

DOI: 10.11913/PSJ. 2095-0837. 23142

黄明忍, 苏晓, 郭晟乾, 田祥宇, 刘凤琴, 邵毅贞, 袁志良, 陈云, 李海霞. 河南黄河中游、下游湿地优势草本植物生态位与种间联结性研究 [J]. 植物科学学报, 2024, 42 (2) : 181~190

Huang MR, Su X, Guo SQ, Tian XY, Liu FQ, Shao YZ, Yuan ZL, Chen Y, Li HX. Niche and interspecific linkage of dominant herbaceous plants in the middle and lower reaches of the Yellow River wetlands in Henan [J]. Plant Science Journal, 2024, 42 (2) : 181~190

河南黄河中游、下游湿地优势草本植物生态位与种间联结性研究

黄明忍, 苏晓, 郭晟乾, 田祥宇, 刘凤琴, 邵毅贞, 袁志良, 陈云, 李海霞*

(河南农业大学生命科学学院, 郑州 450046)

摘要: 本研究以河南黄河中游及下游湿地为研究区, 对区内 19 种优势草本植物的生态位与种间联结性进行分析, 以期对黄河中游、下游湿地的生态恢复和科学治理提供依据。结果显示, 研究区共调查到 116 种草本植物, 其中 19 种优势草本植物种间生态位差异较大。黄河中游、下游湿地总体联结性呈显著正联结; 黄河中游和下游 AC 值 ≥ 0.4 的均为 2 对, 优势种间联结性较弱, 物种独立性较强。研究结果表明, 黄河湿地植物群落总体呈现正向演替, 但这种演替不稳定, 还处于初级阶段。在生态修复过程中可以优先考虑具有较高生态位宽度且适应性强的植物, 如芦苇 (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、香附子 (*Cyperus rotundus* L.) 作为先锋植物以加快演替进程。

关键词: 黄河中、下游湿地; 重要值; 生态位; 种对; 种间联结性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837 (2024) 02-0181-10

Niche and interspecific linkage of dominant herbaceous plants in the middle and lower reaches of the Yellow River wetlands in Henan

Huang Mingren, Su Xiao, Guo Shengqian, Tian Xiangyu, Liu Fengqin, Shao Yizhen, Yuan Zhiliang, Chen Yun, Li Haixia*

(College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: This study focused on the middle and lower reaches of the Yellow River wetlands in Henan Province, analyzing the ecological niche and interspecific associations among 19 dominant herbaceous plant species in the area to provide a basis for the ecological restoration and scientific management of these wetlands. Results showed that a total of 116 herbaceous plant species were surveyed in the area, with significant differences in ecological niches observed among the 19 dominant herbaceous plant species. Overall, there was a significant positive correlation in interspecific associations in the wetlands, identifying two pairs of species that exhibited AC values ≥ 0.4 in both the middle and lower reaches. The interspecific associations among dominant species were weak, indicating strong species independence. These findings suggest that the wetland plant communities in the Yellow River region are undergoing positive succession, but the process is unstable and still in the early stages. Regarding ecological restoration, it is recommended to prioritize pioneer plants with high ecological niche breadth and strong adaptability, such as *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex

收稿日期: 2023-05-17, 接受日期: 2023-09-20。

基金项目: 河南省引进国外智力专项 (HNGD2023018)。

作者简介: 黄明忍 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向植物生态 (E-mail: 2137789709@qq.com)。

*通信作者 (Author for correspondence. E-mail: 527801231@qq.com)。

Steud. and *Cyperus rotundus* L., to accelerate the succession process.

Key words: Wetlands in the middle and lower reaches of the Yellow River; Importance values; Ecological niches; Species parir; Interspecific linkage

黄河流域河南段具有丰富的植物和动物资源，是生物联通和遗传信息传输的生态廊道^[1]。然而，受自然灾害、气候变暖以及人类对湿地的高强度开发利用等的影响，黄河湿地生态安全面临着严峻考验。河南黄河流域近年来一直备受关注，尤其是在生态环境^[2]、土地资源利用等方面，基于此，本文对黄河中游、下游湿地优势草本植物的生态位与种间连接性进行研究，以期对河南黄河中游、下游湿地的生态保护与恢复提供理论依据。

植物群落内存在复杂的关系，如竞争和促进等。研究植物的生态位和种间关系，不仅有助于了解植物对环境的适应能力和量化评价植物对资源的利用能力，还有利于认识植物的群落特征、结构以及植物与环境之间的关系，认识群落在发育过程中种群之间的关系以及优势种地位的功能^[3, 4]。植物的生态位与种间关系有着极为紧密的联系：种间正联结表明植物对资源利用的相似性与重叠性，物种间相互依存；种间负联结表明植物对资源利用的差异性，物种间相互排斥^[5, 6]。研究表明，植物种群的生态位与种间联结相辅相成，可以共同体现植物群落的发展以及演替趋势，对区域植物修复也具极大的指示作用^[7]。

