2015-10-25 DOI: 10.3724/SP.J.1145.2015.04016 http://www.cibj.com/
应用与环境生物学报 *Chin J Appl Environ Biol* 2015, **21** (5): 904-911

辽河保护区及其支流河岸草本植物群落数量分析*

孔维静[1, 2**] 夏会娟[1, 2, 3] 张 远[1, 2] 侯利萍[1, 2]
[1]中国环境科学研究院流域水生态保护技术研究室 北京 100012
[2]环境标准与风险评估国家重点实验室 北京 100012
[3]北京林业大学林学院森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083

摘 要 研究河岸草本植物群落特征是河岸植被生态修复的前提. 采用样线法调查辽河保护区及其支流的河岸带草本植物群落, 分析物种多样性特征, 利用组平均聚类法和除趋势对应分析(DCA)对群落进行分类和排序, 并探讨影响河岸草本植物群落分布的主要环境因子. 结果显示: 辽河保护区及其支流河岸共有草本植物154种, 分属40科96属. 山区河流的河岸草本植物物种多样性低于平原地区河流, 支流的河岸物种多样性高于辽河保护区; 群落物种多样性与河流坡降、蜿蜒度以及河流等级显著相关($P < 0.01$). 聚类分析结果显示, 辽河保护区及其支流河岸带草本植物群落可划分为23种类型, 其中湿生植物群落占据优势, 包括无芒稗(*Echinochloa crusgalli*)群落、水芹(*Oenanthe javanica*)群落、水蓼(*Polygonum hydropiper*)群落、狗尾草(*Murdannia keisak*)群落、蒌蒿(*Artemisia selengensis*)群落、藨草(*Scirpus triqueter*)群落、卵穗荸荠(*Heleocharis soloniensis*)群落、红鳞扁莎(*Pycreus sanguinolentus*)群落、褐穗莎草(*Cyperus fuscus*)群落、芦苇(*Phragmites australis*)群落、两栖蓼(*P. amphibium*)群落、圆锥薹草(*Carex diandra*)+蒌蒿群落和圆锥薹草+沼生蔊菜(*Rorippa islandica*)群落. DCA排序轴与环境因子的相关性分析表明, 海拔、坡降、蜿蜒度和河流等级对辽河保护区及其支流河岸带草本植物群落的分布具有影响, 其中河流等级的贡献率最大, 其次为海拔和坡降, 蜿蜒度贡献率最小. 本研究中拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)、荻(*Triarrhena sacchariflora*)和芦苇是恢复河岸植被的优良物种. 图6 表1 参35

关键词 辽河保护区; 河岸带; 草本植物; 物种多样性; ; 海拔; 河流等级
CLC Q948.1 (231)

Quantitative analysis of riparian herbaceous community in Liaohe River Conservation Area and its tributaries*

KONG Weijing[1, 2**], XIA Huijuan[1, 2, 3], ZHANG Yuan[1, 2] & HOU Liping[1, 2]
[1]*Laboratory of Riverine Ecological Conservation and Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences*, Beijing 100012, China
[2]*State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment*, Beijing 100012, China
[3]*MOE Key Laboratory for Silviculture and Conservation, College of Forest Science, Beijing Forestry University*, Beijing 100083, China

Abstract Research on community characteristics of riparian herbs is an important scientific basis of riparian vegetation rehabilitation. This study aimed to investigate the species diversity and quantitative characteristics of riparian herbs in Liaohe River Conservation Area and its tributaries. Herbaceous communities were investigated by sample line method. Group average clustering analysis and detrended correspondence analysis (DCA) were used to find the major environmental factors affecting the distribution pattern of riparian herbaceous communities. The result showed altogether 154 herbaceous species, belonging to 40 families and 96 genera. The riparian herbaceous species diversity was found to be correlated to river slope, sinuosity and stream order, being lower in rivers of mountain area than in rivers of plain area, and higher in tributaries than in Liaohe River Conservation Area. Clustering analysis classified the herbaceous communities into 23 types, being dominated by hygrophytes including communities of *Echinochloa crusgalli*, *Oenanthe javanica*, *Polygonum hydropiper*, *Murdannia keisak*, *Artemisia selengensis*, *Scirpus triqueter*, *Heleocharis soloniensis*, *Pycreus sanguinolentus*, *Cyperus fuscus*, *Phragmites australis*, *Polygonum amphibium*, *Carex diandra* + *Artemisia selengensis* and *Carex diandra* + *Rorippa islandica*. Correlation analysis between DCA ordination axes and environmental factors showed that the altitude, river slope, sinuosity and stream level were the major environmental factors affecting the distribution pattern of herbaceous communities in the riparian zone of Liaohe River Conservation Area and its tributaries. The results of CCA showed that the contribution ratio of stream level was the

收稿日期 Received: 2015-04-10 接受日期 Accepted: 2015-06-01
*国家自然科学基金项目(41201187)和水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501-001-02)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (41201187) and the Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment (2012ZX07501-001-02)
**通讯作者 Corresponding author (E-mail: kongwj@craes.org.cn)

highest, followed by altitude and slope, with sinuosity the last. The results suggested that riparian herbaceous characteristics are affected by the comprehensive force of altitude, river slope, sinuosity and stream order, and that *Calamagrostis epigeios*, *Triarrhena sacchariflora* and *Phragmites australis* are suitable species for riparian vegetation rehabilitation.

Keywords Liaohe River Conservation Area ; riparian zone; herbs; species diversity; altitude; stream level

河岸带是河流系统与陆地生态系统相互作用的交错带，具有纵向（上游–下游）、横向（河床–洪积平原）和垂向（地上–地下）的三维空间结构[1]. 河岸带独特的空间位置使其受到来自河流和邻近高地的双重影响，导致河岸带生境多样、生产力高，而且资源丰富，因此虽然河岸带在全球生态系统占据很小的一部分，但它对生物多样性的维持和保护具有重要意义[2]. 根据Vannote等的河流连续体理论[3]，由于生境的可达性和复杂性增加，自然河流的中下游河段比源头区能支持更多的河岸物种. 然而，随着人口增长和社会经济的发展，河流生态系统受到过度开发，而河岸带是人类干扰活动集中的区域. 在强烈的人为干扰下，如农田耕种、放牧以及生活垃圾的倾倒等，不同河流河岸带群落的物种组成、结构和功能受到影响[4].

