 pH 值均 >7 ,土壤偏碱性;土壤有机质与土壤含水量变化规律基本一致;速效钾含量差异较大,在巩义市龙潭沟(H9)样地出现最高值,新安县白云渡

口(H5)和开封市和尚本村(H11)样地为最小值;有效磷含量为 2.2~6.9;从新安石井(H4)样地向下游土壤全氮含量总体呈下降趋势,新安石井(H4)样地的土壤全氮含量最高,为 0.103,该地离石井镇区比较近,人类干扰较大,导致氮含量较高。总体来看,除新安石井(H4)样地全氮受人类干扰较大外,沿河流流向土壤含水量、全氮含量和有机质含量总体呈下降趋势。

根据变异系数大小可以估计变量的变异程度,弱变异性($CV\leq 0.1$),中等变异性($0.1\leq CV\leq 1$),强变异性($CV\geq 1$)^[1]。从表 2 可知,pH 值属于弱变异程度($CV\leq 0.1$),有机质、速效钾及有效磷均属于中等变异程度($0.1\leq CV\leq 1$)。

土壤含水量变异系数为 1.919,全氮变异系数为 1.04($CV\geq 1$),处于强变异性。结果表明黄河流域河南段河岸土壤养分空间分布总体呈现中度不均匀的特征。