黄河湿地资源在我国有着极其重要的作用，对生物多样性的维护、湿地生态系统多样性的保护等方面具有重要作用^[8]。前人对黄河流域生态旅游^[9-11]、生态保护^[1, 12, 13]等方面已有比较深入的研究，对植物群落生态位的研究主要集中在黄河三角洲、郑州等地^[14-16]，对植物种间联结性的研究主要集中在郑州、山西等地^[17, 18]，但将河南黄河湿地植物种群生态位和种间联结性结合的报道相对较少。本研究以典型的黄河中、下游湿地为研究区域，通过系统抽样法布设样地，对湿地进行系统的草本植物群落调查，利用生态位宽度、生态位重叠值、种间联结系数、 χ^2 检验等方法对 19 种优势草本植物共有种的生态位与种间联结性进行分析，探究河南黄河中、下游湿地优势草本植物共有种对资源的利用能力和种间关系，以期筛选出适应性较强的草本植物，用于恢复植被和调整种间关系，并为河南黄河湿地土壤恢复和生态修复提供科学

依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄河横贯河南东西部，总长约 711 km，流域面积 3.62 万 km²，占河南省总面积的 21.68%，属于温带季风性气候，年平均气温为 14.2 ℃，年均降水量 614.2 mm^[19]。以荥阳（桃花峪）为黄河中、下游分界点，研究区上至河南西部灵宝市，下至东北部范县（34°52'~35°87'N, 110°87'~115°50'E），地势总体呈西低东高。

1.2 样地设置与调查

于 2022 年 8 月份开展植被调查。结合黄河湿地的具体情况，选取典型的生态湿地进行系统的植物群落调查，调查区域地处偏僻、人为干扰少。本研究在河南省内黄河流域共选取 6 个研究区（表 1），每个研究区设置 3 个 100 m×100 m 的大样方，每个大样方又分成 100 个 10 m×10 m 的小样方。共设置 18 个大样方，1800 个小样方。调查小样方内的植物物种，记录每个物种的名称、多度、盖度等，并利用 GPS 仪记录每个大样方的坐标（表 1）。

1.3 数据分析

1.3.1 重要值

重要值 (IV) 表示物种的优势程度^[20, 21]。本文中， $IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3 \times 100\%$

1.3.2 生态位宽度 (B_i) 和生态位重叠值 (O_{ik})

采用 Levins 方法计算物种的生态位宽度^[22]，采用 Pianka 方法计算物种的生态位重叠值^[23]。公式如下：

$$B_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^r (\ln p_{ij})^2} \quad (1)$$

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r p_{ij} p_{kj} \left/ \sqrt{\left(\sum_{j=1}^r p_{ij} \right)^2 \left(\sum_{j=1}^r p_{kj} \right)^2} \right. \quad (2)$$

式中， B_i 为物种 i 的生态位宽度， O_{ik} 为物种 i 和物

表1 研究区地理位置
Table 1 Geographical location of the study area

黄河区域 Yellow River area	样地 Sample plot	样地编号 Sample plot No.	地理位置 Geographical location
中游	灵宝	1	34°37'09"N, 110°48'28"E
		2	34°36'45"N, 110°42'45"E
		3	34°35'05"N, 110°40'15"E
	孟津	1	34°49'34"N, 112°46'52"E
		2	34°49'13"N, 112°46'06"E
		3	34°49'36"N, 112°42'31"E
	荥阳(桃花峪)	1	34°53'46"N, 113°50'46"E
		2	34°53'26"N, 113°53'25"E
		3	34°55'50"N, 113°58'29"E
	封丘	1	34°54'60"N, 114°20'59"E
		2	34°55'16"N, 114°25'01"E
		3	34°54'51"N, 114°19'22"E
下游	范县	1	35°43'50"N, 115°29'54"E
		2	35°37'59"N, 115°24'25"E
		3	35°44'56"N, 115°34'01"E
	民权	1	34°40'38"N, 115°13'13"E
		2	34°40'03"N, 115°14'56"E
		3	34°39'39"N, 115°20'37"E

种 k 的生态位重叠值, 其中的 p_{ij} 和 p_{kj} 分别为物种 i 和物种 k 在处理 j 上的重要值。

1.3.3 种间联结系数 (Association coefficient, AC) [24]

$$AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(b + d)} \quad (ad \geq bc) \quad (3)$$

$$AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)} \quad (bc > ad, d \geq a) \quad (4)$$

$$AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(d + c)} \quad (bc > ad, d < a) \quad (5)$$

式中, a 是两个物种都出现的样方, b 、 c 分别是仅出现物种 1、物种 2 的样方数, d 是两个物种都不出现的样方数。 AC 值进一步检验 χ^2 检验的结果, AC 值域在 $[-1, 1]$, 越趋近于 1, 正联结性越强; 越趋近于 -1, 负联结性越强; $AC=0$ 时, 种间无联结。

1.3.4 卡方检验 (χ^2)

根据物种在各样方内存在与否, 将物种样地矩阵转化为 0、1 形式的二元数据矩阵, 用于 χ^2 检验。由于 χ^2 分布属于连续型分布, 而取样为非连续性取样, 数据分析时自由度为 1。因此, 采用 Yates 的连续校正公式计算 χ^2 值 [25]:

$$\chi^2 = \frac{N(|ab - bc| - 0.5N)^2}{(a + b) + (c + d)(a + c)(b + d)} \quad (6)$$

式中, N 为样方总数, 当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 种间联结不显著 ($P > 0.05$), 此时认为种间基本独立; $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时, 认为种间联结性显著 ($0.01 < P < 0.05$); $\chi^2 > 6.635$ 时, 认为种间联结性极显著 ($P < 0.01$)。当 $ab > bc$ 时, 种间正联结; 反之, 当 $ab < bc$ 时, 种间负联结 [26]。

