

# 北京怀九河河岸带植物多样性及影响因子分析

孔庆仙, 信忠保, 夏晓平

北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

**摘要** 植物多样性是河岸带的重要生态特征,是河岸带健康与否的重要标志。为了解北京山区河岸带健康状况及其影响因素,通过布设调查样地和室内分析,探讨植物多样性特征及其影响因子。通过主成分分析和聚类分析将怀九河河岸带划分为6种类型,分别命名为自然河岸带、近自然河岸带、人工岸坡乔灌草河岸带、人工岸坡观赏性乔灌草河岸带、人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带和人工岸坡浆砌石河岸带。随海拔高度升高,河岸带植物多样性指数增大。不同类型河岸带植物多样性有所差异,人工浆砌石河岸带植物多样性指数显著低于其他类型河岸带( $n=50, P<0.05$ )。河岸带乔灌 Shannon 多样性指数和 Margalef 丰富度指数显著低于草本( $n=50, P<0.05$ ),草本植物适应环境能力强、灵活性好的特点使得植物种类多样而丰富,而乔灌容易受到人类影响使得多样性、丰富度较低。Pearson 相关性分析表明:河岸带植物 Shannon 多样性指数与岸坡类型和硬化面积比例呈显著负相关( $n=50, P<0.01$ ),与海拔高度呈显著正相关( $n=50, P<0.05$ )。

**关键词** 怀九河;河岸带;植物多样性;Shannon 多样性指数;环境因子

河岸带是陆地与水生生态系统间的过渡地带,具有地球上最多样、复杂和动态的生物物理生境<sup>[1-3]</sup>。河岸带独特的空间维度结构和实体结构相互作用,为动物提供栖息地、减少河岸侵蚀、拦截污染物质、为人类提供生物和休闲观光资源、实现陆地生态系统与水生生态系统间能量传输和信息传递<sup>[4-7]</sup>。近年来,人类耕作、污水排放、河流开发等人为活动对河流河岸带资源的过渡或不适当开发利用,使河岸带高度硬化和破碎化,破坏了生物栖息地,使得乡土物种减少,植物多样性降低,严重影响了河流河岸带功能的发挥<sup>[8-11]</sup>。山区平整地块稀缺,河岸带土壤含水量高、植物多样性高以及取水方便等优越条件使得河岸带成为人类生产生活、开垦土地的首选,这严重威胁着河流河岸带植物多样性<sup>[11-12]</sup>。

河岸带植物是河岸带生态系统的重要组成部分,对维持河岸带生态系统稳定和发挥其生态功能起着重要作用<sup>[12]</sup>。植物群落的多样性表征着植物群落结构的复杂性及河岸带的自然程度,是生物群落多样性研究的核心内容之一<sup>[13]</sup>。河岸带立地条件决定河岸带植物生长及分布,植物在生长过程中

也会对河岸带土壤特征产生影响。坡位、坡形、坡度、坡向、海拔高度等地形因子和土壤养分、水分、有机质等土壤因子是影响植物群落类型变化及其分布的关键环境因子<sup>[14-17]</sup>。

自 20 世纪 50 年代开始,城镇化、经济开发等人类活动使北京自然的水系结构发生较大变化,近年来,假期旅游、生态旅游的兴起使得河岸带成为休闲游憩的场所<sup>[18-19]</sup>。由于河流河岸带所遭受的破坏,对河岸带进行生态修复越来越受到重视,及时了解河岸带环境因子对植物多样性的影响是河岸带进行生态修复的前提和依据<sup>[20-22]</sup>。有研究发现:海拔高度和至河流距离是影响黄河中下游河岸带植物群落多样性最重要的环境因子,河岸结构纹理、生物气候和化学物质均会影响河岸植物群落<sup>[8,23]</sup>。

对北京山区河流河岸带的研究主要集中在河溪近自然评价<sup>[24-26]</sup>和生态护岸模式<sup>[27-28]</sup>,缺乏系统的河岸带调查,对植物多样性与环境间关系的研究不够深入<sup>[29-30]</sup>。本研究通过大规模的植物调查,致力于揭示北京山区河岸带植物多样性特征及其影响因子。此项研究不仅可以为北京山区河岸带植

收稿日期:2017-07-23;修回日期:2017-10-30

基金项目:北京市科技服务业专项(Z151100001115001)

作者简介:孔庆仙,硕士研究生,研究方向为河岸带生态修复,电子信箱:qingxiankong@163.com;信忠保(通信作者),副教授,研究方向为生态恢复与治理,电子信箱:xinzhongbao@126.com

引用格式:孔庆仙,信忠保,夏晓平.北京怀九河河岸带植物多样性及影响因子分析[J].科技导报,2017,35(24):57-65;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.24.007

生物多样性保护提供理论依据,对山区河流河岸带的生态修复具有指导意义,而且能够促进中国河流河岸带植物多样性的理论研究。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区域概况

怀九河(40°21'~40°30'N, 116°16'~116°21'E)是北京典型的山溪性河流,自然性、经济性和社会性均具有较高的代表性,怀九河河岸带是城镇建设和乡村旅游发展经济带,河岸带生态修复既有基础又有影响。怀九河发源于怀柔区黄花城东宫,经九渡河、四渡河,于前辛庄入怀柔水库。怀九河是常年山溪性河流,全长68.9 km,流域面积347.2 km<sup>2</sup>。本区属

于典型的大陆性季风气候,年降水量667.2 mm,冬夏温差较大,1月平均气温为-5℃,7月平均气温为25.3℃,年最高气温38℃,最低气温-18℃<sup>[18]</sup>。土壤类型主要有普通褐土、褐土、潮褐土、褐潮土及粗骨性褐土等类型。怀九河是怀柔水库重要的水源河流,河岸带植被发挥重要水环境防护功能,河岸植被主要有乔木加杨(*Populus canadensis*)、旱柳(*Salix matsudana*)、山核桃(*Carya cathayensis*)、板栗(*Castanea mollissima*)、灌木荆条(*Vitex negundo*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*),以及占据草本优势种的菊科、禾本科和豆科植物鬼针草(*Bidens pilosa*)、牛尾蒿(*Artemisia dubia*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、野大豆(*Glycine soja*)等(图1)。