河岸植被格局受到不同尺度上自然的和人为因素的影响，如气候[5]、地形[6]、地质[7]、水文[8]和土地利用[9]等，其空间格局能直接反映它们所受到的干扰. 通过分析不同环境梯度下物种的分布特征可以识别影响物种分布的环境因子. 目前常用的数量分析方法是将植物群落分类与排序相结合，以更好地反映植物种、植物群落和环境因子间相互作用的生态关系[10]. 早在20世纪70-80年代，国际上已有学者使用排序分析了河岸带植物群落格局与环境因素的关系[11-12]，Gregor等使用TWINSPAN将植物分为对洪水耐受度不同的群落类型[13]. 我国对河岸植被多样性和群落的研究日益增多，如在长江三峡地区[14]、黄河干流[15]和东辽河[16]等地开展的研究.

辽河保护区位于我国东北的辽宁省境内，是我国第一个河流保护区，对其河岸草本植物物种多样性和群落的研究尚未见报道. 我们以辽河保护区及其支流为对象，基于野外调查，研究该区域河岸带草本植物物种多样性的变化规律，通过数量分类与排序，研究河岸草本植物群落的分布特征及其与环境因子的相互关系，以期揭示影响河岸带草本植物的主要环境因子，并为辽河保护区河岸带的恢复和管理提供依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

辽河保护区是针对辽河干流保护划定的保护区，始于铁岭市福德店，从福德店至辽河下游双台子河入海口，河流全长516 km，流域面积8.34 × 10^4 km^2，位于121°40′E-125°E，40°40′N-43°30′N之间，流经铁岭、沈阳、鞍山、盘锦、本溪、抚顺、辽阳和营口等11个市的36个县（区）. 辽河保护区及其支流地处中高纬度，属暖温带半湿润大陆性季风气候；温度变化较大，四季寒暖、干湿分明，降水量自西北向东南递增，多年降水量在400-1 000 mm之间；降水量年际变化较大，丰、枯水年降水量比值一般可达2.1-3.5倍；年内分配的差异也较明显，主要集中在6-9月，约占全年降水量的75%. 辽河干流水系发育，支流众多，可分为山区河流及平原区河流两大类，其中山区河流分布在石佛寺以上，包括招苏台河、清河、柴河和范河等，各支流均从左侧汇入，是辽河干流洪水的主要来源，位于流域的东北部山区，比降约在1‰以上. 平原区河流分布在石佛寺以下，各支流均在右侧汇入，包括秀水河、养息牧河、柳河和绕阳河等，属多泥沙河流，是辽河干流主要泥沙来源[17].

1.2 野外调查

针对靠近河流水体边界的河岸开展研究. 在辽河保护区及其支流分别布设样点，其中干流从起点福德店开始，每隔20 km左右设置一个样点，共设置20个，自上游至下游依次编号为G1-20；在支流均匀布设85个样地，依次编号为1-85（图1），调查时间为2013年8月21日-9月20日. 调查时根据专家意见和野外调查经验，在每个样地平行于河流流向紧靠水边设置一条50 m长的样线，记录样地的经纬度及海拔，并定性描述样地受到的人为干扰程度和河岸基质；调查记录样线两侧各50 cm宽度范围内所有草本物种名称和高度，估测样线内物种的盖度. 根据《辽宁植物志》鉴定物种[18]，对暂时不能确定的物种采集标本带回实验室，请专家鉴定.

1.3 研究方法

（1）多样性指数计算. 物种多样性指标选用Patrick丰富度指数、Shannon-wiener多样性指数和Pielou均匀度指数3类，其计算公式[10]如下：

Patrick丰富度指数：$R = S$

Shannon-wiener多样性指数：$H' = -\sum P_i \ln P_i$

Pielou均匀度指数：$J = H'/\ln S$

式中，S为样线内的物种数，P_i为某种的相对盖度[14].

（2）群落分类与排序. 在PC-ORD 4软件中采用Cluster Analysis对105个样地的草本植物进行聚类分析，剔除出现频度小于5%的物种，以物种重要值为指标构成样方数×物种数的数据矩阵用以群落的数量分析. 采用欧式距离进行组平均聚类[19]；排序选用的模型根据DCA排序轴长度确定，如果第1轴的长度＞4.0，就选单峰模型（CCA、CA、DCA）；如果在3.0-4.0，那么选单峰和线性模型（PCA、RDA）均可；如果＜3.0，则选线性模型[20]. 排序在CANOCO4.5软件下进行.

物种频度＝某种出现的样地数/总样地数×100% [21]

（3）群落的命名. 以物种重要值为依据确定群落优势种，参照孙儒泳等的方法[10]命名群落. 每个样地物种重要值的计算方法如下：

相对盖度＝某种的盖度/所有种的盖度总和

相对高度＝某种的平均高度/所有种的平均高度总和

重 要 值＝相对高度＋相对盖度[22]

（4）环境因子的获取. 选择海拔、河流等级、河流坡降和蜿蜒度4个环境因子，分析其与DCA排序轴的相关性，进一步揭示其与植物群落分布的关系. 在调查中，使用GPS获

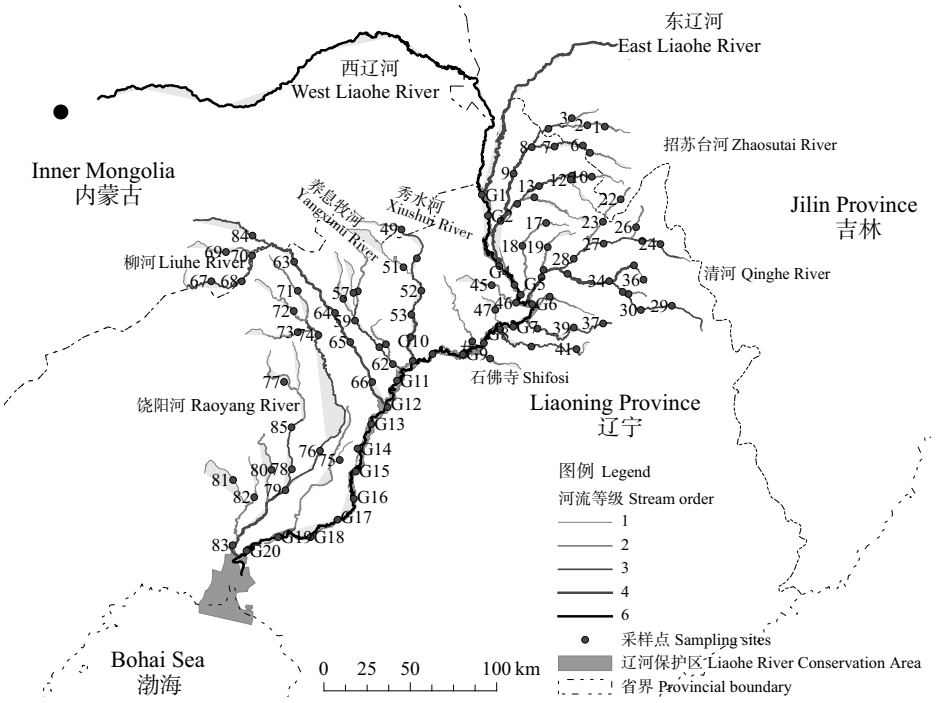


图1 辽河保护区及其支流水系与样地分布示意图.
Fig. 1 Overview of Liaohe River Conservation Area watershed and distribution of sampling sites.