1.3.5 总体联结性

使用方差比率法 (VR) 来测定群落的总体联结性, 并计算统计量 W 来检验总体关联的显著性水平 [27]。公式如下:

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\frac{s}{\sum_{i=1}^s p_i(1 - p_i)}} \quad (7)$$

$$W = VR \times N \quad (8)$$

式中, p_i 为物种 i 的频率, N 为总样方数, S 为总物种数, T_j 为样方 j 内出现的物种总数, t 为样方中物种的平均数。当 $VR > 1$ 时, 总体物种为正联结, 当 $VR < 1$ 时, 总体物种为负联结。此外, 对 W 进行 χ^2 显著检验, 当 $\chi^2_{0.975}(N) < W < \chi^2_{0.025}(N)$ 时,

总体物种表现出独立不相关，反之，总体联结性显著相关。

重要值计算采用 Excel 2016 软件，其余数据分析与制图均采用 R 语言。生态位宽度、生态位重叠值和种间联结分析分别采用 R 语言 spaa 程序包^[28]，其中生态位宽度和生态位重叠值分别采用 Levins 和 Pianka 算法，制图采用 ggcorplot 程序包^[29]。物种凭证标本存放于河南农业大学植物标本馆。

2 结果与分析

2.1 黄河中、下游优势草本植物共有种的重要值与生态位宽度

调查发现，黄河中游草本植物共计 35 科 86 属 116 种，下游草本植物为 34 科 94 属 118 种。黄河中游分布最多的科分别为禾本科（24 种）、菊科（24 种）、豆科（7 种），下游分布最多的科分别为禾本科（25 种）、菊科（25 种）、莎草科（8 种），由此可见，黄河中游与下游的植物种类数量相差无几。黄河中游重要值大于 1.00% 的草本植物共计 19 种，分别为白茅 (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv.)、稗 (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.)、苍耳 (*Xanthium strumarium* L.)、朝阳隐子草 (*Cleistogenes hackelii* (Honda) Honda)、鹅绒藤 (*Cynanchum chinense* R. Br.)、飞蓬 (*Erigeron acris* L.)、狗尾草 (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)、假苇拂子茅 (*Calamagrostis pseudophragmites* (Hall. F.) Koel.)、芦苇 (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、马唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.)、双穗雀稗 (*Paspalum distichum* L.)、碎米莎草 (*Cyperus iria* L.)、香附子 (*Cyperus rotundus* L.)、香蒲 (*Typha orientalis* L.)、小蓬草 (*Erigeron canadensis* L.)、燕麦 (*Avena sativa* L.)、野大豆 (*Glycine soja* Siebold & Zucc.)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、钻叶紫菀 (*Sympyotrichum subulatum* (Michx.) G. L. Nesom)，这 19 种植物为优势种。经统计，河南黄河中游这 19 个优势草本植物共计约 1 877 891 株，重要值占河南黄河中游总物种数的 83.47%，生态位宽度在 11.43~188.03，均值为 81.56，其中朝阳隐子草、芦苇、香附子、钻叶紫菀和白茅的重要

值与生态位宽度较高。河南黄河下游这 19 个优势草本植物共计约 691 919 株，重要值占河南黄河下游总物种数 51.59%，生态位宽度在 7.47~190.57，均值为 48.43，其中小蓬草、朝阳隐子草、芦苇、香附子和稗的重要值与生态位宽度较高（表 2）。

2.2 黄河中游和下游优势草本植物共有种的生态位重叠

河南黄河中游 19 种优势草本植物 171 个种对生态位重叠值的计算结果显示，生态位重叠值在 0.00~1.00，平均值为 0.08，其中有 169 对处于 0.00~0.40，占 98.83%；2 对处于 0.40~0.80，分别是芦苇-香蒲（0.64）和朝阳隐子草-燕麦（0.43）（图 1：A）。

在河南黄河下游的共有种中，生态位重叠值在 0.00~1.00，平均值为 0.06，其中有 169 对处于 0.00~0.40，占 98.83%；2 对处于 0.40~0.80，分别是飞蓬-钻叶紫菀（0.45）和狗尾草-马唐（0.40）（图 1：B）。

2.3 黄河中游和下游优势草本植物共有种的种间联结性

黄河中游的方差比率 $VR = 1.25$ ，下游的方差比率 $VR = 1.16$ ，均大于 1（表 3），表明黄河中游和下游的草本植物种间总体关联性均为正关联。计算检验统计量检验 VR 的显著性， W 分别为 1 123.66 和 1 040.63，不在置信区间（818.756, 985.032）内，说明黄河中、下游的草本植物总体表现为显著正关联。

在黄河中游湿地，19 种优势草本植物形成的 171 对种对中，联结系数 $AC < -0.79$ 、 $-0.79 \leq AC < -0.57$ 、 $-0.57 \leq AC < -0.36$ 、 $-0.36 \leq AC < -0.14$ 、 $-0.14 \leq AC < 0.07$ 、 $0.07 \leq AC < 0.29$ 、 $0.29 \leq AC < 0.50$ 、 $AC \geq 0.50$ 的种对分别有 22、12、23、17、28、49、12 和 8 对，分别占总对数的 12.87%、7.02%、13.45%、9.94%、16.37%、28.65%、7.02% 和 4.68%（图 2：A，图 3：A）。其中，有 8 对种对 AC 值为 -1，表明负联结程度高。总体来看，正关联种对数有 83 对，占比 48.54%，其中极显著正相关有 14 对，显著正相关有 21 对。负关联种对数有 88 对，占比 51.46%，其中极显著负相关有 16 对，显著负相关有 19 对。正负关联比为 0.94。