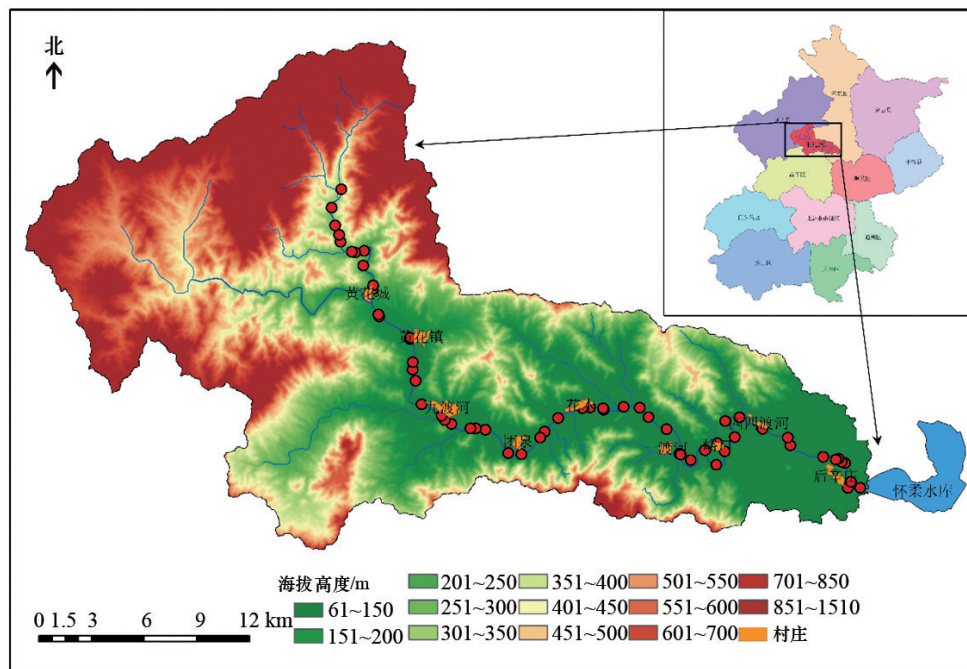


图1 北京市怀九河河岸带空间位置和流域

Fig. 1 Spatial position and basin in Beijing Huaijiu River riparian

### 1.2 调查方法

沿北京市怀柔区怀九河典型河岸带设置长80 m,宽度视河岸带宽度(5.81±3.55)m而定的样地,于2016年8—9月共调查样地50个。将每一样地划分为8个长10 m的连续样方,在长10 m的样方内沿对角线方向设置3个1 m×1 m的小样方代表10 m样方内草本植物种类及数量,共调查草本样方1200个。记录样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、坡长、岸坡类型(根据人类干扰程度赋值,岸坡改造程度越大得分越高)等立地因子,记录河岸带砾石盖度、硬化面积比例和现有修复措施(砾石盖度和硬化面积比例是指样地内砾石覆盖面积和硬化面积与样地面积的比值)。记录样地内所有乔灌木的物种名称、物种数量、胸径(DBH≥1.0 cm)、高度、郁闭度和从

幅,记录1 m×1 m样地内草本的物种名称、物种数量、总体盖度和平均高度。根据《北京植物志》<sup>[31]</sup>和《中国植物志》<sup>[32]</sup>鉴定物种。

### 1.3 数据处理

#### 1) 多样性指数计算。

物种多样性指数选用Shannon-Weaver多样性指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数3类,其计算公式如下<sup>[33-35]</sup>。

Shannon多样性指数:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

式中,  $p_i = n_i/N$ ,  $n_i$ 为某个物种的个体数,  $N$ 为各物种的总物种数。

Margalef丰富度指数:

$$R = (S - 1) / \ln(N) \quad (2)$$

式中,  $R$  为物种丰富度指数;  $S$  为总物种数;  $N$  是各物种的总个体数。

Pielou均匀度指数:

$$E = H' / \ln(S) \quad (3)$$

式中,  $E$  为物种均匀度指数;  $H'$  为物种香农-威纳多样性指数;  $S$  是物种总数。

2) 植物种与环境因子的关系。

应用主成分分析(PCA)(SPSS 18.0)在 14 项环境因子中提取主成分,应用 Pearson 相关性分析(SPSS 18.0)评价怀九河河岸带 Shannon 植物多样性指数与环境因子的相关性,应用典范对应分析(CCA)(Canoco 5.0)评价各样地内乔木和灌木与环境因子的关系。

## 2 研究结果

### 2.1 怀九河河岸带类型划分

将调查的 14 个环境因子,用主成分分析法(PCA)提取主成分,方差最大化正交旋转后( $P=0.05$ ),提取 4 个主成分,贡

献率分别为 28.49%、26.86%、11.70% 和 8.89%。第 1 主成分主要反映了岸坡类型和硬化面积比例的影响,其因子载荷系数分别为 0.91 和 0.87,第 2 主成分主要反映了土壤容重和土壤有机碳的影响,其因子载荷系数分别为 0.86 和 0.85,第 3 主成分主要反映了距入库口距离和海拔的影响,其因子载荷系数分别为 0.90 和 0.90,第 4 主成分主要反映了岸坡宽度的影响,其因子载荷系数分别为 0.87(表 1)。

根据主成分分析结果,选取代表岸坡类型、岸坡宽度、现有修复措施类型、海拔、砾石盖度、硬化面积比例、土壤容重和土壤有机碳 8 项环境因子进行聚类分析,结果表明,在阈值为 7.86 时,将 50 个样地分为 6 类,包含了所有的干砌石河岸带样地 5 个,所有的纯浆砌石河岸带样地 7 个,砾石覆盖度和海拔高的河岸带样地 9 个,防洪功能和景观功能主导的河岸带样地 6 个,岸坡宽度较大,坡顶栽植行道树的河岸带样地 9 个,依然保持原有岸坡立地条件,但遭受人类干扰的河岸带样地 14 个(图 2)。根据河岸带岸坡类型、植物层次、现有修复措施将 6 种类型河岸带依次命名为人工岸坡疏乔灌干砌石草河岸带、人工岸坡浆砌石河岸带、自然河岸带、人工岸坡观赏性乔灌草河岸带、人工岸坡乔灌草河岸带和近自然河岸带。

