

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^{*}

赵清贺^{1,2} 马丽娇^{1,2} 刘倩^{1,2} 丁圣彦^{1,2**} 汤茜^{1,2} 卢训令^{1,2}

(¹教育部黄河中下游数字地理技术重点实验室, 河南开封 475004; ²河南大学环境与规划学院, 河南开封 475004)

摘要 为维持河岸带生态系统的完整,对河岸带的物种多样性研究十分必要。本研究采用 Braun-Blanquet 多度等级划分标准结合样方法调查了黄河中下游典型河段河岸带植物群落物种多样性特征,并探讨其与环境因子的关系。结果表明:黄河中下游典型河段河岸带调查的 52 个群落样方中,共有 36 科 78 属 86 种植物,群落物种组成较为丰富,但优势种并不明显。单一群落样方中,物种组成简单,不同样方之间物种组成与多样性存在明显差异,其中,受干扰较重的样方物种多样性较低,表明研究区河岸带植物物种多样性深受人为干扰所造成的生境破碎的影响。冗余分析表明,海拔和至河流距离是黄河中下游河岸带植物多样性的重要影响因素。

关键词 河岸带; 物种多样性; 环境因子; 黄河中下游

中图分类号 Q14 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)5-1325-07

Plant species diversity and its response to environmental factors in typical river riparian zone in the middle and lower reaches of Yellow River. ZHAO Qing-he^{1,2}, MA Li-jiao^{1,2}, LIU Qian^{1,2}, DING Sheng-yan^{1,2**}, TANG Qian^{1,2}, LU Xun-ling^{1,2} (¹Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng 475004, Henan, China; ²College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(5): 1325–1331.

Abstract: It is indispensable to investigate species diversity for maintaining the integrity of riparian ecosystems. In this study, integrating the Braun-Blanquet cover-abundance scale and the quadrat sampling methods, we investigated diversity characteristics of plant community in typical river riparian zones in the middle and lower reaches of Yellow River, and analyzed the relationship between herbaceous plant diversity and environmental factors. The results showed that a total of 36 families, 78 genera, and 86 plant species were observed from 52 community quadrats in the study area. Plant community species composition was rather rich, while dominant species was not obvious. In a single community quadrat, species composition was simple. However, obvious difference existed between different quadrats regarding species composition and diversity. Moreover, species diversity was relatively low for the middle stream areas that were disturbed seriously by human activities, indicating that plant species diversity in the study areas was influenced seriously by habitat fragmentation caused by human disturbance. Redundancy analysis showed that altitude and distance to river were important factors influencing plant diversity of riparian zones in the middle and lower reaches of Yellow River.

Key words: riparian zone; species diversity; environmental factors; the middle and lower reaches of Yellow River.

^{*} 中国博士后科学基金项目(2014M550382)、国家自然科学基金项目(41301197, 41371195)和教育部黄河中下游数字地理技术重点实验室开放基金项目资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: syding@henu.edu.cn

收稿日期: 2014-10-20 接受日期: 2015-01-29

作为生态系统中的一个重要组成部分,植物具有直接、间接以及潜在的多方面作用,对其多样性的研究备受关注(Isbell *et al.*, 2011; Boulangeat *et al.*, 2014)。物种多样性是生物多样性的一个重要组成部分,主要指地球上生命有机体变异的多样性,在一定空间范围内可用物种的丰富度,即种的总数目和分布的均匀性来衡量(Cadotte *et al.*, 2011; Boulangeat *et al.*, 2014)。因此,进行植物物种多样性研究可以更好地评价群落组成、结构及其发展变化,同时测度群落及其环境的保护状态,对控制和减少濒危物种的丧失具有重要意义,是群落生态学乃至整个生态学研究的一个非常重要的内容(Cadotte *et al.*, 2011; Isbell *et al.*, 2011)。近年来,有关植物及其多样性研究,研究对象多集中于城市、平原、山地等,主要围绕河流、农田、自然保护区及旅游区植物多样性进行(Hodgson *et al.*, 2005; Santiago *et al.*, 2013; Boulangeat *et al.*, 2014),对河岸带的植物多样性研究较少。