表2 黄河中游、下游共有草本植物重要值和生态位宽度

Table 2 Importance values and niche widths of herbaceous plants in the middle and lower reaches of the Yellow River

编号 Code	物种 Species	多度 Abundance		重要值 IV		生态位宽度 B_i	
		中游 Midstream	下游 Downstream	中游 Midstream	下游 Downstream	中游 Midstream	下游 Downstream
						中游 Midstream	下游 Downstream
S1	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.	88 832	1 259	4.87	0.16	76.96	8.66
S2	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	13 999	12 260	1.72	2.66	46.62	84.15
S3	苍耳 <i>Xanthium strumarium</i> L.	4 013	351	1.38	0.58	74.62	47.88
S4	朝阳隐子草 <i>Cleistogenes hakeleii</i> (Honda) Honda	795 885	276 976	18.54	10.08	143.26	56.07
S5	鹅绒藤 <i>Cynanchum chinense</i> R. Br.	5 494	102	1.61	0.16	76.26	15.91
S6	飞蓬 <i>Erigeron acris</i> L.	10 999	1 173	2.70	0.59	119.35	25.96
S7	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	27 493	35 444	1.48	3.35	11.43	42.82
S8	假苇拂子茅 <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Hall. F.) Koel.	139 100	4 389	5.39	0.76	63.44	37.37
S9	芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	181 626	109 796	11.61	9.42	188.03	141.80
S10	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	50 840	23 498	1.35	1.66	19.22	23.81
S11	双穗雀稗 <i>Paspalum distichum</i> L.	27 915	1 824	1.85	0.25	49.28	11.84
S12	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i> L.	16 107	368	1.78	0.14	36.00	11.13
S13	香附子 <i>Cyperus rotundus</i> L.	285 365	60 347	9.44	4.78	113.65	119.69
S14	香蒲 <i>Typha orientalis</i> L.	77 423	5 269	4.80	0.93	105.54	19.63
S15	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i> L.	9 176	134 229	1.84	12.12	70.17	190.57
S16	燕麦 <i>Avena sativa</i> L.	15 952	331	2.08	0.07	169.17	7.82
S17	野大豆 <i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	42 209	1 086	3.59	0.60	27.59	7.47
S18	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit.	8 444	245	1.75	0.19	54.44	15.16
S19	钻叶紫菀 <i>Sympphyotrichum subulatum</i> (Michx.) G. L. Nesom	77 019	22 972	5.69	3.09	104.55	52.37

在黄河下游, 19种优势草本植物形成的171对种对中, 联结系数 $AC < -0.76$ 、 $-0.76 \leq AC < -0.53$ 、 $-0.53 \leq AC < -0.29$ 、 $-0.29 \leq AC < -0.05$ 、 $-0.05 \leq AC < 0.18$ 、 $0.18 \leq AC < 0.42$ 、 $0.42 \leq AC < 0.66$ 、 $AC \geq 0.66$ 的种分别有3、3、9、37、44、19、26、30对, 分别占总对数的1.75%、1.75%、5.26%、21.64%、25.73%、11.11%、15.20%和17.54% (图2: B, 图3: B)。其中有22对 AC 值为1, 表明正联结程度高。总体来看, 正关联种对数有89对, 占比52.05%。