表 1 4 个主成分因子负荷量  
Table 1 FHB of the 4 principal components

主成分	贡献率	岸坡类型	土壤层厚度	坡度	岸坡宽度	现有修复措施类型	濒临区土地利用类型	距入库口距离	海拔高度	砾石盖度	硬化面积比例	土壤容重	土壤有机碳	凋落物	根系
1	28.49%	0.912	-0.155	0.658	-0.141	0.84	0.112	-0.164	-0.097	-0.642	0.868	-0.017	-0.065	0.012	0.001
2	26.86%	-0.121	0.752	0.046	0.175	-0.254	-0.023	-0.174	-0.114	-0.15	-0.016	0.863	0.851	0.813	0.448
3	11.70%	-0.163	-0.141	0.017	-0.05	-0.164	-0.74	0.895	0.902	0.41	-0.029	-0.11	0.093	-0.136	-0.071
4	8.89%	-0.124	0.177	-0.435	0.87	0.186	-0.218	-0.169	-0.186	-0.301	-0.187	0.342	0.262	-0.169	0.627

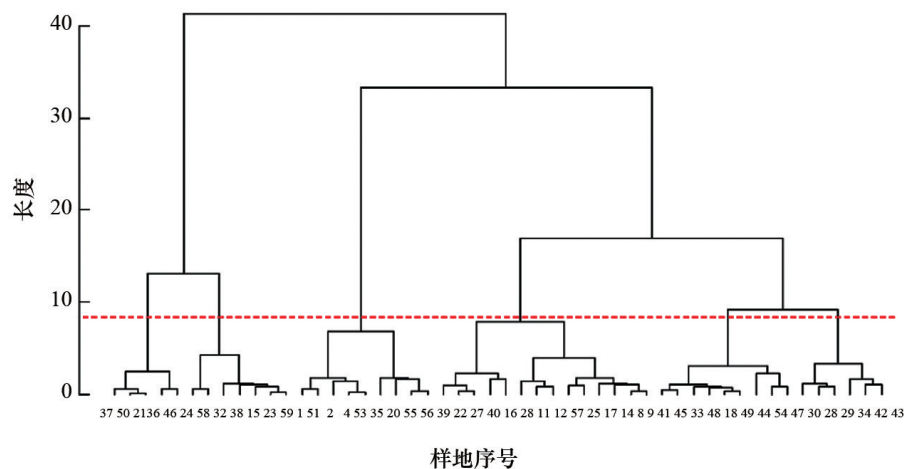


图 2 50 个河岸带样地聚类分析  
Fig. 2 Cluster analysis of 50 riparian plots

## 2.2 怀九河河岸带植物群落多样性特征

### 2.2.1 多样性指数

从入库河口到河源,随海拔升高,怀九河河岸带植物群落多样性、丰富度和均匀度指数增大(图3)。怀九河河岸带植物群落Shannon多样性指数为(2.50±0.10),Margalef丰富度指数为(5.56±2.50)且最大值出现在河流最上游,怀九河河岸带植物群落均匀度指数为0.38±0.15,说明怀九河河岸带植物群落的组成多样丰富,以多个物种为主,优势种不明显。

对河岸带植物多样性进行回归分析可知随海拔升高,植物Shannon多样性指数呈现明显的上升趋势( $R^2=0.05, P<0.05$ )(图3(a))。50个调查样地中,75%的调查样地Shannon多样性指数可达到均值2.50,44%的调查样地Margalef丰富度指数可达到均值5.56,24%的调查样地Pielou均匀度指数