河岸带有其特殊的位置,是陆地生态系统与水域生态系统之间的过渡带,由于独特的边缘效应的特点,具有调节气候、调蓄洪水、调节水流、缓冲污染、提供资源、提供栖息地、观光旅游等生态系统功能(郭怀成等, 2007; 郭二辉等, 2011; Stella *et al.*, 2013)。另外,河岸带土壤含水量比较高,土地肥沃,生物多样性明显高于远离河岸带的区域,是发展农、林、牧、渔、副业的理想基地,所以很早就被人类开垦耕作(邓红兵等, 2001; Stella *et al.*, 2013)。近年来,由于耕作、污水排放、河流开发等人为活动对

河岸带资源的过度或不适当开发利用,导致河岸带及其植被和功能遭受破坏,这一系列的人为活动严重威胁着河岸带的生物多样性(邓红兵等, 2001; 郭二辉等, 2011; Stella *et al.*, 2013)。

黄河中下游地区植物及其物种多样性研究多以农田和湿地为主(韦翠珍等, 2011; 卢训令等, 2014),但对其河岸带植物群落多样性的研究报道相对较少。作为黄河流域的重要组成部分,黄河中下游人口众多,是我国的主要粮食生产地之一,在发展农业的同时,土地的过度开垦使农业背景下的河岸带生态环境遭到破坏(韦翠珍等, 2011; 陈杰等, 2012; 廖秉华 2013; 卢训令等, 2014)。因此,为揭示黄河中下游典型河段河岸带植物多样性现状,本文结合样方法与 Braun-Blanquet 多度等级划分标准(Braun-Blanquet, 1964),选取多样性指数、丰富度指数和均匀度指数,对黄河中下游典型河段河岸带植物物种多样性开展调查研究,并分析其草本群落特征及其与环境因子的相互关系,以期为黄河中下游河岸带的多样性保护和可持续利用提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于河南省境内,地理位置为 134°56'33.29"N—134°52'52.24"N, 114°06'26.33"E—114°23'43.36"E,东西横跨的行政区有温县、巩县、武陟县、荥阳县、郑州市、原阳县、中牟县、开封县、开封市和封丘县,共 10 个县市(图 1)。区内海拔由西南向东北逐渐降低。黄河流域河南段地处南北气候交错