其中极显著正相关有6对, 显著正相关有15对。负关联种对数有82对, 占比47.95%, 其中极显著负相关有13对, 显著负相关有17对。正负关联比为1.09。

3 讨论

3.1 优势草本植物的生态位特征

重要值反映物种在群落中的优势程度, 生态位宽度衡量物种在群落中所占据的位置^[30]。本研究结果发现, 黄河中游湿地物种的生态位宽度均值

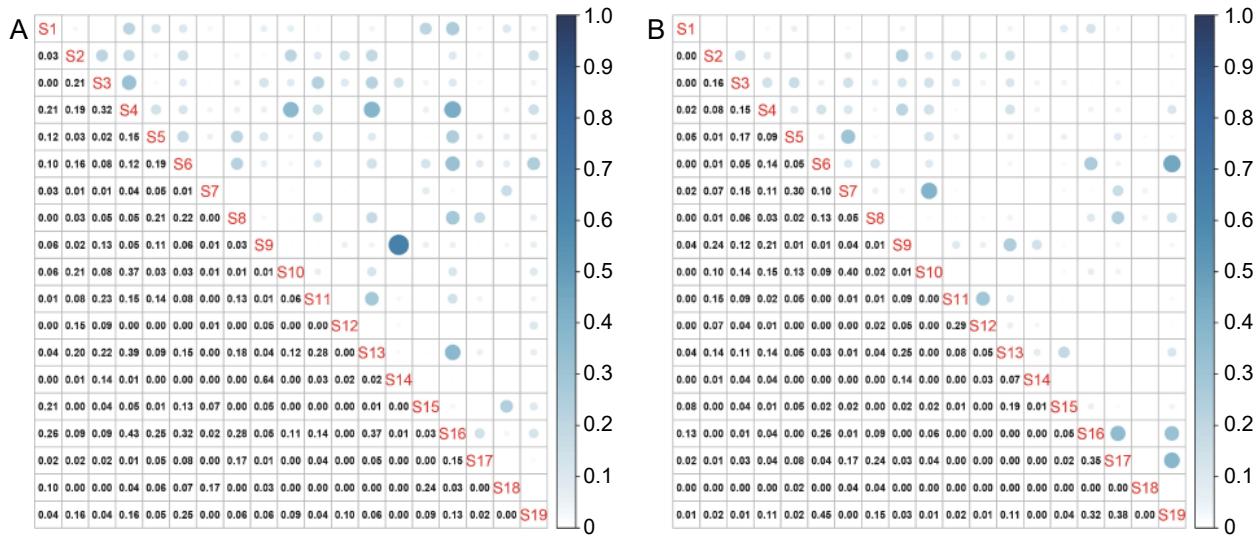
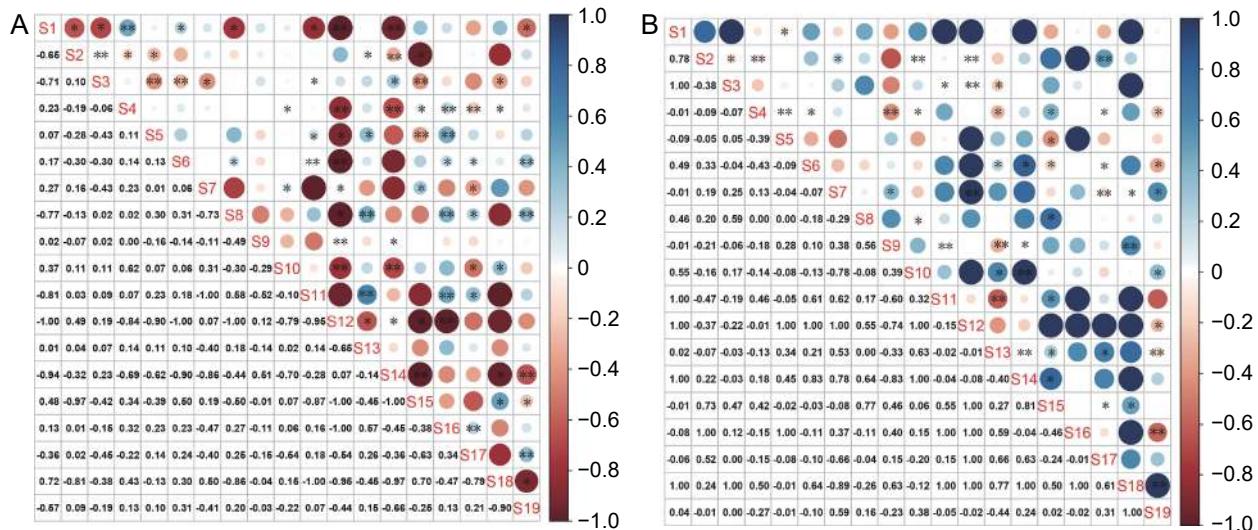


图 1 黄河中游 (A)、下游 (B) 生态位重叠指数
Fig. 1 Ecological niche overlap index (Q_{ik}) of the Yellow River middle (A) and lower reaches (B)

表 3 优势草本植物的总体关联性
Table 3 Overall correlation of dominant herbs

样地类型 Plot type	频率的 方差 δ_i^2	物种数的 方差 S_t^2	方差比率 VR	检验统计量 W	卡方 ($\chi^2_{0.975}(N), \chi^2_{0.025}(N)$)	测度结果 Measure result
中游	3.25	4.06	1.25	1 123.66	(818.756, 985.032)	显著正关联
下游	2.23	2.57	1.16	1 040.63	(818.756, 985.032)	显著正关联



*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

图 2 黄河中游 (A)、下游 (B) 共有物种间联结图
Fig. 2 Interconnection diagram of shared species in the middle (A) and lower reaches (B) of the Yellow River

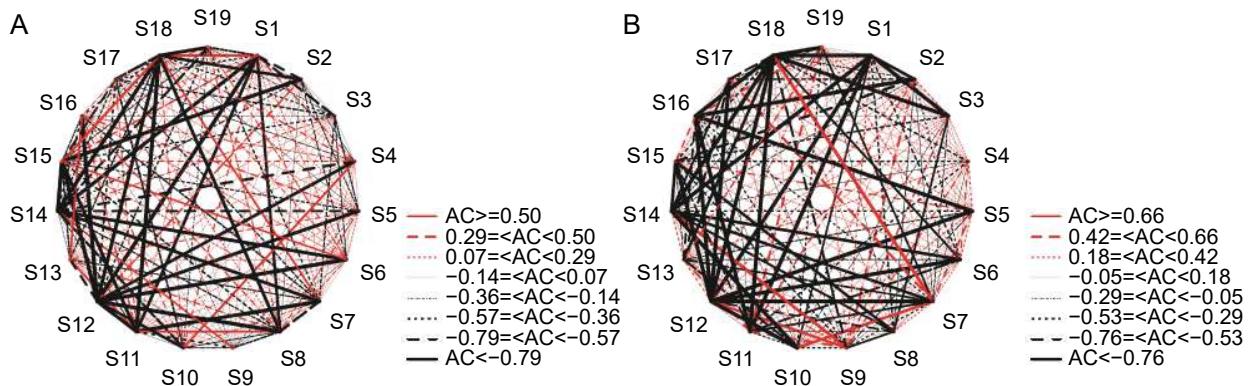


图3 黄河中游(A)、下游(B)共有种网络联结图

Fig. 3 Network connection diagram of shared species in the middle (A) and lower reaches (B) of the Yellow River