取样地的海拔信息. 参考孟伟等的技术方法[23], 基于ArcGIS软件获取河流等级、河流坡降和蜿蜒度的数据. 根据Strahler河流等级分级方法划分河流等级, 河流下游等级大, 上游等级小.

蜿蜒度是由河流本身的长度与河流上下游之间的直线距离的比值决定的, 计算公式为:

$$S = L_r / L_v$$

式中, S为蜿蜒度, L_r是所测河段本身的长度, L_v是所测河段上下游两点间的直线距离.

河流坡降是指河流上游的海拔与河流下游的海拔之差与河流的流域中心线的比值, 计算公式为:

$$P = (E_u - E_d)/L_r$$

式中, P为坡降, E_u和E_d分别是所测河段入水口和出水口处的海拔.

(5) 数据处理. 用Excel软件计算各指标数值.

植物群落分类和排序分布在PC-ORD 4和CANOCO4.5软件下进行; 在SPSS 19.0下完成山区河流和平原河流之间以及不同支流间物种多样性的单因素方差分析(One-way ANOVA), 并完成多样性与环境因子的相关性分析以及DCA排序轴与环境因子的相关性分析.

2 结果与分析

2.1 河岸带草本植物群落物种组成及多样性

2.1.1 河岸带草本植物群落物种组成 辽河保护区及其支流的105个样地共记录草本植物154种, 分属40科96属. 物种科的组成以菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)和蓼科(Polygonaceae)植物占优势, 分别有物种27种、21种、20种和17种, 分别占草本植物物种总数的17.53%、13.63%、12.99%和11.04%. 含种数较多的属有蓼属(*Polygonum*)、莎草属(*Cyperus*)和蒿属(*Artemisia*)等, 分别有物种13种、7种和7种. 出现频度大于30%的物种有8种, 分别为芦苇(*Phragmites australis*)、无芒稗(*Echinochloa crusgalli*)、藨草(*Scirpus triqueter*)、蒌蒿(*Artemisia selengensis*)、水芹(*Oenanthe javanica*)、绵毛酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium var. salicifolium*)、桃叶蓼(*Polygonum persicaria*)和水莎草(*Juncellus serotinus*), 出现的频度分别为53.33%、52.38%、52.38%、49.52%、40.00%、40.00%、36.19%和34.29%.

2.1.2 河岸带草本植物群落物种多样性 辽河保护区及其支流河岸带草本植物的Shannon-wiener指数、Pielou均匀度指数和Patrick丰富度指数的变化范围分别是0.28-2.83、0.25-0.94和2-33. 山区河流和平原区河流河岸草本植物的Pielou均匀度指数无显著差异($P > 0.05$), 山区河流的物种丰富度和Shannon-wiener指数显著低于平原区河流($P < 0.05$), 支流的物种丰富度和Shannon-wiener指数显著高于辽河保护区($P < 0.05$, 图2). 各主要支流之间的Shannon-wiener指数和Pielou均匀度指数无显著差异, 但物种丰富度存在显著差异($P < 0.05$, 图3). 支流河岸草本物种丰富度在养息牧河最高($R = 22.86 \pm 2.91$), 显著高于招苏台河、清河和绕阳河($P < 0.05$); 招苏台河的物种丰富度最低($R = 8.56 \pm 1.27$). 物种多样性指数与环境因子的相关性(表1)表明: 各多样性指数与海拔无显著相关性($P > 0.05$); Shannon-wiener指数和Patrick丰富度指数与坡降显著正相关($P < 0.05$); 各多样性指数均与蜿蜒度显著负相关($P < 0.05$); Shannon-wiener指数和Patrick丰富度指数与河流等级显著负相关($P < 0.05$).

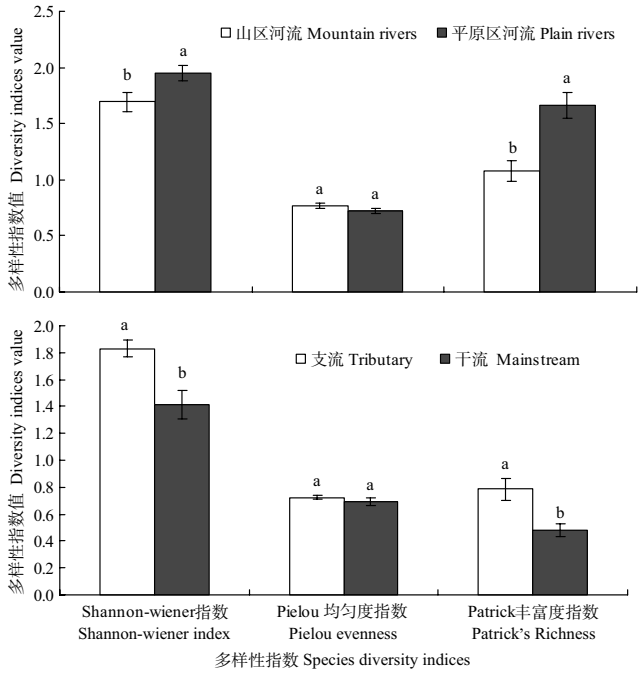


图2 不同河段河岸带草本植物群落物种多样性指数变化. Patrick丰富度指数值×10；不同的字母表示差异显著（$P < 0.05$）.

Fig. 2 Species diversity indices of riparian herbaceous plants in different streams. Patrick richness value × 10; different letters indicate significant difference at the 0.05 level.