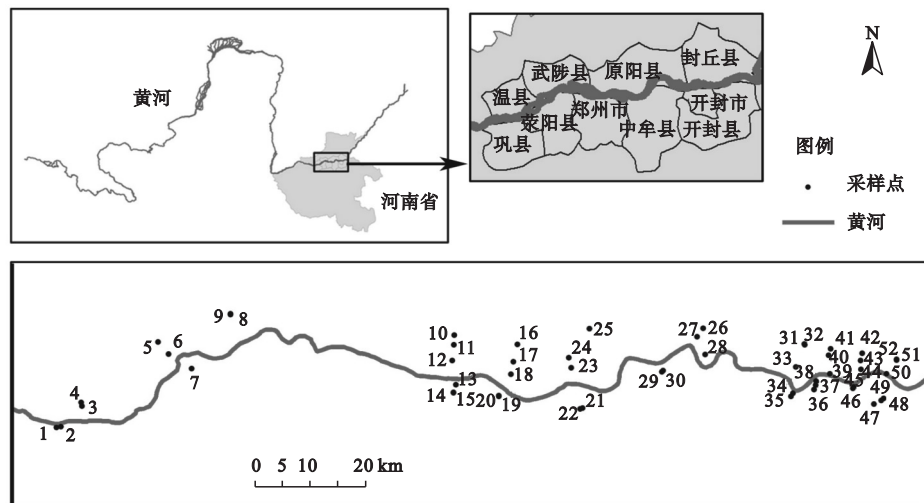


图 1 研究区位置与样点分布示意图
Fig.1 Location of the study area and sampling sites

带,属于暖温带-北亚热带、湿润-半湿润的季风气候,具有南北过渡的特点(廖秉华,2013)。年平均气温一般在 12~16℃,山地与平原间差异比较明显。气温年较差、日较差均较大,年平均降水量约为 500~900 mm,全年降水的 50%集中在夏季,常有暴雨(陈杰等,2012;廖秉华,2013;卢训令等,2014)。研究区植被以杨树、柳树人工林和混交人工林为主。不同的气候条件为区内带来了丰富的植物资源,河岸绝大部分土地已被开垦,农作物以冬小麦为主,但是分散的农户种植效益很低,导致了农业水平较低。在农业耕作阶段,人类活动对河岸带存在影响主要是由耕作引起的水土流失、河流泥沙的增加。

1.2 研究方法

1.2.1 研究样地调查 黄河中下游典型河段河岸带的野外群落和物种多样性调查于 2014 年 5 月进行,共设置 21 个样地,52 个样方,样方面积为 20 m×20 m,采用群落生态学的样方法沿黄河典型河段两岸分别取样(图 1)。在每个调查区中选取主要生境类型为人工林地,每个样方设置 5 个 1 m×1 m 草本小样方。由于研究区人工林地多为单一的杨树或柳树防护林,大部分生境中几乎不存在灌木层,所以本研究以草本层数据来反映河岸带的植物群落特征。结合 Braun-Blanquet 多度等级划分标准,在对样地详细踏查后,记录乔木层、草本层的主要植物物种名、物种多优度、群聚度等。在调查的同时使用全球定位系统对调查地点定位,记录各样地的海拔、乔木层每木高度和胸径、土壤类型及地貌等环境因子。采用环刀法采集样方内具有代表性的新鲜土样,放入自封袋中密封保存,带回实验室称重,并使用烘干法测定土壤水分。

1.2.2 数据处理 植被数据矩阵:植物群落特征以物种多度来表示,并根据 Braun-Blanquet 多度等级制确定多度等级(Braun-Blanquet,1964)。本文通过对 52 个样方 86 种植物筛选,组成数据矩阵对研究区的植物物种组成进行分析(Podani *et al.*,2006)。

本文选取以下 4 种多样性指数测度和分析植物物种多样性特征。计算公式如下:

(1)物种丰富度(*S*)

S=样地内出现的物种数

(2)Shannon 多样性指数(*H*)

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

(3)Simpson 多样性指数(*D*)

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

(4)Pielou 均匀度指数(*E*)

$$E = H / \ln S$$

式中:*P_i*为第*i*种植物的重要值;*S*为样方内出现的物种数。数据处理采用 PC-ORD 5 软件。

本研究采用 Origin 8.0 软件对 4 个多样性指数进行散点图绘制,分析黄河中下游典型河段河岸带植被的多样性特征。利用 Canoco of Windows 4.5 软件(Ter Braak *et al.*,2002),选择至河流距离、海拔、土壤含水量和乔本层平均胸径 4 个环境因子,进一步探讨物种多样性与环境因子之间的关系。冗余分析(redundancy analysis, RDA)是一种线性多元直接梯度分析,它基于统计学的角度评价一个或一组变量与另一组多变量数据之间的关系,能有效地对多个环境指标进行统计检验,并确定对群落变化具有最大解释能力的最小变量组,从而更好地反映群落与环境之间关系,目前已被广泛应用于生态学研究(尹锴等,2009; Howard *et al.*, 2012; 张文丽等,2014)。

2 结果与分析

2.1 黄河中下游典型河段河岸带植物物种组成

根据 21 个样地的调查结果统计,黄河中下游典型河段河岸带物种数为 86 种,隶属 36 个科 78 个属(图 2)。其中菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、豆科(Leguminosae)、十字花科(Brassicaceae)组成黄河中下游河岸带植物群落的共优种群,是黄河中下游河岸带的主要物种。共优种群中菊科 15 种,占总种数的 17%,禾本科 11 种,占总种数的 13%,