明显大于下游湿地物种，可能是因为下游湿地 19 种物种的总体优势度相对较低。从总体趋势来看，优势植物重要值越大，其 B_i 值越大，二者之间普遍呈正相关。但部分优势种的重要值与其生态位宽度也呈负相关，如黄河中游飞蓬和燕麦的重要值较小（分别为 2.70%、2.08%），生态位宽度却较大（分别为 119.35、169.17）；假苇拂子茅和白茅其重要值较大（分别为 5.39%、4.87%），生态位宽度却较小（分别为 63.44、76.96）。由此可见，从优势植物的重要值与生态位宽度之间的关系来看，河南黄河中游、下游湿地优势草本植物的重要值是影响其生态位宽度的主要因素，但并非唯一因素，这与前人的研究结果一致^[30-32]。

由于自然环境复杂多变，生活在相同时空的两个及以上物种因具有相似生态位而发生共享或争夺相同资源的现象叫做生态位重叠，可用其作为物种间相互作用的参考指标^[33]。一般具有较大生态位宽度的物种，其构成的种对也具有较高的生态位重叠值^[34]。但本研究发现，具有较大生态位宽度的优势物种其生态位重叠值却较小，如黄河下游湿地的小蓬草和芦苇生态位宽度较大，生态位重叠值（0.02）却较小，可见生态位宽度和生态位重叠值之间并无固定的变化规律，这与陈艳瑞和尹林克^[35]的研究结果一致。调查发现，黄河下游地区的封丘和范县芦苇较多，而小蓬草较少；民权芦苇较少而小蓬草较多。这可能是因为小蓬草和芦苇虽然生长于黄河下游湿地，但两者之间存在一定的空间距离，从而导致具有较大生态位宽度的两种植物却具有较小的生态位重叠值。

3.2 优势草本植物的种间联结特征

种间联结性及相关性能够反映物种间的群落动态及其相互影响，可用来分析植物群落的演替阶段及其动态过程^[4, 36, 37]。一般来说，处于早期演替阶段的群落，物种间的关联程度较低，正负关联比值偏小，群落处于不稳定阶段。随着群落的演替更新，种间关联也逐渐接近于正关联，群落正负关联比值变大，群落稳定性也逐渐增强，趋于稳定共存^[17, 38]。本研究结果显示，黄河中游和下游湿地的 19 种优势草本植物总体呈显著正联结，表明黄河湿地不受或较少受人为的干扰，植物群落总体正向演替，具有较好的生态资源。但 AC 值和 χ^2 检验结果显示植物群落种对间以负联结为主，表明种对之间对生境和资源的需求不同，生态位分化明显，与宋红艳等^[29]的结论相似。这可能与近年来出现的极端天气或黄河水质受到污染进而影响到湿地土壤，导致河南段黄河湿地物种生存环境恶劣有关。据此推测，河南段黄河湿地植物群落演替总体呈现进展演替，但仍处于演替初期阶段。

4 结论

综上所述，河南黄河中游、下游湿地优势草本植物群落优势物种间的生态位差异较大，总体关联性呈显著正联结，但种对间却以负联结为主，说明黄河湿地植物群落总体虽呈现正向演替，但这种演替不稳定，还处于初级阶段。因此需要加强对河南黄河中游、下游的生态修复工作，增强群落稳定性。可对具有较高生态位宽度且生态适应性强的本地物种加以保护，以缩短演替进程，

促进植被恢复。在生态修复过程中可以优先考虑具有较高生态位宽度且适应性强的芦苇、香附子等作为先锋植物，以加快演替进程。由于本研究涉及地理跨度相对较小，研究结果只能反映河南段黄河湿地局部的植被生态位和种间联结性。今后应该关注更大尺度、甚至整个流域，从不同的生境角度对植物群落进行全面分析。