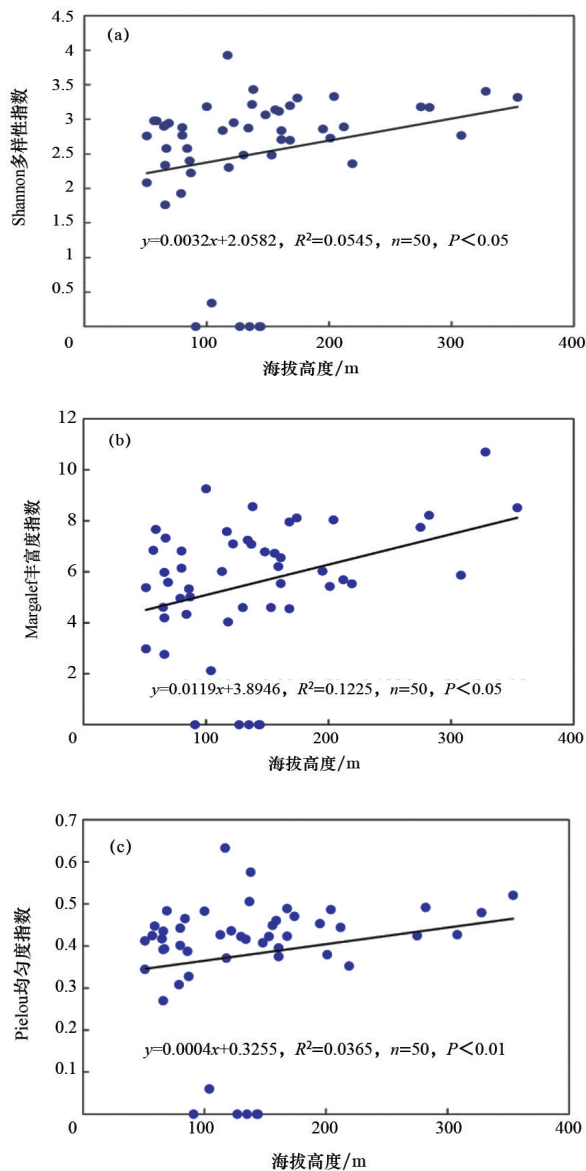
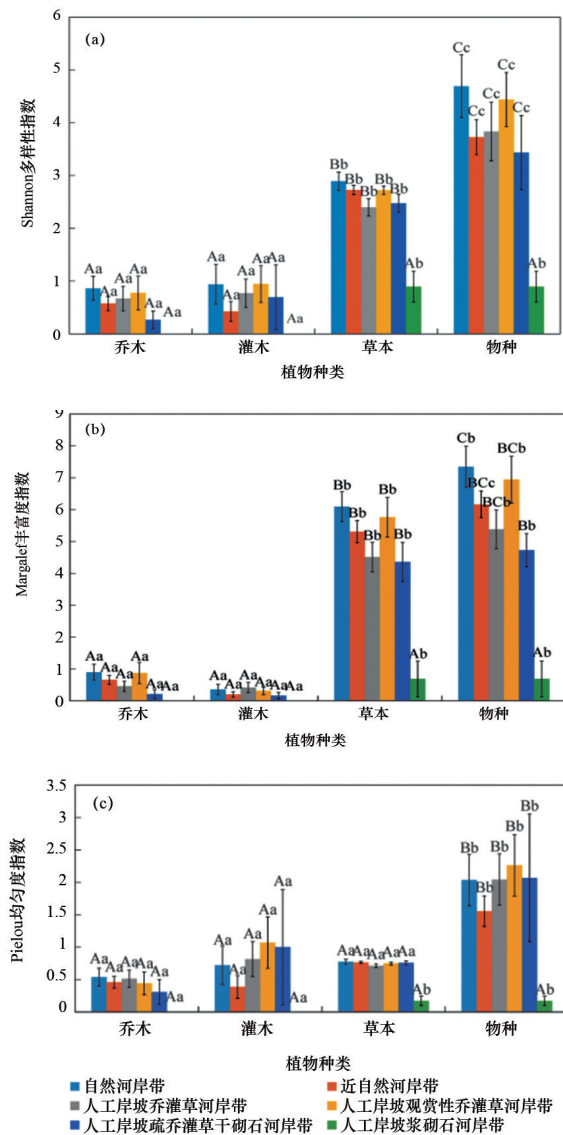


图3 怀九河河岸带植物群落多样性指数变化  
Fig. 3 Species diversity index of plant community in Huaijiu River riparian

可达到均值0.38。Shannon多样性指数均值河岸带上游比中游和下游分别增加49.02%和25.62%,怀九河河岸带上游植物群落物种丰富,中游和下游植物丰富度分别降低53.28%和28.21%,植物分散生长,种类稀少。

### 2.2.2 不同类型河岸带植物群落多样性指数

不同类型河岸带植物群落物种多样性指数差异明显(图4)。自然河岸带Shannon多样性指数(4.69±0.60)分别比人工岸坡乔灌草河岸带(3.83±0.56)、近自然河岸带(3.73±0.33)、人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带(3.43±0.70)和人工岸坡浆砌石河岸带(0.89±0.29)高22.45%、25.74%、36.73%和426.97%。自然河岸带和人工岸坡观赏性乔灌草河岸带植物



大写字母表示不同类型河岸带乔木间、灌木间、草本间和群落间的差异性,小写字母表示不同类型河岸带乔木、灌木、草本和群落之间的差异性

图4 不同类型河岸带植物群落多样性指数变化  
Fig. 4 Species diversity index of plant community in different riparian types

丰富度高(7.34±0.65、6.94±0.73),近自然河岸带、人工岸坡乔灌草河岸带和人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带植物丰富度指数分别为(6.16±0.42)、(5.38±0.61)和(4.73±0.52)。

河岸带乔灌 Shannon 多样性指数和 Margalef 丰富度指数显著低于草本(n=50, P<0.05)(图 4(a)、(b))。自然河岸带、近自然河岸带、人工岸坡乔灌草河岸带、人工岸坡观赏性乔灌草河岸带和人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带乔灌 Shannon 多样性指数和 Margalef 丰富度指数均小于 1,人工岸坡浆砌石河岸带乔灌 Shannon 多样性指数和 Margalef 丰富度指数为 0,自然河岸带(0.86±0.23、0.94±0.38)和人工岸坡观赏性乔灌草河岸带(0.77±0.32、0.94±0.35)乔灌多样性最高。河岸带乔灌易受到人类干扰使得多样性低且均匀度相差较大,低的乔灌多样性和差异较大的均匀度使得河岸带土壤松散、易受到河水侵蚀,削弱河岸带功能的发挥,对于人类干扰,草本植物再

生能力强,多样性和均匀度遭受影响相对乔灌较弱。

### 2.3 怀九河河岸带 Shannon 多样性指数与环境因子的相关性分析

Shannon 多样性指数是基于物种数量反映群落种类多样性的指标,可以很好地表示调查植物群落局域生境内多样性。根据主成分分析结果(表 1),选取 7 项环境因子与 Shannon 多样性指数进行相关性分析,揭示环境因子对植物群落多样性的影响。结果表明:自然河岸带多样性指数与调查样地距入库口距离、海拔显著正相关,与岸坡宽度呈显著负相关(n=10, P<0.05),人工岸坡干砌石疏乔灌草河岸带与岸坡类型呈显著正相关(n=5, P<0.01),人工岸坡浆砌石河岸带多样性指数与硬化面积比例显著负相关(n=6, P<0.01)(表 2)。由此可见,岸坡类型和硬化面积比例是河岸带最重要的影响因素。

表 2 不同类型河岸带 Shannon 多样性指数与环境因子的 Pearson 相关性

Table 2 The Pearson correlation between Shannon diversity index and environment factors of different types riparian

