

# 永定河河滨带植物群落分布与土壤环境的关系分析

于小飞, 黄官刚, 江 澜, 贾学桦

北京市科学技术研究院资源环境研究所, 北京

收稿日期: 2024年6月24日; 录用日期: 2024年7月16日; 发布日期: 2024年7月24日

## 摘 要

采用TWINSpan (双向指示种分析)和CCA排序(典范对应分析)的方法, 针对永定河河滨带恢复过程中的植被划分了群落类型, 并分析了植被空间分布与土壤环境因子关系, 明确了永定河河滨带植被空间分布的关键影响因子。结果表明: 18个样地42种植物可划分为4个群落类型, 即猪毛蒿——南牡蒿群落、野牛草——狗牙根群落、草地早熟禾群落和鬼针草——裂叶豚草群落。植物群落物种和土壤因子的CCA分析表明: 猪毛蒿、南牡蒿与较高土壤速效钾和较低的土壤阳离子交换容量地对应; 圆叶牵牛、葎草、鬼针草、野艾蒿、裂叶豚草、杠柳、地肤与较高的土壤速效钾、土壤总钾对应, 其他物种与环境因子的关系不明显。研究结论将为永定河河滨带的生态恢复提供科学支持。

## 关键词

永定河, 植物群落, 双向指示种分析, 典范对应分析, 土壤环境因子

# Analysis of the Relationship between Plant Community Distribution and Soil Environment in the Yongding River Riparian Zone

Xiaofei Yu, Guangang Huang, Lan Jiang, Xuehua Jia

Institute of Resources and Environment, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 16<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 24<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Using the methods of TWINSpan (two-way indicator species analysis) and CCA ordination (canon-

ical correspondence analysis), the vegetation community types in the restoration process of the Yongding River riparian zone were divided, and the relationship between the spatial distribution of vegetation and soil environmental factors was analyzed, and the key factors affecting the spatial distribution of vegetation in the Yongding River riparian zone were determined. The results showed that 42 plant species in 18 plots could be divided into 4 community types, namely, *Artemisia scoparia*—*Artemisia sphaerocephala* community, *Buffalo grass*—*Cynodon dactylon* community, *Kentucky bluegrass* community and *Bidens pilosa*—*Ambrosia schizonepeta* community. CCA analysis of plant community species and soil factors showed that *Artemisia scoparia* and *Artemisia sphaerocephala* corresponded to higher soil available potassium and lower soil cation exchange capacity; *Pyrophila rotundifolia*, *Humulus sphaerocephala*, *Bidens pilosa*, *Artemisia argyi*, *Ambrosia sphaerocephala*, *Periploca chinensis*, and *Kochia scoparia* corresponded to higher soil available potassium and total soil potassium, and the relationship between other species and environmental factors was not obvious. The research conclusions will provide scientific support for the ecological restoration of the Yongding River riparian zone.

## Keywords

Yongding River, Plant Community, Two-Way Indicator Species Analysis, Canonical Correspondence Analysis, Soil Environmental Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

自然界的植物群落是植物、环境相互作用的产物。群落结构的空间格局分布受环境因素、空间因素的梯度规律影响[1] [2]。土壤为植被生长提供所需要的养分和水分，土壤的差异会影响植物群落多样性和其空间格局[3]。在植被的生长、发育及其群落演替等方面，土壤环境也扮演着至关重要的角色。

数量分类及排序等定量分析方法的发展，丰富了植被格局、植被与环境关系的研究手段，数量分类及排序等定量分析方法被广泛应用于群落与环境之间相互关系的研究中[4]。数量分析为客观、准确地揭示植被与环境之间的生态关系提供了合理、有效的途径，已成为植被生态学研究的重要内容[5]。数量分类和排序可以深刻地揭示植物种、植物群落与环境之间的生态关系[6]。

本研究采用双向指示种(TWINSPAN)分类和典范对应分析(CCA)方法，分析了土壤环境因子对植物生长的影响以及这些因子与植物分布的关联，揭示了植被及其环境因子在空间上的分布模式。这种分析有助于明确植被与环境因子之间的相互作用程度，进而为永定河沿岸地区的植被恢复和重建工作提供科学指导。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

研究区域位于永定河上游北京市门头沟区，多年平均气温为 11.7℃，多年平均降水量约 600 mm，属中纬度大陆性季风气候。土壤为地带性褐土，发育着粗骨性褐土，而阴坡发育着典型棕壤与淋溶褐土。该区域为石质山区，地形破碎，险坡面积比例高，是山洪易发区，区域水土流失敏感性较高。原生植物群落主要有芦苇群落、狗尾草群落、荆条群落等。

## 2.2. 调查内容及方法

在研究区内, 根据土壤状况、植被类型分布状况、生境类型等生态环境因子, 采取网格布点法与典型抽样相结合的办法进行植被、土壤综合采样布点调查。

考虑到研究区面积不是很大, 设置样地 3~8 个(陈家庄设置 7 个, 王平湿地 8 个, 韭园 3 个), 每个样地设 3 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  小样方。记录每一样地植物种类、每种植物株数、株高、多度、盖度以及样方的总盖度。在 18 个样地中共调查到 42 个物种, 构成  $18 \times 42$  的数据矩阵。