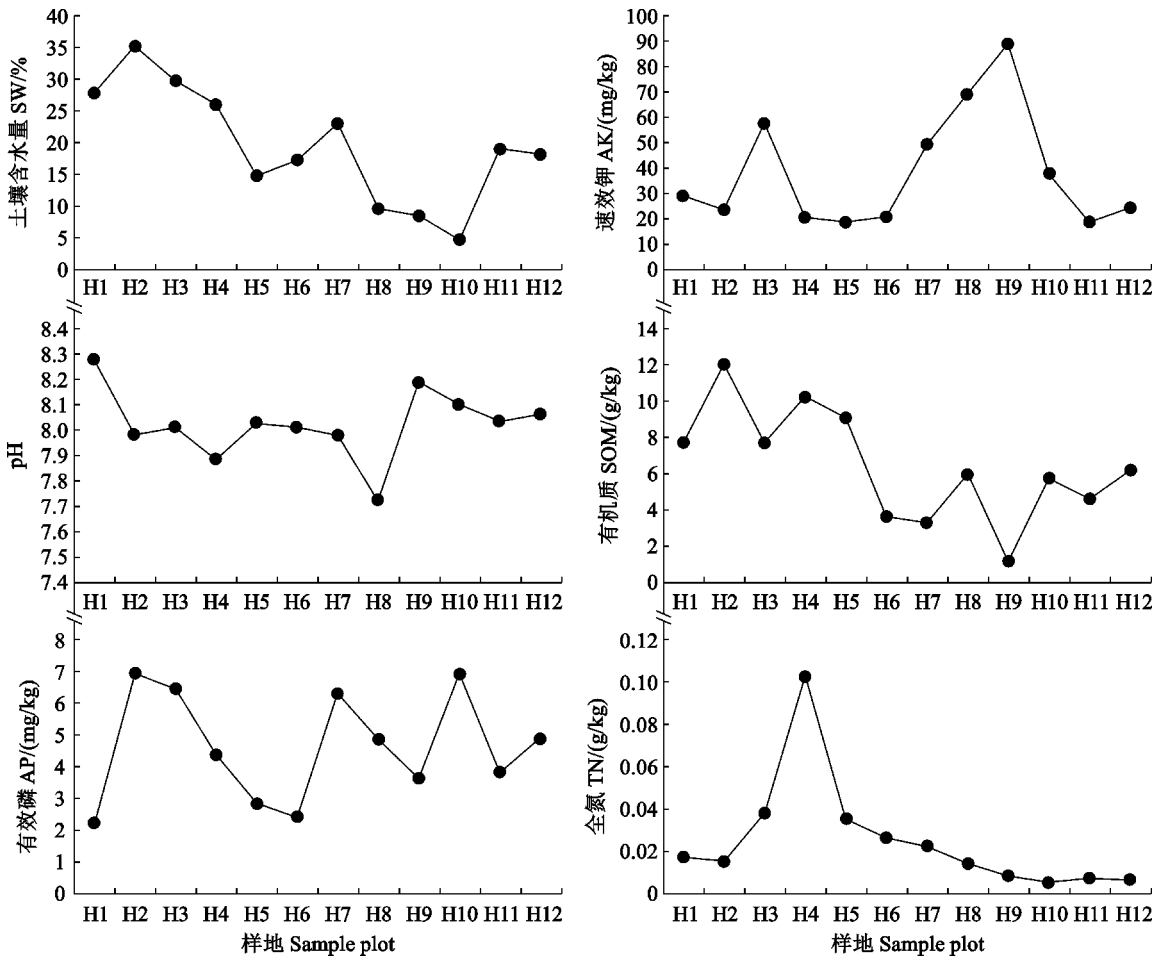


图 3 黄河中下游过渡区河岸植物群落土壤养分统计

Fig. 3 Soil nutrient statistics of the riparian plant communities in He'nan section of the Yellow River Basin

表 2 黄河中下游过渡区河岸土壤养分的统计分析

Table 2 Statistical analysis of soil nutrients in riverbank of He'nan section of the Yellow River Basin

项目 Item	土壤含水量 SW/%	pH	有机质 SOM/(g/kg)	速效钾 AK/(mg/kg)	有效磷 AP/(mg/kg)	全氮 TN/(g/kg)
平均值 Mean	0.195	8.01	6.55	34.11	4.47	0.03
标准差 SD	0.102	0.19	3.67	28.00	1.81	0.03
变异系数 CV	1.919	0.02	0.56	0.82	0.41	1.04
最大值 Max	0.438	8.31	15.88	122.86	8.73	0.12
最小值 Min	0.016	7.73	1.59	3.44	1.68	0.00

2.3.2 河岸带植物多样性与土壤因子的相关性

从表 3 可见,物种多样性与土壤因子在含水量、有机质和全氮等因素具有相关性,丰富度指数(*S*)与土壤含水量和有机质之间具有显著正相关关系($P<0.05$),相关系数分别为 0.619 和 0.585;优势度指数(*D*)与土壤全氮具有显著负相关关系($P<0.05$),相关系数为-0.534;土壤 pH 值、速效钾和有效磷对物种多样性的影响不明显。均匀度指数(*E*)与香农-威纳指数(*H*)与 6 个土壤环境因子之间均没有达到显著水平。表明在 6 个土壤环境因子中土壤含水量、有机质及全氮对黄河中下游河岸带

物种多样性的影响比较大,其他 3 个土壤因子作用相对偏低。

2.3.3 河岸带植物群落分布与土壤因子的关系

对黄河中下游过渡区河岸植物群落重要值建立物种数据,6 个土壤环境因子建立环境数据矩阵,进行 CCA 排序分析。排序结果(表 4)表明,前 2 个排序轴的特征值分别是 0.602 和 0.391,植物物种和土壤因子与前 2 个排序轴的相关性系数分别为 0.961 和 0.829,共解释物种环境关系总方差的 52.24%,排序结果能够反映黄河中下游过渡区河岸植物群落空间的分布特征。

表 3 植物多样性与土壤因子的相关性系数

Table 3 Correlation coefficient between species diversity index and soil factors

多样性指数 Diversity index	土壤含水量 SW	pH	有机质 SOM	速效钾 AK	有效磷 AP	全氮 TN
<i>S</i>	0.619 *	0.218	0.585 *	-0.249	-0.052	-0.235
<i>D</i>	0.362	0.122	0.233	0.173	0.103	-0.534 *
<i>H</i>	0.491	0.094	0.447	-0.010	0.114	-0.383
<i>E</i>	-0.114	-0.335	-0.153	0.428	-0.325	0.341