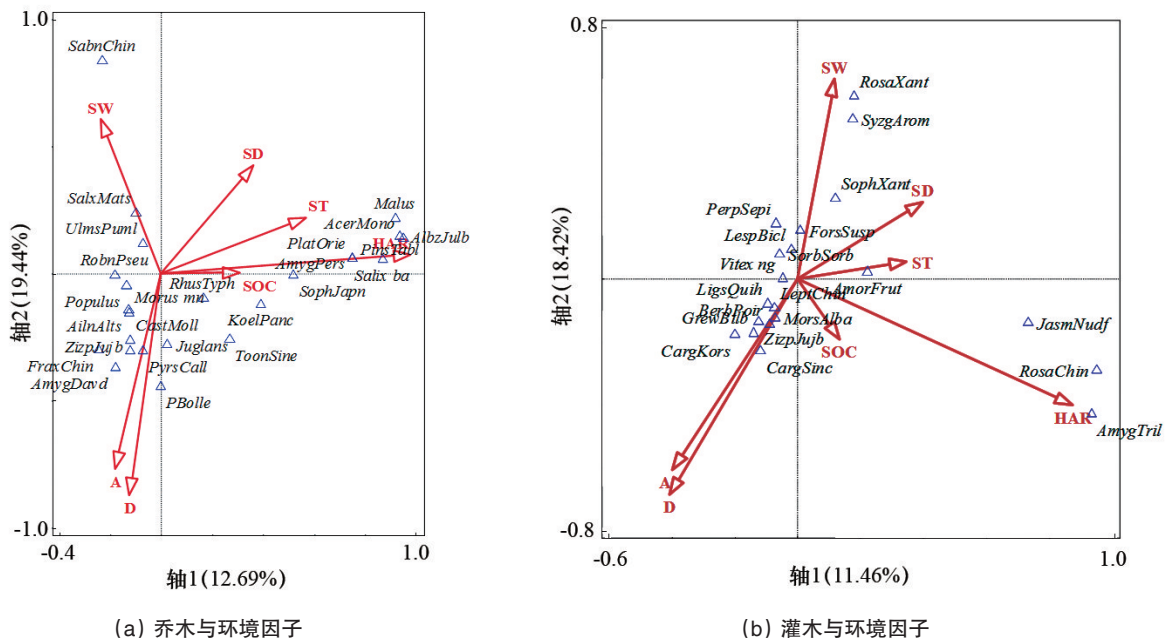
Shannon 多样性指数	n	岸坡类型	硬化面积比例/%	土壤容重	土壤有机碳	调查样地距入库口距离	海拔高度	岸坡宽度
A	10	-0.112	-0.144	-0.294	-0.294	0.763*	0.692*	-0.753*
B	14	-0.128	—	0.299	0.433	0.124	0.105	-0.045
C	9	-0.216	—	-0.482	-0.485	0.54	0.562	-0.576
D	6	0.554	0.451	-0.024	0.387	0.57	0.607	-0.563
E	5	0.967**	—	—	—	0.664	0.655	-0.663
F	6	—	-1**	—	—	-0.343	0.163	0.359
G	50	-0.720**	-0.813**	0.126	0.186	0.269	0.289*	0.104

注:\*表示在 0.05 的水平上显著相关,\*\*表示在 0.01 的水平上显著相关。A 为自然河岸带 Shannon 多样性指数,B 为近自然河岸带 Shannon 多样性指数,C 为人工岸坡乔灌草河岸带 Shannon 多样性指数,D 为人工岸坡观赏性乔灌草河岸带 Shannon 多样性指数,E 为人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带 Shannon 多样性指数,F 为人工岸坡浆砌石河岸带 Shannon 多样性指数,G 为整条河岸带 Shannon 多样性指数。

50 个调查样地中,河岸带植物 Shannon 多样性指数与岸坡类型和硬化面积比例呈显著负相关(n=50, P<0.01),与海拔呈显著正相关(n=50, P<0.05),与土壤容重、土壤有机碳、调查样地距入库口距离和岸坡宽度相关性不显著(n=50, P>0.05)。表明当河岸带硬化面积比例越小,海拔越高,植物多样性越大。岸坡类型和硬化面积比例是人类对河岸带的干扰因素,而海拔是自然环境因子,对河岸带植物 Shannon 多样性指数的影响因素中,人类干扰因子起主导作用,而自然因子处次要地位。

河岸带乔木和灌木易受人类干扰的影响,对河岸带乔木种和灌木种与环境因子的关系进行分析。环境因子对乔木和灌木种的解释量分别为 31.8% 和 29.8%,前两个排序轴的影响最大。如图 5(a)所示,海棠(Malus)、合欢(Albizia julibrissin)、色木槭(Acer mono)、侧柏(Platycladus orientalis)、垂柳(Salix babylonica)、桃树(Amygdalus persica)、火炬树(Rhus typhina)和油松(Pinus tabulaeformis)都聚集在土壤容重和有机碳高,硬化面积比例高的岸坡,证明是人类为满足观赏需求而栽植的绿化性树种;在海拔高的中上游河岸带,常见加

杨、蒙桑(Morus mongolica)、臭椿(Ailanthus altissima)、板栗、栎树(Koelreuteria paniculata)、山核桃、香椿(Toona sinensis)、白蜡(Fraxinus chinensis)、枣树(Ziziphus jujuba)、豆梨(Pyrus calleryana)、山桃(Amygdalus davidiana)、洋槐(Robinia pseudoacacia)和新疆杨(Populus alba),多是天然生长的乔木,而圆柏(Sabina chinensis)、榆树(Ulmus pumila)和旱柳受岸坡宽度影响最大。榆叶梅(Amygdalus triloba)、珍珠梅(Sorbaria sorbifolia)和月季(Rosa chinensis)受硬化面积比例影响最大,黄花槐(Sophora xanthantha)、黄刺玫(Rosa xanthina)和细叶小檗(Berberis poirerii)受岸坡宽度影响最大,迎春(Jasminum nudiflorum)、连翘(Forsythia suspensa)和珍珠梅与土壤质地和有机碳呈正相关,杠柳(Periploca sepium)、胡枝子和荆条是适应性最好的灌木,柠条儿(Caragana Korshinskii)、孩儿拳头(Grewia biloba)、雀儿舌头(Leptopus chinensis)、小叶女贞(Ligustrum quihouii)、锦鸡儿(Caragana sinica)、细叶小檗、枣树和桑树(Morus alba)是中上游岸坡生长的灌木,受海拔影响最大(图 5(b))。