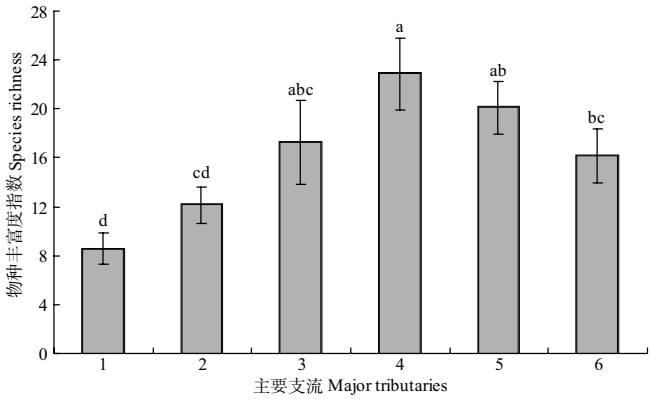


图3 辽河保护区主要支流河岸带草本植物群落物种丰富度的差异. 1：招苏台河；2：清河；3：秀水河；4：养息牧河；5：柳河；6：绕阳河. 不同的字母表示差异显著（$P < 0.05$）.

Fig. 3 Difference in species richness among major tributaries of Liaohe River Conservation Area. 1: Zhaosutai River; 2: Qinghe River; 3: Xiushui River; 4: Yangximu River; 5: Liuhe River; 6: Raoyang River. Different letters indicate significant difference at the 0.05 level.

2.2 河岸带草本植物群落的聚类分析

根据聚类结果，并结合野外调查的群落情况，105个样地可分为23组，代表23种群落类型（图4）. 其中单独为1组的样地44的优势种为无芒稗，把该样地归入无芒稗群落；单独为1组的样地4的植被矮小稀疏，无优势种，剔除该组. 23种群落以湿生植物主导的群落类型占优势，共13个，所占比例为56.52%，分别为无芒稗群落、水芹群落、水蓼（*Polygonum hydropiper*）群落、疣草（*Murdannia keisak*）群落、菱蒿群落、蔗草群落、卵穗荸荠（*Heleocharis soloniensis*）群落、红鳞扁莎（*Pycreus sanguinolentus*）群落、褐穗莎草（*Cyperus fuscus*）群落、芦苇群落、两栖蓼（*Polygonum amphibium*）群落、圆锥薹草（*Carex diandra*）＋菱蒿群落和圆锥薹草＋沼生蔊菜（*Rorippa islandica*）群落；中生群落8个，分别为狗牙根（*Cynodon dactylon*）群落、葎草（*Humulus scandens*）群落、荨麻（*Urtica fissa*）群落、拂子茅群落（*Calamagrostis epigeios*）、荻（*Triarrhena sacchariflora*）群落、茵陈蒿（*Artemisia capillaris*）群落、小飞蓬（*Conyza canadensis*）群落和狗尾草（*Setaria viridis*）群落；水生群落2个，分别为菖蒲（*Acorus calamus*）群落和菰（*Zizania latifolia*）群落. 各群落类型的特征描述如下：

（1）无芒稗群落. 该群落为湿生群落，包含支流上的样地2、9、20、23、28、33、34、36、40、44、81和干流上的G17. 该群落物种多样性较高，优势种无芒稗的平均高度为0.25-0.90 m，盖度为9%-90%，主要伴生种有绵毛酸模叶蓼、豚草（*Ambrosia artemisiifolia*）、野大豆（*Glycine soja*）、狼把草（*Bidens tripartita*）、狭叶香蒲（*Typha angustifolia*）、野稗（*Echinochloa crusgali*）和三裂叶豚草（*Ambrosia trifida*）等.

（2）水芹群落. 该群落为湿生群落，包含位于支流上的样地38、39和42. 该群落物种丰富度较低，但均匀度高，优势种水芹的盖度为10%-58%，主要伴生种有蔗草、狭叶香蒲、桃叶蓼和皱叶酸模（*Rumex crispus*）等.

（3）水蓼群落. 该群落为湿生群落，仅包含位于支流上的样地26. 该群落物种多样性低，优势种水蓼平均高度为0.41 m，盖度为20%，主要伴生种有戟叶蓼（*Polygonum thunbergii*）、无芒稗、水芹和菱蒿等.

（4）疣草群落. 该群落为湿生群落，仅包含位于支流上的样地31. 该群落共有25种草本植物，物种丰富，但均匀度指数仅为0.66，优势种疣草的平均盖度为85%，主要伴生种有鸭跖草（*Commelina communis*）、糠稷（*Panicum bisulcatum*）、水芹、狼把草、合萌（*Aeschynomene indica*）、野大豆和褐穗莎草等.

（5）菱蒿群落. 该群落为湿生群落，包含位于支流上的样地8、10、19、27、29、30、32、37和干流上的G7. 该群落物种多样性较低，优势种菱蒿的平均高度为0.75-2.10 m，盖度为5%-92%. 主要伴生种有芦苇、无芒稗、蔗草、野稗、水芹和

表1 物种多样性和DCA排序轴与环境因子的相关性

Table 1 Correlation of species diversity and DCA ordination axes with environmental factors

环境因子 Environmental factor	海拔 Altitude	坡降 Slope	蜿蜒度 Sinuosity	河流等级 Level
Shannon-wiener指数 Shannon-wiener index	0.138	0.280**	−0.313**	−0.310**
Pielou均匀度指数 Pielou evenness	0.155	0.123	−0.223*	−0.080
Patrick丰富度指数 Patrick's richness	0.053	0.294**	−0.247*	−0.312**
第一轴 Axis 1	−0.080	−0.119	0.125	0.402**
第二轴 Axis 2	−0.525**	−0.367**	0.262**	0.433**