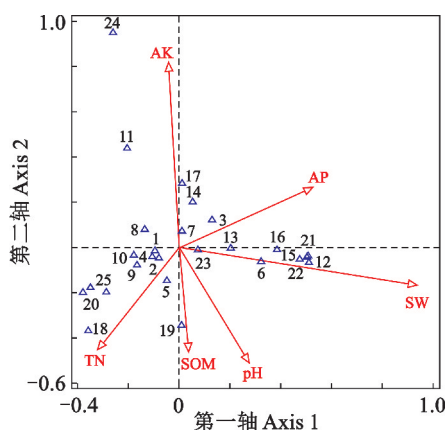
注:*S*. 丰富度指数;*H*. 香农-威纳指数;*D*. 优势度指数;*E*. 均匀度指数。* 表示在 0.05 水平上呈显著相关。
Note: *S*, Margalef's richness index. *H*, Shannon's diversity index. *D*, Simpson's dominance index. *E*, Pielou's evenness index. * indicates significant correlation at 0.05 level.

表 4 黄河中下游过渡区河岸 CCA 排序的特征根

Table 4 Characteristic roots of riverbank CCA ranking in the middle and lower Yellow River transition region

相关性 Correlation	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	轴 3 Axis 3	轴 4 Axis 4
特征值 Eigenvalues	0.602	0.391	0.356	0.281
物种-环境相关系数 Species-environment correlation	0.961	0.829	0.842	0.768
物种-环境相关性累计比百分比方差 Percentage variance of cumulative species-environment correlation ratio	31.660	52.240	70.950	85.730
所有特征值 All eigenvalues	6.117			
所有典范轴的显著性检验 Significance test of all canonical axes	$P=0.004$			

在物种与土壤因子 CCA 排序图(图 4)中,箭头连线的长度代表环境因子对群落分布影响程度的大小,线越长说明影响程度越大。沿第一轴从左到右,有效磷、土壤含水量、pH 值及有机质含量逐步增加,全氮和速效钾含量则呈逐渐减少。沿第二轴速效钾和有效磷含量由下到上逐渐增大,全氮、有机质、土壤含水量及 pH 值由下到上逐渐减少。图 4 中红蓼、头状穗莎草、长芒稗、糠稷、醴肠的分布受土壤含水量的影响较大;青蒿、酸枣、毛白杨等的分布主要受全氮含量影响,在全氮含量较高的区域分布较多;菵草和反枝苋受速效钾含量影响较大;而狗牙根、苍耳、芦苇、狗尾草、春蓼、绿豆等物种广泛分布于样地中,受土壤因子的影响较小。



图中展示样点数 ≥ 2 的物种。AW. 土壤含水量; SOM. 有机质; AK. 速效钾; AP. 有效磷; TN. 全氮。1. 狗牙根; 2. 苍耳; 3. 芦苇; 4. 狗尾草; 5. 春蓼; 6. 莎草; 7. 绿豆; 8. 牛筋草; 9. 小蓬草; 10. 醴肠; 11. 反枝苋; 12. 红蓼; 13. 节节草; 14. 苣荬菜; 15. 稷稷; 16. 鳢肠; 17. 芒; 18. 青蒿; 19. 水葱; 20. 酸枣; 21. 头状穗莎草; 22. 长芒稗; 23. 钻叶紫菀; 24. 菵草; 25. 毛白杨。

图 4 黄河中下游过渡区河岸物种与土壤因子 CCA 排序图

The figure shows species with ≥ 2 samples. AW, soil moisture content. SOM, organic matter. AK, quick acting potassium.

Fig. 4 CCA ranking map of riparian species and soil factors in the middle and lower Yellow River transition area

该研究表明土壤含水量、速效钾及全氮含量是影响植物分布的主要因子,不同植物对土壤条件的需求存在差异,物种均有自身的分布范围,能够直观反映出植被与环境之间的关系。

3 讨 论

从空间尺度上看,黄河中下游过渡区植物物种沿河流方向的分布具有连续性,各个样地的优势种具有差异性,一方面由于植物本身的适应能力强,能够在各种生境下生存,并发展成为主要优势种;另一方面可能与植物物种传播繁殖沿河流流向传播,使得沿河流流向物种发生趋同现象(表 1),这与植物传播途径有关,从而使河岸植物物种传播受到干扰。研究区河岸东西长 428 km,地形地貌差异较大,其空间尺度上的多样性,形成丰富多样的生境类型,导致多种物种的出现,物种的分布体现黄河中下游过渡区河岸植被的物种组成特点。物种多样性是群落结构和功能复杂性的一种衡量指标,对于研究地区建设、资源、生态恢复等方面具有重要意义^[13-15]。