ST:岸坡类型;SW:岸坡宽度;D:距入库口距离;A:海拔;HAR:硬化面积比例;SD:土壤容重;SOC:土壤有机碳

图5 乔木和灌木与环境因子的排序

Fig. 5 CCA biplot of environment factors and trees, shrubs

### 3 讨论

#### 3.1 怀九河河岸带植物群落多样性

植物群落多样性指数可以反映群落内各植物种类多少及各植物种分布的均匀程度<sup>[36]</sup>,怀九河河岸带植物群落 Margalef 丰富度指数为(5.56±2.50),Pielou 均匀度指数为(0.38±0.15),怀九河河岸带植物种类丰富,物种组成以多个物种为主,优势种不明显;Shannon 多样性指数为(2.50±0.10),怀九河河岸带植物种类多,地区性差异大。河岸带从上游至下游的水动力条件、土壤条件不一,外加人类根据自身需求对河岸带进行干扰和改造是导致样地之间群落多样性差异较大的主要原因<sup>[37]</sup>。

怀九河沿线风景优美,天然山区与人工绿化相结合吸引了大量游客,尤其是在河岸边间隔种植绿化性乔灌、均匀播撒菊科草种,大大增加了人工岸坡观赏性乔灌草河岸带的植物多样性和均匀度<sup>[19]</sup>。自然河岸带主要位于人类干扰较少的河流上游使得物种丰富,多样性均匀度高。人工岸坡乔灌草河岸带替换掉原有土壤基质,生态修复的理念使得河岸坡长增加,坡顶的行道树难以维持高的植物多样性<sup>[12]</sup>。近自然河岸带严重遭受挖沙的影响使得河岸砾石和土壤基质下滑<sup>[38]</sup>。人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带中铅丝石笼或者直接将石块铺于河岸表面的修复措施并未完全侵占植物生长生存空间,甚至在一定程度上保护河岸带不受人类干扰。浆砌石完全侵占植物生境,使得植物生长稀少而不均匀,但是出于对防洪安全的考虑,在防洪区、城镇河段布设浆砌石修复措施也很有必要<sup>[38]</sup>。

#### 3.2 河岸带植物群落多样性的影响因素

环境因子对植物生长分布具有决定性作用<sup>[39-41]</sup>,有研究表明:西班牙西北部的 Sil 流域,与海拔相关的污染物梯度是排序的关键因素<sup>[42]</sup>,阿尔卑斯山脉中部意大利阿达梅洛-普雷萨内拉复合沟道内植物多样性不一是由营养物质获得性不同和海拔不一引起的<sup>[40]</sup>。本研究表明:河岸带硬化面积比例、岸坡类型和海拔是河岸带植物多样性最重要的影响因素。怀九河是北京市郊区的山溪性常年性河流之一,沿线分布有大量村庄,随经济发展,人类对河流需求增大,逐渐在沿河发展养殖业、旅游业,使得原有岸坡类型改变,沿河硬化现象明显,这与人工浆砌石河岸带受硬化面积比例影响最大一致。河岸带上游人类干扰较少,随海拔的降低,人类对河岸带的利用程度增加,植物多样性降低,使得海拔成为对植物多样性影响显著的环境因子。

自然河岸带受距入库口距离、海拔和岸坡宽度影响显著( $n=50, P<0.05$ ),这是由于自然河岸带大多位于河流上游,河流上游海拔高且岸坡较宽。人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带受岸坡类型影响显著( $n=50, P<0.05$ ),一方面干砌石侵占植物生长空间导致植被多样性降低,另一方面干砌石又相对保护河岸带植被遭受干扰。硬化面积比例是人工岸坡浆砌石河岸带最主要的影响因子。

河岸带乔木种和灌木种与环境因子的关系更直观地表现了河岸带植被的影响因子。在硬化面积高的休闲游憩区河岸带多栽植观赏性和固土效果好的乔灌,乡土性植物种在河流沿线用于固土护坡。河岸带开发管理中,除防洪河段,

应减少纯浆砌石修复,合理控制河岸带坡度,适当栽植适宜性植物种,增强人类河岸带保护意识,共同维护河岸带健康。

#### 4 结论

通过对北京山区怀九河河岸带50个样地的调查与分析,得到以下结论:

1) 通过主成分分析和聚类分析方法,将河岸带分为6种类型,分别为自然河岸带、近自然河岸带、人工岸坡乔灌草河岸带、人工岸坡观赏性乔灌草河岸带、人工岸坡疏乔灌草干砌石河岸带和人工岸坡浆砌石河岸带。

2) 从河口到河源,随海拔升高,怀九河河岸带植物多样性逐渐增大。不同类型河岸带植物多样性差异明显( $n=50$ ,  $P<0.05$ ),人工浆砌石河岸带植物多样性指数最低( $0.89\pm 0.29$ ),自然河岸带植物多样性指数最高( $4.69\pm 0.60$ ),河岸带乔灌多样性指数显著低于草本( $n=50$ ,  $P<0.05$ )。

3) 人类活动是怀九河河岸带植物多样性的主导因素,自然因素处次要地位。河岸带植物多样性指数与硬化面积比例和岸坡类型呈显著负相关( $n=50$ ,  $P<0.01$ ),与海拔高度呈显著正相关( $n=50$ ,  $P<0.05$ )。自然河岸带多样性指数与调查样地距入库口距离、海拔显著正相关,与岸坡宽度呈显著负相关( $n=10$ ,  $P<0.05$ ),而人工岸坡浆砌石河岸带多样性指数与硬化面积比例显著负相关( $n=6$ ,  $P<0.01$ )。