**：在 0.01 水平（双侧）上显著相关；*：在 0.05 水平（双侧）上显著相关.

**: Significant correlation at the 0.01 level (2-tailed); *: Significant correlation at the 0.05 level (2-tailed).

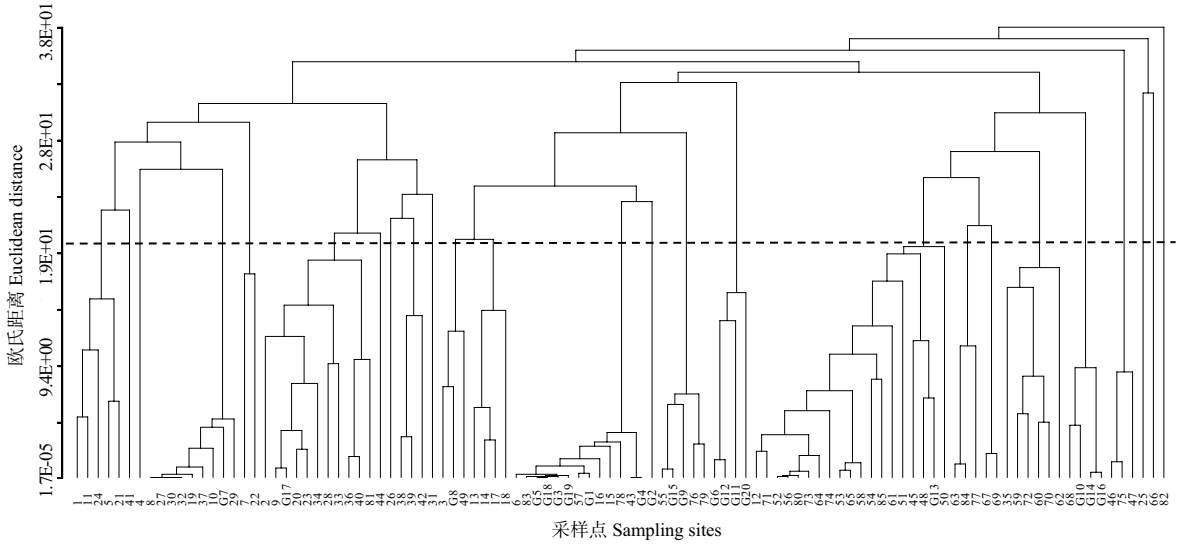


图4 河岸带草本植物群落的组平均聚类树状图.
Fig. 4 Group average clustering analysis dendrogram of riparian herbaceous communities.

戟叶蓼等.

(6) 狗牙根群落. 该群落为中生植物群落, 仅包含位于支流上的样地41. 该群落有17种草本植物, 均匀度较高, 优势种狗牙根的盖度为40%, 主要伴生种有红蓼(*Polygonum orientale*)、葎草、豚草、鸭跖草和大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)等.

(7) 葎草群落. 该群落为中生群落, 包含位于支流上的样地1、5、11、21和24. 该群落物种多样性较低, 优势种葎草的平均高度为0.10-0.63 m, 盖度为16%-90%. 主要伴生种有萎蒿、野大豆、苘麻、拂子茅和红蓼等.

(8) 苘麻群落. 该群落为中生群落, 包含位于支流上的样地7和22. 优势种苘麻的平均高度为0.29-1.53 m, 盖度为16%-93%, 主要伴生种有水芹、红鳞扁莎、豚草、狗尾草和萎蒿等. 苘麻在两个样地虽均占据优势, 但样地7的苘麻群落物种单一, 均匀度低, 而样地23物种丰富, 均匀度高.

(9) 蔗草群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地12、45、48、50、51、52、53、54、56、58、61、64、65、71、73、74、80、85和干流上的G13. 该群落物种多样性在不同样地差异较大, 优势种蔗草的平均高度为0.10-1.04 m, 盖度为5%-94%. 主要伴生种有芦苇、水芹、桃叶蓼、水莎草、卵穗荸荠、水麦冬(*Triglochin palustre*)、菖蒲和三裂叶豚草等.

(10) 卵穗荸荠群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地63、77和84. 该群落物种丰富, 优势种卵穗荸荠的平均高度为0.31-0.58 m, 盖度为57%-90%. 主要伴生种有水莎草、蔗草、红鳞扁莎、圆叶碱毛茛(*Halerpestes cymbalaria*)、三裂慈姑(*Sagittaria trifolia*)和无芒稗等.

(11) 红鳞扁莎群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地67和69. 该群落物种多样性较高, 优势种红鳞扁莎的平均高度为0.13-0.25 m, 盖度为65%-90%. 主要伴生种有水莎草、蔗草、飘拂草(*Fimbristylis dichotoma*)、球穗扁莎(*Pycreus globosus*)和水麦冬等.

(12) 褐穗莎草群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地35、59、60、62、70和72. 除样地72外, 该群落在其余样地的物种多样性均较高, 优势种褐穗莎草的平均高度为0.06-0.13 m, 盖度为13%-85%. 主要伴生种有头状穗莎草(*Cyperus glomeratus*)、无芒稗、蔗草、光果飘拂草(*Fimbristylis stauntoni*)、水莎草和金色狗尾草(*Setaria glauca*)等.

(13) 拂子茅群落. 该群落为中生群落, 包含支流上的样地68以及干流上的G10、G14和G16. 该群落主要分布在干流, 物种多样性较低, 优势种拂子茅的平均高度为0.28-1.09 m, 盖度为8%-100%, 主要伴生种有蔗草、水莎草、茵陈蒿、无芒稗、马唐(*Digitaria sanguinalis*)和荻(*Triarrhena sacchariflora*)等.

(14) 芦苇群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地6、15、16、43、57、78、83以及干流上的样地G1、G3、G4、G5、G18和G19 . 该群落的物种多样性低, 优势种芦苇的平均高度为0.33-2.39 m, 盖度为13%-100%. 主要伴生种有萎蒿、荻、绵毛酸模叶蓼、狭叶香蒲和两栖蓼等.

(15) 两栖蓼群落. 该群落为湿生群落, 仅包含位于干流上的G2. 该群落的物种多样性较低, 植株矮小, 且盖度低, 优势种两栖蓼的平均高度为0.09 m, 盖度为29%, 主要伴生种有芦苇、问荆(*Equisetum arvense*)和蔗草等.

(16) 圆锥臺草+萎蒿群落. 该群落为湿生群落, 包含位于支流上的样地13、14、17和18. 该群落的物种多样性较低, 优势种圆锥臺草的平均高度为0.33-0.63 m, 盖度为16%-49%, 萎蒿的平均高度为0.92-1.59 m, 盖度为10%-52%. 主要伴生种有水莎草、菖蒲、桃叶蓼、芦苇和葎草等.

(17) 菖蒲群落. 该群落为水生群落, 包含位于支流上的样地3、49和干流上的G8. 优势种菖蒲的平均高度为0.55-0.73 m, 盖度为10%-62%, 主要伴生种有蔗草、水莎草、问荆、大刺儿菜(*Cephalonoplos setosum*)、无芒稗和水蓼等.

(18) 荻群落. 该群落为中生群落, 包含位于支流上的样地55、76、79以及干流上的G9和G15. 该群落的物种多样性在干流较低, 而在支流较高, 优势种荻的平均高度为0.60-1.73 m, 盖度为20%-51%, 主要伴生种有两栖蓼、牛鞭草

（*Hemarthria altissima*）、水芹、芦苇和问荆等.