黄河中下游过渡区除新安石井样地全氮受人类干扰较大外,沿河流流向的土壤含水量、全氮含量和有机质含量总体呈下降趋势;速效钾和有效磷在不同样地之间的差异较大,变化无规律;土壤 pH 为 7.72~8.27,土壤以碱性为主。有机质、速效钾及有效磷均属于中等变异程度($0.1 \leq CV \leq 1$);pH 值属于弱变异程度($CV \leq 0.1$);土壤含水量变异系数为 1.919,全氮变异系数为 1.04($CV \geq 1$)处于强变异性。黄河中下游过渡区河岸物种丰富度指数(S)、香农-威纳指数(H)、优势度指数(D)和均匀度指数(E)总体呈不规则变动。多样性指数的变化与样地的特性有关,与河流方向关联不大。灵宝市二里半、三门峡市湖滨区等地河岸带物种多样性较高,受人为干扰因素小,而新安石井、新安县鹰嘴山、吉利区关庙沟等样地受人为干扰活动加剧,对生境的完整性和多样性产生影响,进而导致群落内物种、群落发生变动。

土壤和植被是相互依存的 2 个因子^[16],植物的生长发育过程受土壤因子的影响,土壤环境的差异导致物种多样性发生变化。该研究表明黄河中下游地区物种多样性与土壤含水量、有机质呈正相关,与全氮含量呈负相关,这与赵清贺等^[5]、白永飞等^[16]的研究结果一致。丰富度指数(S)与土壤含水量和

有机质之间具有显著正相关关系($P<0.05$),主要是因为在水分和有机质含量高的土壤因子中,利于植物生长,土质疏松,土壤的营养物质利于植物有效吸收利用,从而增加物种多样性^[17];优势度指数(D)与土壤全氮具有显著负相关关系($P<0.05$);土壤 pH 值、速效钾和有效磷对物种丰富度指数(S)的影响不明显;均匀度指数(E)、香农-威纳指数(H)与 6 个土壤因子之间均没有达到显著水平。

CCA 排序能够将物种数据与环境矩阵相结合,能够看出群落环境之间的关系,有利于对排序轴生态意义的解释^[18]。红蓼、头状穗莎草、长芒稗、糠稷、醴肠的分布受土壤含水量的影响较大;青蒿、酸枣、毛白杨等的分布主要受全氮含量的影响,在全氮含量较高的区域分布较多;荻草和反枝苋受速效钾含量影响较大;而狗牙根、苍耳、芦苇、狗尾草、春蓼、绿豆等物种广泛分布于样地中,受土壤因子的影响较小。

总体来看,黄河中下游过渡区河岸带物种多样性的变化是自然和人为因素共同干扰影响的结果。不同土壤环境因子对物种多样性的作用方式和强度不同,土壤营养结构、水质环境等对物种产生直接或

间接影响,进而使物种多样性发生变化。近年来滩区耕作、养殖、生活垃圾等对黄河中下游过渡区植物群落分布格局产生一定的影响。应建立完善的植物群落监测体系,防止河岸带水土流失,提高水土保持的能力,从而更好地发挥黄河湿地生态系统的作用。

4 结 论

(1)黄河中下游过渡区河岸有机质、速效钾及有效磷均属于中等变异程度,土壤含水量、全氮变异系数为强变异性,土壤养分空间分布总体呈现中度不均匀的特征。

(2)黄河中下游过渡区河岸植物优势度指数(D)与土壤全氮具有显著负相关关系($P<0.05$);土壤 pH 值、速效钾和有效磷对物种丰富度指数(S)的影响不明显;均匀度指数(E)、香农-威纳指数(H)与 6 个土壤因子之间均没有达到显著水平。

(3)土壤含水量、速效钾及全氮含量是影响植物分布的主要因子,不同植物对土壤条件的需求存在差异,物种均有自身的分布范围,能够直观反映出植被与环境之间的关系分布。

参考文献:

[1] 宁盼,侯晓巍,胡云云,等. 青海省大果圆柏群落物种多样性与土壤因子的关系[J]. 西北植物学报, 2021, 41(11): 1924-1931.
NING P, HOU X W, HU Y Y, *et al.* Relationship between species diversity of *Juniperus tibetica* community and soil factors in Qinghai Province[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(11): 1924-1931.