#### 参考文献(References)

- [1] 韩路,王海珍,于军. 河岸带生态学研究进展与展望[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 879-886.  
Han Lu, Wang Haizhen, Yu Jun. Research progress and prospects on riparian zone ecology[J]. Ecology and Environmental Science, 2013, 22(5): 879-886.
- [2] Naiman R J, Decamps H. The ecology of interfaces: riparian zones[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1997, 28(28): 621-658.
- [3] Elliott K J, Vose J M. Effects of riparian zone buffer widths on vegetation diversity in southern Appalachian headwater catchments[J]. Forest Ecology and Management, 2016, 376: 9-23.
- [4] 杨胜天,王雪雷,刘昌明,等. 岸带生态系统研究进展[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 894-905.  
Yang Shengtian, Wang Xuelei, Liu Changming et al. Research advances in the study of riparian ecosystems [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(6): 894-905.
- [5] Bedison J E, Scatena F N, Mead J V. Influences on the spatial pattern of soil carbon and nitrogen in forested and non-forested riparian zones in the Atlantic Coastal Plain of the Delaware River Basin[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 302: 200-209.
- [6] Kuglerová L, Ågren A, Jansson R, et al. Towards optimizing riparian buffer zones: Ecological and biogeochemical implications for forest management[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 334: 74-84.
- [7] Xiang H, Zhang Y, Richardson J S.. Importance of Riparian Zone: Effects of Resource Availability at Land-water Interface[J]. Riparian Ecology & Conservation, 2016, 3(1): 1-17.
- [8] 赵清贺,马丽娇,刘倩,等. 黄河中下游典型河岸带植物物种多样性及其对环境的响应[J]. 生态学报, 2015, 34(5): 1325-1331.  
Zhao Qinghe, Ma Lijiao, Liu Qian, et al. Plant species diversity and its responds to environmental factors in typical river riparian zone in the middle and lower reaches of Yellow River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(5): 1325-1331.
- [9] 张昶,王成,孙睿霖,等. 城市化地区河岸带植被特征及其与河岸硬度的关系——以晋江市为例[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3703-3713.  
Zhang Chang, Wang Cheng, Sun Ruizhi, et al. Relationships between riparian vegetation and shoreline hardness for urban rivers: a case study in Jinjiang City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3703-3713.
- [10] Sunil C, Somashekar R K, Nagaraja B C. Riparian vegetation assessment of Cauvery River Basin of South India[J]. Environ Monit Assess, 2010, 80(170): 545-553.
- [11] Stella J C, Rodríguez-González P M, Dufour S, et al. Riparian vegetation research in Mediterranean-climate regions: common patterns, ecological processes, and considerations for management[J]. Hydrobiologia, 2013, 719(1): 291-315.
- [12] 邓红兵,王青春,王庆礼,等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.  
Deng Hongbing, Wang Qingchun, Wang Qingli, et al. On riparian forest buffers and riparian management[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(6): 951-954.
- [13] 周欣,左小安,赵学勇,等. 科尔沁沙地植物群落分布与土壤特性关系的DCA、CCA及DCCA分析[J]. 生态学杂志, 2015, 34(4): 947-954.  
Zhou Xin, Zuo Xiaolan, Zhao Xueyong, et al. Comparison analyses of DCA, CCA and DCCA on relationships between plant community distribution and soil properties of Horqin Sandy Land[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(4): 947-954.
- [14] 梁雪,何萍,任颖,等. 子牙河水系滨岸带植物群落结构及其与环境关系[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 248-253.  
Liang Xue, He Ping, Ren Ying, et al. Relationship between plant communities and environment factors in riparian zone along Ziya River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation. 2017, 37(1): 248-253.
- [15] 刘亚琦,刘家珍,陈永金,等. 孔雀河下游断流河道的环境特征及物种间关系[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 1-13.  
Liu Yaqi, Liu Jiazhen, Chen Yongjin, et al. Environmental characteristics and interspecific associations in the lower reaches of the Kongque River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(8): 1-13.
- [16] Ahmad S S, Shabbir R, Ahmed M N, et al. Environmental Diversification and Spatial Variations in Riparian Vegetation: A Case Study of Korang River, Islamabad[J]. Pakistan Journal of Botany, 2014, 46(4): 1203-1210.
- [17] Pielech R, Aniol-Kwiatkowska J, Szczyński E. Landscape-scale factors driving plant species composition in mountain streamside and spring riparian forests[J]. Forest Ecology & Management, 2015, 347: 217-227.
- [18] 高甲荣,冯泽深,高阳,等. 河溪近自然评价: 方法与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社. 2010: 94-96.  
Gao Jiarong, Feng Zesheng, Gao Yang, et al. The near-nature evaluate of river: method and applications[M]. Beijing: Chinese Waterpower Press. 2010.
- [19] 吴春霞,刘瑞涵,何忠伟. 北京沟域经济背景下山区生态旅游市场开发研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 400-404.  
Wu Chunxia, Liu Ruihan, He Zhongwei. Marketing development of mountain ecotourism in Beijing valley economy[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(14): 400-404.
- [20] 夏继红,严忠民. 生态河岸带综合评价理论与修复技术[M]. 北京: 中