（19）茵陈蒿群落. 该群落为中生群落，包含样地G6、G11、G12和G20. 该群落全部位于干流上，物种多样性较低，优势种茵陈蒿的平均高度为0.77-1.60 m，盖度为24%-100%，主要伴生种有野艾蒿（*Artemisia lavandulaefolia*）、金色狗尾草、三裂叶豚草、野大豆、芦苇、小飞蓬和藜（*Chenopodium album*）等.

（20）菰群落. 该群落为水生群落，包含位于支流上的样地46、47和75. 优势种菰的盖度为42%-82%，主要伴生种有苘草（*Arthraxon hispidus*）、野大豆、水芹、菖蒲和蔗草等.

（21）小飞蓬群落. 该群落为中生群落，仅包含位于支流上的样地25. 该群落物种多样性低，优势度明显，优势种小飞蓬的盖度为60%，主要伴生种有豚草、鸡眼草（*Kummerowia striata*）、山莴苣（*Lagedium sibiricum*）和狗尾草等.

（22）狗尾草群落. 该群落为中生群落，仅包含位于支流上的样地66. 该群落物种多样性低，优势种狗尾草的平均高度为0.27 m，盖度为32%，主要伴生种有虎尾草（*Chloris virgata*）、鼠掌老鹳草（*Geranium sibiricum*）、反枝苋（*Amaranthus retroflexus*）和狗牙根等.

（23）圆锥薹草+沼生蔊菜群落. 该群落为湿生群落，仅包含位于支流上的样地82. 该群落物种丰富度低，但均匀度高，优势种圆锥薹草的平均高度为0.16 m，盖度为76%，沼生蔊菜的平均高度为0.03 m，盖度为62%. 伴生种多为莎草科植物，如翼果薹草（*Carex neurocarpa*）、异型莎草（*Cyperus difformis*）、白颖薹草（*Carex duriuscula* subsp. *rigescens*）和尖嘴薹草（*Carex leiorhyncha*）等.

2.3 辽河保护区及支流河岸带草本植物群落的DCA排序

排序分析结果显示，DCA第1排序轴的长度为5.499，大于4.0，适合采用单峰模型分析，因此本研究采用DCA排序方法研究河岸带草本植物群落的分布格局. DCA前4个排序轴的特征值分别是0.653、0.534、0.413和0.361，其中第1排序轴的特征值最大，第2轴次之，所以根据前两轴做出DCA排序的散点图（图5）. DCA第1、第2排序轴与各环境因子的相关性分析（表1）表明，第1轴与河流等级极显著正相关（$P < 0.01$），第2轴与海拔和坡降极显著负相关（$P < 0.01$），而与蜿蜒度和河流等级极显著正相关（$P < 0.01$）. 表明第1轴反映了植物群落环境的河流等级梯度，即从左至右河流等级逐渐增加. 第2轴从下至上海拔和坡降逐渐降低，而蜿蜒度和河流等级逐渐增加. 通过CCA排序分析不同环境因子对河岸带草本植物群落分布的贡献率（图6），其中河流等级的贡献率最大，为24.73%，其次为海拔和坡降，分别为17.35%和15.34%，蜿蜒度的贡献率最小，为9.14%.

结合群落聚类分析结果，大多群落类型分布于DCA排序图中部，即各环境因子均处于中等水平的区域，包括菱蒿群落、无芒稗群落、圆锥薹草+菱蒿群落、菖蒲群落、水芹群落和菰群落等. 拂子茅群落、茵陈蒿群落分布于右上部，该区域的河段蜿蜒度和河流等级较高，而海拔和坡降较低；狗尾草群落、小飞蓬群落和狗牙根群落分布于右下部，该区域的河段蜿蜒度较低，而海拔和坡降较高；圆锥薹草+沼生蔊菜群落、荻群落和芦苇群落分布于中上部，该区域的河段蜿蜒度较高，而海拔和坡降较低.

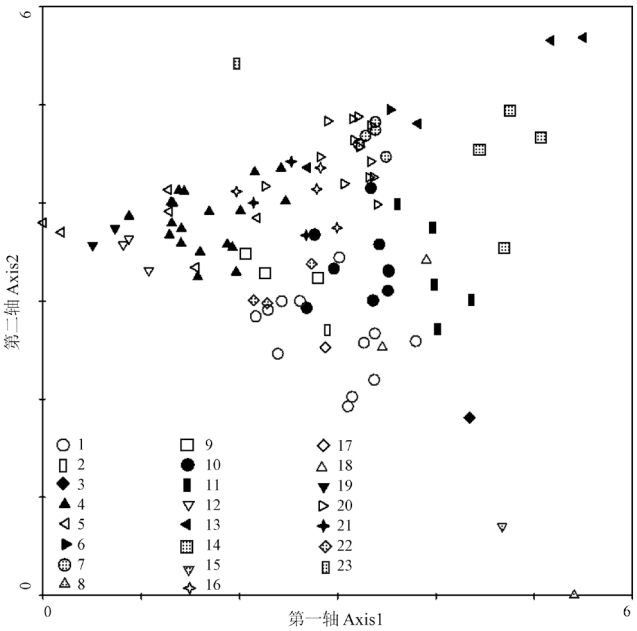


图5 河岸带草本植物群落的DCA排序图. 1：无芒稗群落；2：疣草群落；3：狗牙根群落；4：蔗草群落；5：褐穗莎草群落；6：两栖蓼群落；7：荻群落；8：小飞蓬群落；9：水芹群落；10：菱蒿群落；11：葎草群落；12：卵穗荸荠群落；13：拂子茅群落；14：茵陈蒿群落；15：狗尾草群落；16：圆锥薹草+菱蒿群落；17：水蓼群落；18：苘麻群落；19：红鳞扁莎群落；20：芦苇群落；21：菖蒲群落；22：菰群落；23：圆锥薹草+沼生蔊菜群落.

Fig. 5 DCA ordination graph of riparian herbaceous communities. 1: *Echinochloa crusgalli* community; 2: *Murdannia keisak* community; 3: *Cynodon dactylon* community; 4: *Scirpus triqueter* community; 5: *Cyperus fuscus* community; 6: *Polygonum amphibium* community; 7: *Triarrhena sacchariflora* community; 8: *Conyza canadensis* community; 9: *Oenanthe javanica* community; 10: *Artemisia selengensis* community; 11: *Humulus scandens* community; 12: *Heleocharis soloniensis* community; 13: *Calamagrostis epigeios* community; 14: *Artemisia capillaris* community; 15: *Setaria viridis* community; *16: Carex diandra* + *Artemisia selengensis* community; 17: *Polygonum hydropiper* community; 18: *Urtica fissa* community; 19: *Pycreus sanguinolentus* community; 20: *Phragmites australis* community; 21: *Acorus calamus* community; 22: *Zizania latifolia* community; 23: *Carex diandra* + *Rorippa islandica* community.