参考文献：

- [1] 李金博, 史明艳. 黄河流域河南段湿地生物多样性保护及对策[J]. 洛阳师范学院学报, 2023, 42(3): 8-10.
Li JB, Shi MY. Wetland biodiversity conservation in Henan province of the Yellow River Basin and counter measures[J]. *Journal of Luoyang Normal University*, 2023, 42(3): 8-10.
- [2] 曹源. 基于黄河流域生态保护的河南高质量发展研究[J]. 合作经济与科技, 2022(14): 19-21.
- [3] 马丰丰, 潘高, 李锡泉, 韩云娟. 桂西南喀斯特山地木本植物群落种间关系及CCA排序[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(6): 32-44.
Ma FF, Pan G, Li XQ, Han YJ. Interspecific relationship and canonical correspondence analysis within woody plant communities in the Karst mountains of Southwest Guangxi, southern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, 39(6): 32-44.
- [4] 张明霞, 王得祥, 康冰, 张岗岗, 刘璞, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2015, 51(1): 12-21.
Zhang MX, Wang DX, Kang B, Zhang GG, Liu P, et al. Interspecific associations of dominant plant populations in secondary forest of *Pinus armandii* in Qinling Mountains[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(1): 12-21.
- [5] Hopkins B, Greig SP. Quantitative plant ecology[J]. *Ecology*, 1966, 47(1): 166.
- [6] Brooker RW. Plant-plant interactions and environmental change[J]. *New Phytol*, 2006, 171(2): 271-284.
- [7] Phillips OL, Vargas PN, Monteagudo AL, Cruz AP, Zans MEC, et al. Habitat association among Amazonian tree species: a landscape-scale approach[J]. *J Ecol*, 2003, 91(5): 757-775.
- [8] 张璐. 郑州黄河湿地保护现状探讨[J]. 绿色科技, 2020(8): 44-45.
Zhang L. Discussion on the status quo of Yellow River wetland protection in Zhengzhou[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2020(8): 44-45.
- [9] 华萍, 王帅, 焦娅桐, 王迎涛. 黄河流域(河南段)生态旅游高质量发展研究[J]. 合作经济与科技, 2023(3): 33-35.
- [10] 王锋. 河南黄河文化旅游精品工程实施现状与建设策略研究[J]. 洛阳理工学院学报(社会科学版), 2022, 37(4): 54-58.
Wang F. On the implementation status and construction strategy of Henan Yellow River cultural tourism boutique projects[J]. *Journal of Luoyang Institute of Science and Technology (Social Science)*, 2022, 37(4): 54-58.
- [11] 王书丽. 生态保护背景下河南黄河国家文化公园的建设路径研究[J]. 市场周刊, 2022, 35(6): 56-59.
Wang SL. Study on the construction path of Henan Yellow River National Cultural Park under the background of ecological protection[J]. *Market Weekly*, 2022, 35(6): 56-59.
- [12] 刘晓阳, 赵一帆, 李运海. 河南黄河流域生态保护和高质量发展回眸[J]. 人生与伴侣, 2022(20): 24-26.
- [13] 李双权, 邱士可, 杜军, 曾麒洁, 马玉凤. 河南黄河湿地自然保护区生态状况变化研究[J]. 河南科学, 2022, 40(3): 498-503.
Li SQ, Qiu SK, Du J, Zeng QJ, Ma YF. Study on the change of ecological status in wetland nature reserve along the Yellow River in Henan[J]. *Henan Science*, 2022, 40(3): 498-503.
- [14] 李成波, 赵先华. 黄河三角洲湿地主要植物种群的生态位特征[J]. 科技创新导报, 2011(25): 154-155, 197.
- [15] 胡乔木, 杨舒茜, 李伟, 崔保山. 土壤养分梯度下黄河三角洲湿地植物的生态位[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2009, 45(1): 75-79.
Hu QM, Yang SQ, Li W, Cui BS. Niches of wetland plant species in the Yellow River Delta under soil nutrient gradients[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2009, 45(1): 75-79.
- [16] 王文建, 常晨豪. 郑州黄河湿地不同植物群落物种多样性及生态位分析[J]. 河南林业科技, 2020, 40(3): 1-4.
Wang WJ, Chang CH. Species diversity and niche analysis of different plant communities in Zhengzhou Yellow River wetland[J]. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 2020, 40(3): 1-4.
- [17] 于飞, 王洋, 张岗岗, 马剑敏. 游荡型黄河滩涂植物群落多样性及种间联结性[J]. 生态学报, 2023, 43(6): 2429-2439.
Yu F, Wang Y, Zhang GG, Ma JM. Plant diversity and interspecific associations of different floodplains in the wandering Yellow River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(6): 2429-2439.
- [18] 李秋玲, 范庆安, 马晓勇, 高昆, 张峰. 山西黄河湿地植被优势种群种间关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1516-1520.
Li QL, Fan QA, Ma XY, Gao K, Zhang F. Interspecific rela-