- 国水利水电出版社, 2009.
- Xia Jihong, Yan Zhongmin. The ecological riparian zone comprehensive evaluation theory and repair technology[M]. Beijing: Chinese Waterpower Press, 2009.
- [21] 刘瑛, 高甲荣. 土壤生物工程技术在河流生态修复中的应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 21-22.
- Liu Ying, Gao Jiarong. The application of soil bioengineering technologies in river ecology restoration[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012: 21-22.
- [22] Jones K, Hanna E. Design and implementation of an ecological engineering approach to coastal restoration at Loyola Beach, Kleberg County, Texas[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22(4-5): 249-261.
- [23] Gómez-Mercado F, Giménez Luque E, López Carrique E, et al. Ecological ordination and distribution of hygrophilous species growing on a Mediterranean riverbank (SW Spain) [J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 2012, 40(2): 22-30.
- [24] 温存, 高阳, 高甲荣, 等. 河溪近自然治理技术及其评价方法[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(S1): 39-44.
- Wencun, Gaoyang, Gaojiarong, et al. Near natural stream control techniques and its assessment system[J]. *Science of soil and water conservation*, 2006, 4(S1): 39-44.
- [25] 高阳, 高甲荣, 陈子珊, 等. 河溪近自然治理评价指标体系探讨及应用[J]. *水土保持研究*, 2007, 6(14): 404-407.
- Wen Cun, Gao Jiarong, Chen Zishan, et al. The introduction of near natural stream control assessment system and its utilization[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 6(14): 404-407.
- [26] 高阳, 高甲荣, 冯泽深, 等. 怀九河小流域生态系统近自然定量评价[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(4): 64-68.
- Gao Yang, Gao Jiarong, Feng Zeshen, et al. The near-natural quantitative assessment system of small watershed ecosystems of Huaijiu River [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(4): 64-68.
- [27] 吕晶, 高甲荣, 张金瑞, 等. 京郊河溪生态护坡系统评价研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(3): 1623-1626.
- Lv Jing, Gao Jiarong, Zhang Jinrui, et al. Evaluation study of stream ecological slope protection system in Suburb of Beijing[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2010, 38(3): 1623-1626.
- [28] 刘瑛. 土壤生物工程技术在河岸生态修复中应用效果的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- Liu Ying. Effects of soil bioengineering techniques applied in river bank ecological restoration[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.
- [29] 陈子珊, 高甲荣, 包昱峰, 等. 河溪利用方式对河岸带木本植物多样性的影响——以安达木河上游为例[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(4): 189-191.
- Chen Zishan, Gao Jiarong, Bao Yvfeng, et al. Impacts of stream use on woody plant diversity in Upriver riparian of Andamuhe River[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(4): 189-191.
- [30] 冯泽深, 高甲荣, 杨海龙, 等. 北京市怀柔区乡村河溪利用方式及演变分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(5): 97-100.
- Feng Zeshen, Gao Jiarong, Yang Hailong, et al. Stream use and its future changes in rural area of Huairou district of Beijing[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(5): 97-100.
- [31] 贺士元, 邢其华, 尹祖堂. 北京植物志[M]. 北京: 北京出版社, 1992.
- He Shiyuan, Xing Qihua, Yin Zutang. *Flora of Beijing*[M]. Beijing: Beijing Press, 1992.
- [32] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Chinese academy of sciences, Chinese academy of sciences. *Flora of China*[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [33] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication [J]. Urbana, University of Illinois Press, 1963.
- [34] Margalef R. Information theory in ecology[J]. *General Systematics*, 1958, 3: 36-71.
- [35] Pielou E C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 10(2): 370-383.
- [36] Cadotte M W, Carscadden K, Mirotchnick N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(5): 1079-1087.
- [37] Tabacchi E, Planty-Tabacchi A, Salinas M J, et al. Landscape structure and diversity in riparian plant communities: A longitudinal comparative study[J]. *River Research & Applications*, 2010, 12(4-5): 367-390.
- [38] 刘培斌, 高小薇, 王利军, 等. 北京山区河流生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. *水利水电技术*, 2016, 1: 98-101.
- Liu Peibing, Gao Xiaowei, Wang Lijun, et al. Method of assessment on ecosystem health of mountain rivers in Beijing and its application [J]. *Hydroelectricity Research*, 2016, 1: 98-101.
- [39] Lyon J, Gross N M. Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors[J]. *Forest Ecology & Management*, 2005, 204(2/3): 267-278.
- [40] Gentili R, Armiraglio S, Rossi G, et al. Floristic patterns, ecological gradients and biodiversity in the composite channels(Central Alps, Italy)[J]. *Flora*, 2010, 205(6): 388-398.
- [41] Xu X L, Zhang Q, Tan Z Q, et al. Effects of water-table depth and soil moisture on plant biomass, diversity, and distribution at a seasonally flooded wetland of Poyang Lake, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2015, 25(6): 1-18.
- [42] Fernández-Aláez C, Fernández-Aláez M, García-Criado F. Spatial distribution pattern of the riparian vegetation in a basin in the NW Spain[J]. *Plant Ecology*, 2005, 179(1): 31-42.

## Riparian vegetation diversity and its influencing factors of Huaijiu River in Beijing

KONG Qingxian, XIN Zhongbao, XIA Xiaoping

School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract** The plant diversity is one of the important ecological factors in the riparian, as an important symbol of the riparian healthy. In order to ensure the riparian health in Beijing mountainous area and reveal its influencing factors, sampling and indoor analysis are carried out, to study the relationship between the plant diversity and the environmental factors. According to the principle component analysis and the cluster analysis, the Huaijiu river riparian falls into six types, namely, the natural riparian, the near-natural riparian, the artificial bank plant riparian, the artificial bank ornamental plant riparian, the artificial bank sparse plant dry-stone riparian, and the artificial bank masonry riparian. With the increase of the elevation, the diversity index of the riparian increases. Different riparian types have different variations of plant species, and the diversity index of the artificial bank masonry riparian is significantly lower than other riparian types ( $n=50$ ,  $P<0.05$ ). The riparian tree and shrub Shannon diversity and Margalef abundance index are significantly lower than those of the herb ( $n=50$ ,  $P<0.05$ ), and the herbaceous plants may adapt to the environment easily and with flexibility that makes various and abundant plant species, while the trees and shrubs are vulnerable to the human influences and have lower diversity and abundance. The Pearson correlation analysis shows that the riparian plant Shannon diversity index and the hardening area ratio and the slope types have significantly negative correlation ( $n=50$ ,  $P<0.01$ ), while the altitude is significantly positively related to the riparian plant Shannon diversity index and the hardening area ratio ( $n=50$ ,  $P<0.05$ ). This study can provide a reference for the riparian health and the protection of the plant diversity, and provide a theoretical support for the development and management of the riparian.

**Keywords** Huaijiu River; riparian; plant diversity; Shannon diversity index; environment factors

(责任编辑 田恬)