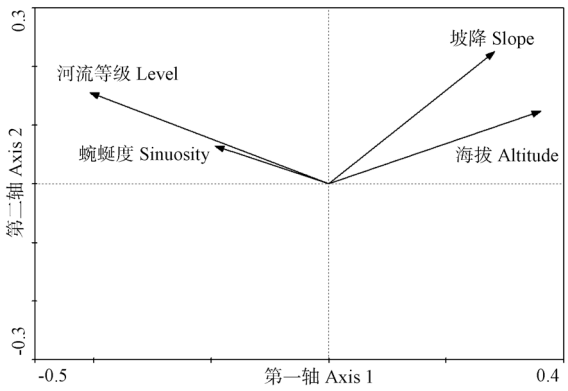


图6 河岸带草本植物群落的CCA排序图.

Fig. 6 CCA ordination graph of riparian herbaceous communities.

3 讨论

与东辽河河岸群落物种多样性在中上游较高，下游最

低[16]相比，本研究中辽河干流上游的物种多样性最低. 这与上下游间环境条件的差异有关：第一，东辽河的下游和辽河干流的上游区接近汇合处，人为活动干扰严重，降低了河岸物种多样性. 第二，辽河干流自石佛寺从山区进入平原区，石佛寺以上的山区河流河岸基质以砂砾土占优势[17]，持水保肥性能差，不利于植物生存，同时山区性河流河漫滩较窄，也不利于更多物种的生存；而石佛寺以下的平原区河流河岸基质以沙质土壤为主，土壤条件适宜物种生存，同时平原区河流易于形成较宽的河漫滩，为生物提供多种生境，允许更多的物种存在[24]. 第三，平原区的支流均在西侧汇入，包括秀水河、养息牧河、柳河和绕阳河，它们的物种丰富度显著高于山区支流招苏台河和清河. 因此，多方因素共同作用，导致辽河保护区及支流河岸草本植物群落的多样性在下游较大.

物种多样性是丰富度和均匀度的综合反映[10]. 虽然辽河保护区各支流的物种丰富度存在差异，但受均匀度的影响，它们的物种多样性并无显著差异. 群落的空间格局也会影响物种多样性的变化，山区和平原区的支流群落类型复杂多样，其空间格局可能不是影响二者物种多样性存在差异的主要因素. 但辽河保护区和支流的主要群落类型存在差异，因而影响物种多样性的变化. 辽河保护区的主要群落类型包括以禾本科物种如芦苇、拂子茅和荻占优势的群落以及茵陈蒿群落等，禾本科植物种子小，数量多，具有根状茎或匍匐茎[18]，可进行种子繁殖、根蘖繁殖或根茎繁殖，易于集群分布形成单优群落[10]，从而降低了下游的物种多样性. 支流的主要群落类型包括无芒稗群落、水芹群落、萎蒿群落、葎草群落、薤草群落、褐穗莎草群落、拂子茅群落、卵穗荸荠、芦苇群落和菰群落等，虽然葎草、拂子茅、芦苇和菰易于形成单优群落，但其他优势种多为分散生长型，为伴生种的生存和生长提供了机会，群落中物种分布较为均匀，提高了支流河岸的物种多样性[16].

本研究23种群落类型中有13种湿生群落、8种中生群落和2种水生群落，湿生植物群落占据优势，这与太子河[25]和东辽河[16]河岸带植被的研究结果一致. 群落的水分生态类型特征较好地体现了河岸带特殊的地理位置及物种对河岸带区域的适应. 通过DCA排序进一步揭示出了植物群落与环境因子间的相互关系，排序结果表明植物群落分布受河流等级、海拔、坡降和蜿蜒度的影响. CCA排序表明河流等级是最主要影响环境因子，其次为海拔和坡降，蜿蜒度的影响程度最小. 不同的群落类型具有特定的分布范围，大多数群落类型分布在各环境因子处于中等水平的区域，这和中度干扰假说吻合，即中等程度的干扰能维持高生物多样性[26]；部分群落因物种的生活习性不同而分布在不同生境. 例如拂子茅、茵陈蒿、荻和芦苇多生长于低海拔地区的河岸沙地[27]，因此在本研究中这两种群落分布于河段蜿蜒度较高，而海拔和坡降较低的区域. 而且拂子茅、荻和芦苇具有较强的生态适应性，根茎发达，是固定泥沙、保护河岸的优良物种[27].

植物群落的分布格局是气候、土壤和地形等各种环境因子综合作用的结果[28]. 很多研究表明河岸植被的空间分布受到海拔[29-30]和河流等级[31-32]的影响，本研究中河流坡降和蜿蜒度也是主要的影响因子. 海拔能够影响洪水周期、水位、土壤养分和微生境等[33]，河流等级与河道形态、生境类型和比例、生境稳定性和流量相关[34]，坡降与河流流速、基质组成、河道形态以及河岸栖息地类型相关，河流的蜿蜒度与生境多样性、沉积物运输以及河流形状有关[35]，各种环境因子的异质性造就了多样的河岸生境，因而植物群落的分布随着环境梯度的变化而呈现规律性. 在河岸带生态恢复时，应根据不同的生境条件，筛选适宜的物种以达到良好的恢复效果.