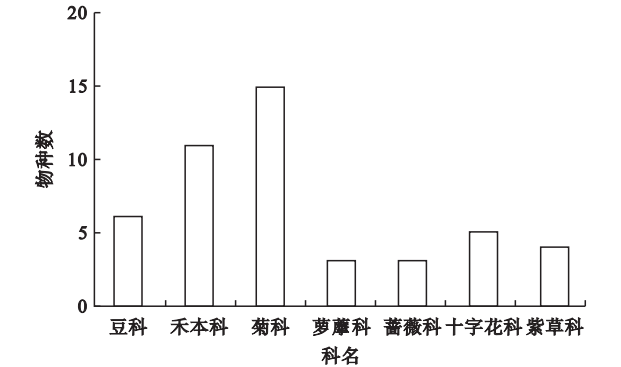


图 2 黄河中下游典型河段河岸带主要植物科名的物种数变化

Fig.2 Change in species number of plant family in typical reach riparian zone in the middle and lower reaches of the Yellow River

表 1 黄河中下游典型河段河岸带主要植物的频率
Table 1 Species frequency of main plants in typical reach riparian zone in the middle and lower reaches of the Yellow River

种名	频数	频度
藜 <i>Chenopodium album</i>	38	0.73
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	33	0.63
葎草 <i>Humulus scandens</i>	33	0.63
中华小苦荬 <i>Ixeridium chinense</i>	33	0.63
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	33	0.63
小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	30	0.58
夏至草 <i>Lagopsis supina</i>	25	0.48
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	23	0.44
鹅观草 <i>Roegneria kamoji Ohwi</i>	22	0.42
附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	22	0.42
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	21	0.40
枸杞 <i>Lycium chinensis</i>	20	0.38

豆科 6 种,占总种数的 7%,十字花科 5 种,占总种数的 6%,优势种群优势度不明显。在植物科中仅含一个物种的有 72 个属,占总属数的 92%,说明黄河中下游河岸带植物群落科属组成非常分散。本文参照吴征镒(1991)对中国种子植物科和属的分布区类型划分,在调查区内植物科的分布主要以世界分布和泛热带分布为主,二者分别占了总科数的 53%和 25%,其次为北温带分布,而旧世界温带分布只有 1 科,缺少特有分布科;调查区内属的地理分布非常广泛,几乎涵盖中国种子植物属分布区 15 个类

型,以世界分布、泛热带分布和温带分布为主,占了总属数的 54%,区系分布表明,区内的物种组成以耐旱和短期抗涝为主,抗干扰能力比较强,特有种的分布比较缺乏。

黄河中下游典型河段河岸带主要植物的频率统计结果表明,藜(*Chenopodium album*)的分布频率最高,超过 73%,其次为酢浆草(*Oxalis corniculata*)、葎草(*Humulus scandens*)、中华小苦荬(*Ixeridium chinense*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)、夏至草(*Lagopsis supina*)等(表 1)。

2.2 黄河中下游典型河段河岸带植物物种多样性
黄河中下游典型河段河岸带植物群落物种丰富度、均匀度指数、物种多样性曲线反映出基本一致的趋势,物种多样性随着丰富度、均匀度的升高而升高(图 3)。黄河中下游典型河段河岸带草本植物群落的物种丰富度变化范围较大,最小值为 6,最高值 26 出现在至河流距离最近的地方(仅 200 m)。各样方之间丰富度差异较大且呈不规则波动,其中原阳县、郑州市和中牟县的样地丰富度则比较稳定。黄河中下游河岸带的物种均匀度指数在 0.52~0.92,整体波动起伏比较大,说明河岸带群落的组成以多个物种为主,而优势种不明显。黄河中下游河岸带草本植物的 Shannon 多样性指数和 Simpson 多样性指数的变化范围分别是 1.21~2.69 和 0.56~0.91。从图 3 可以看出,植物的物种多样性指数值较大,说明植