[2] 刘冰,向晓媚,谭璐,等. 湖南省德夯峡谷生境种子植物功能性状多样性[J]. 西北植物学报, 2022, 42(9): 1591-1599.
LIU B, XIANG X M, TAN L, *et al.* Diversity of functional traits of seed plants in dehang canyon, Hu'nan Province[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(9): 1591-1599.

[3] 梁少民,罗晓洁,孟祥宇,等. 河南省沿黄湿地草本植物群落多样性特征分析[J]. 人民珠江, 2018, 39(8): 9-13.
LIANG S M, LUO X J, MENG X Y, *et al.* Characteristics of herbaceous plant community diversity along the Yellow River wetland of He'nan[J]. *Pearl River*, 2018, 39(8): 9-13.

[4] 赫晓慧,郑东东,郭恒亮,等. 郑州黄河湿地自然保护区植物

物种多样性对人类活动的响应[J]. 湿地科学, 2014, 12(4): 459-463.

HE X H, ZHENG D D, GUO H L, *et al.* The vegetation species diversity and its response to the human activities in Zhengzhou Yellow River wetland reserve[J]. *Wetland Science*, 2014, 12(4): 459-463.

[5] 赵清贺,刘倩,马丽娇,等. 黄河中下游典型河岸带土壤性质空间变异及其对环境的响应[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3795-3802.
ZHAO Q H, LIU Q, MA L J, *et al.* Spatial variation in riparian soil properties and its response to environmental factors in typical reach of the middle and lower reaches of the Yellow River[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3795-3802.

[6] LIU Q, YANG Z F, CUI B S. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961—2006 in Yellow River Basin, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 361(3/4): 330-338.

[7] 黄河水利委员会黄河志总编辑室. 黄河流域综述[M]. 郑州: 河南人民出版社, 1998.

[8] SCHNITZLER A, HALE B W, ALSUM E M. Examining native and exotic species diversity in European riparian forests [J]. *Biological Conservation*, 2007, 138(1/2): 146-156.

[9] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
FANG J Y, WANG X P, SHEN Z H, *et al.* Methods and protocols for plant community inventory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 533-548.

[10] PUTMAN R J, WRATTEN S D. Species diversity[M]// Home. Principles of ecology. Dordrecht: Springer, 1984: 320-337.

[11] PIANKA E R. Latitudinal gradients in species diversity: A review of concepts[J]. *The American Naturalist*, 1966, 100(910): 33-46.

[12] GLENN-LEWIN D C. Species diversity in North American temperate forests[J]. *Vegetatio*, 1977, 33(2): 153-162.

[13] 吴彦, 刘庆, 何海, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性变化[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1301-1306.
WU Y, LIU Q, HE H, *et al.* Dynamics of species diversity in artificial restoration process of subalpine coniferous forest [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1301-1306.

[14] GAO J F, ZHANG Y X. Distributional patterns of species diversity of main plant communities along altitudinal gradient in secondary forest region, Guandi Mountain, China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2006, 17(2): 111-115.

[15] 安树青, 王峥峰, 朱学雷, 等. 土壤因子对次生森林群落物种多样性的影响[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 143-150.
AN S Q, WANG Z F, ZHU X L, *et al.* Effects of soil factors on species diversity in secondary forest communities[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1997, 15(2): 143-150.

[16] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 667-673.
BAI Y F, LI L H, WANG Q B, *et al.* Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 667-673.

[17] APONTE C, KAZAKIS G, GHOSN D, *et al.* Characteristics of the soil seed bank in Mediterranean temporary ponds and its role in ecosystem dynamics[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2010, 18(3): 243-253.

[18] 邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 199-206.
QIU Y, ZHANG J T. The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 199-206.