- tionships among the dominants of wetland vegetation in Shanxi section of Yellow River[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(10): 1516–1520.
- [19] 赵晓东, 赵义民. 河南黄河流域湿地现状与保护管理[J]. 湿地科学与管理, 2016, 12(2): 27–29.
Zhao XD, Zhao YM. Current situation, protection and management of wetlands along the Yellow River in Henan[J]. *Wetland Science & Management*, 2016, 12(2): 27–29.
- [20] 春风, 包钢, 张卫青, 赛西雅拉图. 白音华矿区草地群落主要物种组成及空间分布[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3395–3403.
Chun F, Bao G, Zhang WQ, Sai XYLT. Composition and spatial distribution of main species in grassland community of Baiyinhua mining area, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(10): 3395–3403.
- [21] 池森, 王从军, 黎庆菊, 吴志红, 柴宗政. 喀斯特次生林幼树更新空间分布格局及种间关联性[J]. 应用生态学报, 2020, 31(12): 3989–3996.
Chi S, Wang CJ, Li QJ, Wu ZH, Chai ZZ. Spatial distribution and interspecific associations of regenerating saplings in Karst secondary forests[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(12): 3989–3996.
- [22] 向悟生, 李先琨, 苏宗明, 欧祖兰, 宁世江, 等. 元宝山冷杉群落主要树木种群生态位的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(2): 105–112.
Xiang WS, Li XK, Su ZM, Ou ZL, Ning SJ, et al. A study on the niches of main tree populations in *Abies yuanbaoshanensis* community[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2002, 20(2): 105–112.
- [23] 洪思思, 缪崇崇, 方本基, 胡仁勇, 丁炳扬. 浙江省阔叶丰花草入侵群落物种多样性、生态位及种间联结研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(5): 501–508.
Hong SS, Miao CC, Fang BJ, Hu RY, Ding BY. On species diversity, niche breadth and interspecies association in communities invaded by *Spermacoce latifolia* Zhejiang province[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2008, 26(5): 501–508.
- [24] 刘艳, 郑越月, 敖艳艳. 不同生长基质的苔藓植物优势种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 286–293.
Liu Y, Zheng YY, Ao YY. Niche and interspecific association of dominant bryophytes on different substrates[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 286–293.
- [25] Dice LR. Measures of the amount of ecologic association between species[J]. *Ecology*, 1945, 26(3): 297–302.
- [26] 胡理乐, 闫伯前, 刘琪璟, 朱教君. 南方丘陵人工林林下植物种间关系分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2019–2024.
Hu LY, Yan BQ, Liu QJ, Zhu JJ. Interspecific association between understory species in a southern highland plant-
- tion[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2019–2024.
- [27] 刘菊红, 王忠武, 韩国栋. 重度放牧对荒漠草原主要植物种间关系及群落稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9): 2595–2602.
Liu JH, Wang ZW, Han GD. Effects of heavy grazing on the interspecific relationship of main plant species and community stability in a desert steppe[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(9): 2595–2602.
- [28] 吴姣姣, 向明学, 拉多, 武俊喜. 不同放牧强度对拉萨河谷温性草原主要植物生态位及种间联结的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(3): 513–522.
Wu JJ, Xiang MX, Lha D, Wu JX. Analysis of niche and interspecific association of dominant plant species of temperate grassland under different grazing intensities in Lhasa River valley[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(3): 513–522.
- [29] 宋红艳, 孙彩丽, 柴宗政. 黔西北铅锌矿废渣场优势草本植物种群生态位及种间关系[J]. 草地学报, 2022, 30(10): 2764–2771.
Song HY, Sun CL, Chai ZZ. Niche and interspecific relationships of dominant herbaceous plant populations in the waste slag field of a lead-zinc mine in northwestern Guizhou[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(10): 2764–2771.
- [30] 张乐满, 兰波, 张东升, 刘英杰, 张丽红, 等. 三峡水库涪陵-奉节段消落带优势草本植物生态位与种间联结性研究[J]. 生态学报, 2022, 42(8): 3228–3240.
Zhang LM, Lan B, Zhang DS, Liu YJ, Zhang LH, et al. Niche and interspecific association of dominant herbaceous plants in the water-level-fluctuating zone of Fuling-Fengjie section of the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(8): 3228–3240.
- [31] 袁方, 储寅芳, 朱凤, 孙国俊, 李粉华, 等. 江苏省宜兴市茶园秋季杂草种间生态关系及群落分类[J]. 杂草科学, 2015, 33(2): 18–25.
Yuan F, Chu YF, Zhu F, Sun GJ, Li FH, et al. Ecological interspecific relationship and clustering of autumn-occurring weed communities in tea gardens of Yixing city, Jiangsu province[J]. *Weed Science*, 2015, 33(2): 18–25.
- [32] 吴霖东, 李婷婷, 傅国林, 吴初平, 余裕龙, 等. 极小种群野生植物浙江安息香的生态位和种间关系[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(4): 459–474.
Wu LD, Li TT, Fu GL, Wu CP, Yu YL, et al. Niche and interspecific relationship of the wild plant *Styrax zhejiangensis* with extremely small population[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2020, 46(4): 459–474.
- [33] 霍红, 冯起, 苏永红, 司建华, 席海洋, 鱼腾飞. 额济纳绿洲

- 植物群落种间关系和生态位研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1027-1033.
- Huo H, Feng Q, Su YH, Si JH, Xi HY, Yu TF. Interspecies relationship and niche analysis on phytocoenosis in the Ejina Oasis[J]. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(4): 1027-1033.
- [34] 陈玉凯, 杨琦, 莫燕妮, 杨小波, 李东海, 洪小江. 海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(6): 576-584.
Chen YK, Yang Q, Mo YN, Yang XB, Li DH, Hong XJ. A study on the niches of the state's key protected plants in Bawangling, Hainan Island[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38(6): 576-584.
- [35] 陈艳瑞, 尹林克. 人工防风固沙林演替中群落组成和优势种群生态位变化特征[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1126-1133.
Chen YR, Yin LK. Community composition and niche change characteristics of dominant species in the wind-breaking and sand-fixing forest, Xinjiang, China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1126-1133.
- [36] 张岗岗, 王得祥, 张明霞, 刘文桢, 郭小龙. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中种间联结性和相关性研究[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1657-1668.
Zhang GG, Wang DX, Zhang MX, Liu WZ, Guo XL. Interspecific association and correlation of main species in the succession process of pine oak forest community on the south-facing slopes in Qinling Mountain[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015, 35(8): 1657-1668.
- [37] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 刘彤. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8224-8233.
Xu MH, Liu M, Zhai DT, Liu T. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [38] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 刘万德, 金哲峰. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2013-2018.
Guo ZL, Ma YD, Zheng JP, Liu WD, Jin ZF. Biodiversity of tree species, their populations' spatial distribution pattern and interspecific association in mixed deciduous broadleaved forest in Changbai Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2013-2018.

(责任编辑: 李惠英)