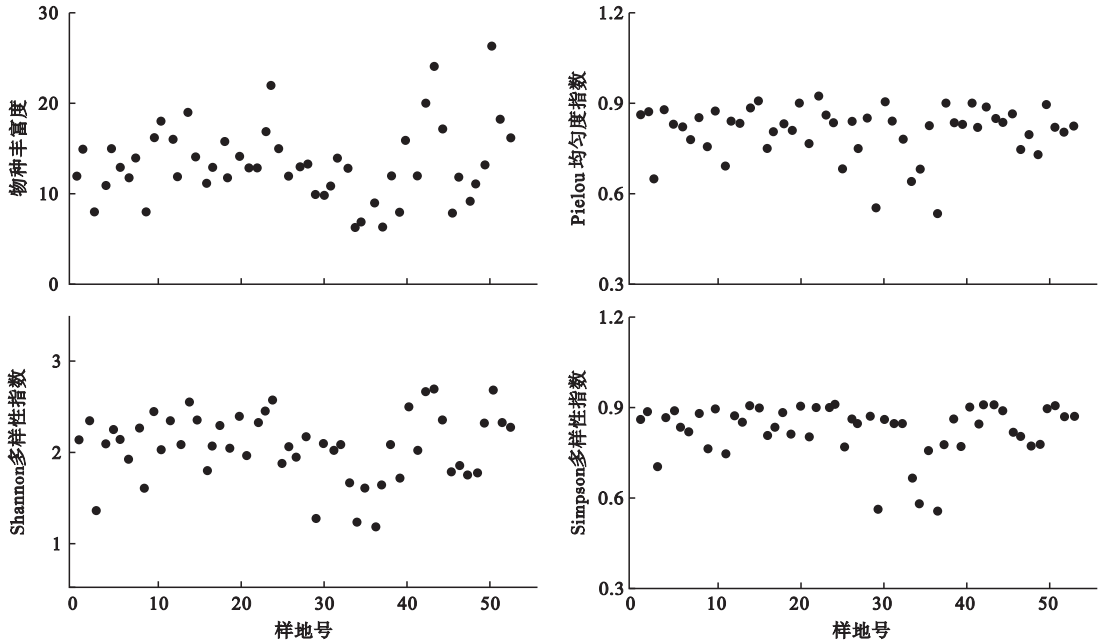


图 3 黄河中下游典型河段河岸带草本物种多样性指数变化
Fig.3 Species diversity indexes of riparian herbaceous plant in typical reach riparian zone in the middle and lower reaches of the Yellow River

物群落类型在本地区表现为由多物种组成,物种丰富,组成复杂。

2.3 黄河中下游河岸带植物物种多样性与环境因子关系

从图4可以看出,物种多样性与环境因子的关系,海拔与均匀度、多样性指数夹角 $<90^\circ$,呈正相关,表明河岸带草本植物的均匀度和多样性指数随着海拔的升高而升高;海拔与丰富度指数的箭头夹角 $>90^\circ$,则呈负相关关系,表明河岸带随着海拔的升高植物丰富度有所下降。同理,至河流距离与丰富度和多样性指数呈正相关,表明河岸带草本植物离河岸距离越近丰富度和多样性指数就越高;至河流距离与均匀度呈负相关,表明离黄河越近,均匀度指数越低;土壤含水量越大,丰富度越高,植物种类越多,物种越丰富,土壤含水量与植物 Shannon 多样性指数箭头夹角呈 90° ,表明两者无相关性,土壤含水量与均匀度和 Simpson 多样性指数呈负相关。植物的胸径在图中没有投射出,表明河岸带乔木层植物胸径的大小对草本层物种多样性没有影响。在几个环境因子中海拔这一环境因子的箭头最长,表明其对河岸带草本植被的影响最大,至河流距离的远近对河岸物种多样性的影响其次,土壤含水量对河岸带草本植被的影响最小。环境因子之间海拔与河岸距离基本是不相关的,而海拔与土壤含水量呈负相关,表明随着海拔上升,土壤的含水量会减少。土壤含水量与河岸距离之间的影响也不大,但基本上呈正相关。