参考文献 [References]

1 Gregory SV, Swanson FJ, Mckee WA, Kenneth W. An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land and water [J]. *Bioscience*, 1991, **41**: 540-551

2 Naiman RJ, Décamps H, Pollock M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity [J]. *Ecol Appl*, 1993, **3** (2): 209-212

3 Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, James RS, Cushing CE. The river continuum concept [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1980, **37** (1): 130-137

4 Bruno D, Belmar O, Sánchez-Fernández D, Velasco J. Environmental determinants of woody and herbaceous riparian vegetation patterns in a semi-arid mediterranean basin [J]. *Hydrobiologia*, 2014, **730** (1): 45-57

5 Nilsson C, Grelsson G, Dynesius M, Johansson ME, Sperens U. Small rivers behave like large rivers, effect of postglacial history on plant species richness along riverbanks [J]. *J Biogeogr*, 1991, **18** (5): 533-541

6 Baker WL. Macro- and micro-scale influences on riparian vegetation in Western Colorado [J]. *Ann Assoc Am Geogr*, 1989, **79** (1): 65-78

7 Lyon J, Gross NM. Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors [J]. *For Ecol Manage*, 2005, **204** (2-3): 267-278

8 Tabacchi E, Planty-Tabacchi A, Salinas MJ, Décamps H. Landscape structure and diversity in riparian plant communities: a longitudinal comparative study [J]. *Regul Rivers Res Manage*, 1996, **12** (4-5): 367-390

9 Allan JD. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems [J]. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 2004, **35**: 257-284

10 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993 [Sun RY, Li B, Zhuge Y, Shang YC. General Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993]

11 Adams DE, Anderson RC. Species response to a moisture gradient in central Illinois forests [J]. *Am J Bot*, 1978, **67** (3): 381-392

12 Bell DT. Gradient trends in the streamside forest of central Illinois [J]. *Bull Torrey Bot Club*, 1980, **107** (2): 172-180

13 Gregor TA, Jonathan MF, Michael LS. Relating riparian vegetation to present and future stream flows [J]. *Ecol Appl*, 1994, **4** (3): 544-554

14 江明喜, 蔡庆华. 长江三峡地区干流河岸植物群落的初步研究[J]. 水生生物学报, 2000, **24** (5): 458-463 [Jiang MX, Cai QH. Preliminary studies on the riparian plant communities of main channel in the Three Gorges Area, the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2000, **24** (5): 458-463]

15 沈亚强, 张晓可, 赵伟华, 王海军. 黄河干流河岸带植物群落特征及其影响因子分析[J]. 水生生物学报, 2011, **35** (1): 51-66 [Shen YQ, Zhang XK, Zhao WH, Wang HJ. Riaprian plants in the mainstream of the Yellow River: assemblage characteristics and its influencing factors [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2011, **35** (1): 51-66]

16 张文丽, 夏会娟, 张远, 孔维静, 贾晓波, 姚懿函. 东辽河河岸带草本植物物种多样性及群落数量分析[J]. 生态学杂志, 2014, **33** (5):

1142-1149 [Zhang WL, Xia HJ, Zhang Y, Kong WJ, Jia XB, Yao YH. Herbaceous species diversity and community quantitative analysis in the riparian zone of East Liaohe River [J]. *Chin J Ecol*, 2014, **33** (5): 1142-1149]

17 水利部松辽水利委员会. 辽河志[M]. 长春: 吉林出版社, 2004

18 辽宁植物志编辑委员会. 辽宁植物志(上、下册)[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992

19 Sneath PHA, Sokal RR. Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification [M]. San Francisco: Freeman, 1973

20 Lepš L, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO [M]. New York: Cambridge University Press, 2003

21 王丽媛, 郭东罡, 白中科, 上官铁梁. 露天煤矿生态复垦区刺槐+油松混交林下草本植物组成及空间分布格局[J]. 应用与环境生物学报, 2012, **18** (3): 399-404 [Wang LY, Guo DG, Bai ZK, Shangguan TL. Species composition and spatial pattern of understory herbaceous plants on an ecological rehabilitation site from open coal mining [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2012, **18** (3): 399-404]

22 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15** (3): 268-277 [Ma KP, Huang JH, Yu SL, Chen LZ. Plant community biodiversity in Dongling Mountain, Beijing, China: Ⅱ. Species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecol Sin*, 1995, **15** (3): 268-277]

23 孟伟, 张远, 渠晓东. 河流生态调查技术方法[M]. 北京: 科学出版社, 2011 [Meng W, Zhang Y, Qu XD. Guideline for River Ecological Survey [M]. Beijing: Science Press, 2011]

24 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报, 1996, **7** (4): 439-448 [Chen JQ. Riparian vegetation characteristics and their functions in ecosystems and landscapes [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1996, **7** (4): 439-448]

25 潘雪莲, 张远, 孙建新, 夏会娟, 孔维静. 辽宁太子河河岸带草本植物特征研究[J]. 生态科学, 2013, **32** (5): 616-623 [Pan XL, Zhang Y, Sun JX, Xia HJ, Kong WJ. Research on characteristics of riparian herbs in Taizi River, Liaoning [J]. *Ecol Sci*, 2013, **32** (5): 616-623]

26 Connel JH. Diversity in tropical rainforests and coral reefs [J]. *Science*, 1996, **199** (4335): 1302-1310

27 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

28 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 江源, 穆桂金, 杨发相. 中昆仑山北坡策勒河流域生态因素对植物群落的影响[J]. 草业学报, 2010, **19** (3): 38-46 [Gui DW, Lei JQ, Zeng FJ, Jiang Y, Mu GJ, Yang FX. Effect of ecological factors on plant communities of the Cele River Basin on the north slope of the middle Kunlun Mountains [J]. *Acta Pratac Sin*, 2010, **19** (3): 38-46]

29 Spence DHN. Zonation of plants in freshwater lakes [J]. *Adv Ecol Res*, 1982, **12**: 37-125

30 许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 龚雪平, 郝媛媛, 张立勋. 黑河河岸植被与环境因子间的相互作用[J]. 生态学报, 2011, **31** (9): 2421-2429 [Xu SS, Sun GJ, Liu HM, Gong XP, Hao YY, Zhang LX. The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31** (9): 2421-2429]

31 Ekness P, Randhir T. Effects of riparian areas, stream order, and land use disturbance of watershed-scale habitat potential: an ecohydrologic approach to policy [J]. *J Am Water Resour Assoc*, 2007, **43** (6): 1468-1482

32 Khomo L, Rogers KH. Stream order controls geomorphic heterogeneity and plant distribution in a savanna landscape [J]. *Austral Ecol*, 2009, **34** (2): 170-178

33 Day RT, Keddy PA, Mcneill J, Carleton T. Fertility and disturbance gradients: a summary model for riverine marsh vegetation [J]. *Ecology*, 1988, **69** (4): 1044-1054

34 Higgins JV, Bryer MT, Khoury ML, Fitzhugh TW. A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning [J]. *Conserv Biol*, 2005, **19** (2): 432-445

35 孔维静, 张远, 王一涵, 孟伟. 基于空间数据的太子河河流生境分类[J]. 环境科学研究, 2013, **26** (5): 487-493 [Kong WJ, Zhang Y, Wang YH, Meng W. River habitats classification in Taizi River based on spatial data [J]. *Res Environ Sci*, 2013, **26** (5): 487-493]