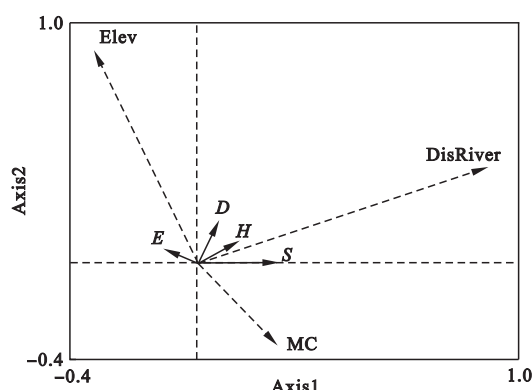


图4 黄河中下游典型河段河岸带物种多样性与环境因子关系分析

Fig.4 Relationship between species diversity and environmental factors in typical river riparian zone in the middle and lower reaches of the Yellow River

S.丰富度;E.均匀度;H.Shannon 多样性指数;D.Simpson 多样性指数;Elev.海拔;DisRiver.至河流距离;MC.土壤含水量。

3 结论与讨论

本次调查黄河中下游典型河岸带草本层植物共36科78属86种,以菊科、禾本科、豆科、十字花科为主,植物种类以藜、酢浆草、葎草、中华小苦荬、狗尾草、小蓬草、夏至草等为主。黄河中下游典型河段河岸带的植物以1年生草本植物占多数,且多为喜阳植物,由此可见,乔本植物和灌木植物相对较少,植物群落显得比较单一,生态环境的微小变化,草本种类都会有比较显著的变化。植物区系中单属科、单种科、单种属所占比例较大,河岸带生态环境的脆弱性造成了黄河中下游河岸带植物总体上呈现出少数科属多样性突出,但整体寡种性强的特点,较为丰富的草本植物组成,证明了河岸带植物发展状况尚为良好,但是较为频繁的人为活动,影响着黄河中下游河岸带的植物物种组成。

植物群落物种多样性指数反映了群落内各植物种类的多少及各植物种的数量在种间分布的均匀程度(Cadotte *et al.*, 2011)。黄河中下游河岸带丰富度指数的变化范围为6~26,表明黄河中下游河岸带植物种类较为丰富。物种均匀度是衡量各种类分布均匀程度的重要指标,植物物种均匀度越大,优势物种不占绝对优势(邓红兵等, 2001;王珊等, 2013)。黄河中下游河岸带的物种均匀度指数变化范围在0.52~0.92,表明黄河中下游河岸带植物物种的组成以多数物种为主,优势种不明显,也表明河岸带保护不同物种种类的效果要比增加物种数量的效果明显,这与前人研究结果相一致(Sabo *et al.*, 2005)。Shannon 多样性指数和 Simpson 优势度多样性指数的变化趋势基本一致。可以得出,黄河中下游河岸带植物群落结构简单,地区之间物种多样性差异比较大。河岸带物种多样性指数高则出现在人为干扰较少的地区,多样性指数低则出现在人类活动比较频繁、受干扰较重中牟县和原阳县,此区域多分布有工厂、采沙场、农田等;开封县和封丘县地区的河岸带则多为广阔的河漫滩,人类影响主要来自放牧、农耕及农民生活垃圾等,干扰程度中等;温县地区人类活动干扰程度相对最低,一般来自放牧和农耕。可见人为干扰所造成的生境破碎对物种多样性会造成很大的影响,也证实了物种多样性分析的结果与实地调查的情况分析一致。近年来黄河中下游地区河岸带都受到了不同程度的干扰,主要是水利工程、农业生产、挖沙等一些人为干扰影响了植物多样性变

化使得黄河中下游河岸带植物种类减少,结构简单,多样性降低,黄河中下游地区的生态环境失衡,而黄河下游河段多修建堤坝,造成了生境类型比较单一,植被类型以中生、旱生类型为主(何小琴等,2007;廖秉华,2013;卢训令等,2014)。

在景观尺度上,环境因子是决定植物分布格局的主导因子(Defosseze *et al.*, 2011; Stella *et al.*, 2013; Boulangeat *et al.*, 2014)。海拔是影响河岸带植被分布的主导环境因子,其通常和一系列其他环境因素相关,如洪水周期、水位、土壤水分含量、土壤基质类型、土壤有机质含量和生长季的长短等,这些因素直接影响河岸带草本植物群落分布和种类组成(Defosseze *et al.*, 2011; Stella *et al.*, 2013)。本研究中,不同环境因子对黄河中下游河岸带群落分布有所影响,其中海拔和至河流距离是影响群落分布的重要因子。海拔对黄河中下游典型河岸带植物丰富度和植物多样性的影响最大,至河流距离也是重要的影响环境因子,黄河中下游典型河岸带研究区多为农田区,至河流距离能影响河岸带植物多样性的因素除水因子外,周围环境的人为活动对其影响也较大,一般离河岸越近的地区,人为因素的影响就相对越小,植物物种多样性比较高,离河岸距离远的地方人类活动相对比较频繁,对植物物种多样性有消极影响,使物种多样性降低(Ranalli *et al.*, 2010; Finnegan *et al.*, 2012)。因此,要保持及恢复河岸带生态系统,达到可持续发展必须恢复黄河中下游河岸带周边环境的生态系统功能,保持人与自然的相协调。含水量对物种多样性的影响变化不大,可能与调查样地之间的含水量差别比较小有关。有研究表明,乔木层的植物胸径对乔木层的植物多样性影响比较大,而对草本层影响不明显(Burnett *et al.*, 1998; 陈光水等, 2005)。本次调查中,乔木层植物比较单一,所以对草本层植物多样性的影响没有表现出来。从本研究表明,自然因素和人为因素决定了黄河中下游典型河段河岸带的物种多样性。

做到保护、开发和利用好河岸带的各项功能,使河岸带的生态系统可持续地为人类提供丰富多样的生产、生活和观光旅游产品,需要从各方面对河岸带开展研究,形成一个整体系统的讨论。目前对黄河河岸带的研究较为缺乏,已有研究较为零散且只关注于部分河段(沈亚强等, 2011),对黄河整体河岸带植被研究调查较少。因此,对黄河河岸带植被的调查研究有待进一步加强,才能更好地为河岸带植

被的恢复和保护工作提供理论依据。

参考文献

- 陈光水, 杨玉盛, 何宗明. 2005. 树木位置和胸径对人工林细根水平分布的影响. 生态学报, **25**(5): 1008–1011.
- 陈杰, 郭屹立, 卢训令, 等. 2012. 伊洛河流域草本植物群落物种多样性. 生态学报, **32**(10): 3021–3030.
- 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 2001. 河岸植被缓冲带与河岸带管理. 应用生态学报, **12**(1): 951–954.
- 郭二辉, 孙然好, 陈利顶. 2011. 河岸植被缓冲带主要生态服务功能研究的现状与展望. 生态学杂志, **30**(8): 1830–1837.
- 郭怀成, 黄凯, 刘永, 等. 2007. 河岸带生态系统管理研究概念框架及其关键问题. 地理研究, **26**(4): 789–798.
- 何小琴, 蒋志荣, 王刚, 等. 2007. 子午岭地区植被恢复演替过程与环境因子的分类与排序. 西北植物学报, **27**(3): 601–606.
- 廖秉华. 2013. 黄河流域河南段不同环境梯度下的植物多样性及其动态研究(博士学位论文). 开封: 河南大学.
- 卢训令, 梁国付, 汤茜, 等. 2014. 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性. 生态学报, **34**(4): 789–797.
- 沈亚强, 张晓可, 赵伟华, 等. 2011. 黄河干流河岸带植物群落特征及其影响因子分析. 水生生物学报, **25**(1): 51–65.
- 王珊, 于明, 刘全儒, 等. 2013. 东江干流浮游植物的物种组成及多样性分析. 资源科学, **35**(3): 473–480.
- 吴征镒. 1991. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, **13**(S4): 1–139.
- 韦翠珍, 张佳宝, 周凌云, 等. 2011. 沿黄河下游湖泊湿地植物群落演替及其多样性研究. 生态环境学报, **20**(1): 30–36.
- 尹锴, 崔胜辉, 赵千钧, 等. 2009. 基于冗余分析的城市森林林下层植物多样性预测. 生态学报, **29**(11): 6086–6093.
- 张文丽, 夏会娟, 张远, 等. 2014. 东辽河河岸带草本植物物种多样性及群落数量分析. 生态学杂志, **33**(5): 1142–1149.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensozioologie: Grundzüge der Vegetationskunde. New York: Springer.
- Boulangeat I, Georges D, Dentant C, *et al.* 2014. Anticipating the spatio-temporal response of plant diversity and vegetation structure to climate and land use change in a protected area. *Ecography*, **37**: 1230–1239.
- Burnett MR, August PV, Brown JH, *et al.* 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology*, **12**: 363–370.
- Cadotte MW, Carscadden K, Mirotchnick N. 2011. Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, **48**: 1079–1087.
- Defosseze E, Courbaud B, Marçais B, *et al.* 2011. Do interac-

- tions between plant and soil biota change with elevation? A study on *Fagus sylvatica*. *Biology Letters*, **7**: 699–701.
- Finnegan J, Regan JT, De Eyto E, *et al.* 2012. Nutrient dynamics in a peatland forest riparian buffer zone and implications for the establishment of planted saplings. *Ecological Engineering*, **47**: 155–164.
- Hodgson JG, Grime JP, Wilson PJ, *et al.* 2005. The impacts of agricultural change (1963–2003) on the grassland flora of central England: Processes and prospects. *Basic and Applied Ecology*, **6**: 107–118.
- Howard JH, Baldwin RF, Brown BL. 2012 Exploratory analysis for complex-life-cycle amphibians: Revealing complex forest-reproductive effort relationships using redundancy analysis. *Forest Ecology and Management*, **270**: 175–182.
- Isbell F, Calcagno V, Hector A, *et al.* 2011. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, **477**: 199–202.
- Podani J. 2006. Braun-Banquet's legacy and data analysis in vegetation science. *Journal of Vegetable Science*, **17**: 113–117.
- Ranalli AJ, Macalady DL. 2010. The importance of the riparian zone and in-stream processes in nitrate attenuation in undisturbed and agricultural watersheds: A review of the scientific literature. *Journal of Hydrology*, **389**: 406–415.
- Sabo JL, Sponseller R, Dixon M, *et al.* 2005. Riparian zones increase regional species richness by harboring different, not more, species. *Ecology*, **86**: 56–62.
- Santiago L, Enrique J, Claudio M, *et al.* 2013. The arable plant diversity of intensively managed farmland: Effects of field position and crop type at local and landscape scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **166**: 55–64.
- Stella J, Rodríguez-González P, Dufour S, *et al.* 2013. Riparian vegetation research in Mediterranean-climate regions: Common patterns, ecological processes, and considerations for management. *Hydrobiologia*, **719**: 291–315.
- Ter Braak CJF, Šmilauer P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). New York: Microcomputer Power, Ithaca.
-
- 作者简介** 赵清贺,男,1982年生,博士,讲师,主要从事景观生态学研究。E-mail: zhaoqinghe@henu.edu.cn
- 责任编辑** 魏中青
-