在每个样地内随机取土样 3 个土壤样品, 混合后回室内分析, 并取平均值作为计算参数。并分上下两层采集(0~10 cm 和 10~20 cm)土壤样品, 分别测定土壤理化性质(pH 值、机械组成、容重、有机质、电导率、阳离子交换量、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾), 其中 pH 值采用酸度计测定法, 土壤机械组成采用吸管法, 容重采用烘干称重法, 有机质的测定采用重铬酸钾容量法, 电导率采用电导法, 阳离子交换量采用一次性平衡法、全氮采用半微量开氏法测定, 碱解氮采用碱解扩散法, 全磷的测定采用熔融——比色法, 速效磷采用浸提——比色法, 全钾采用熔融——火焰光度法, 速效钾采用浸提——火焰光度法。

## 2.3. 数据处理

对植被原始数据处理后, 计算重要值, 具体计算方法: 重要值 = (相对盖度 + 相对频度 + 相对优势度)/300。对植物群落进行数量分析, TWINSpan 分类使用 WinTwins 3.2 软件包实现, CCA 排序在 Ter Braak 编制的 CANOCO 4.5 软件包中实现。

## 3. 结果与分析

### 3.1. TWINSpan 分类

将 8 月份 18 个样地、42 个物种排列成 TWINSpan 双向分类矩阵。样地分类结果位于矩阵上方, 物种编号位于矩阵左侧, 样地编号(沿垂直方向的数字)位于矩阵下方, 物种的分类结果位于矩阵右侧, 矩阵中间为每个物种在各个样方中的丰富度等级。TWINSpan 分类结果见图 1, 结合实际生态学意义, 最终采取第三级水平的划分。

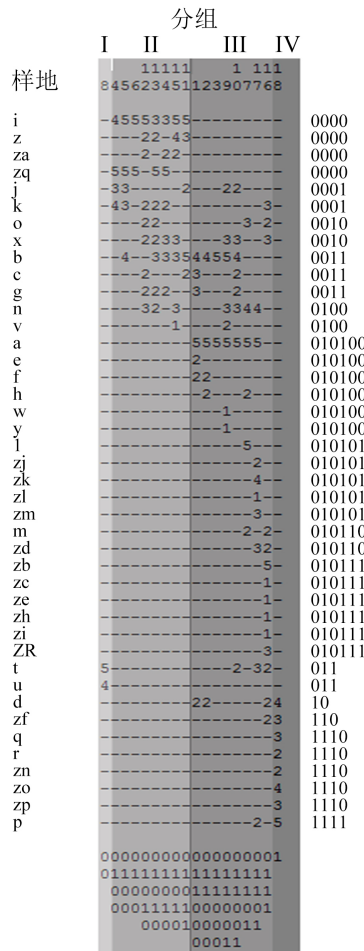
根据 TWINSpan 划分出的植物群落类型中, 参考 TWINSpan 分析过程中各层次切分依据的拟种, 将矩阵图重新排列出特征种简图, 分别选出优势种和特征种。本项研究植物群落类型的命名采用优势种与特征种学名相搭配命名的原则。植物群落的 TWINSpan 分类结果矩阵见图 1 所列。18 个样地 42 个物种可划分为: 猪毛蒿——南牡蒿群落、野牛草——狗牙根群落、草地早熟禾群落和鬼针草——裂叶豚草群落。

#### I 猪毛蒿——南牡蒿群落

该群落只有 1 个样地, 海拔高度为 176 m, 群落平均盖度约为 23%, 优势种猪毛蒿的盖度为 20%, 平均高度为 35 cm, 重要值为 0.8101。特征种为南牡蒿, 其重要值为 0.1899。群落物种种类最少, 为王平湿地的自然植物群落。

#### II 野牛草——狗牙根群落

该群落共涉及 8 个样地, 分布海拔高度为 135~176 m, 群落平均盖度为 70%, 优势种野牛草的盖度约为 40%, 平均高度为 25 cm, 重要值为 0.416。狗牙根是仅出现在该群落类型的特征种, 在群落中广泛分布, 其重要值仅次于野牛草, 为 0.3363, 该群落类型主要分布于陈家庄河岛和王平湿地比较湿润的地方。



a: 草地早熟禾; b: 马唐; c: 画眉草; d: 园叶牵牛; e: 裂叶牵牛; f: 鸭趾草; g: 马齿苋; h: 马蔺; i: 狗牙根; j: 稗草; k: 榆树; l: 五叶爬山虎; m: 苦买菜; n: 狗尾草; o: 碎米莎草; p: 鬼针草; q: 野艾蒿; r: 葎草; t: 猪毛蒿; u: 南牡蒿; v: 苍耳; w: 铁苋菜; x: 反枝苋; y: 苏门白酒菊; z: 牛筋草; za: 铁杆蒿; zb: 土麦冬; zc: 车前; zd: 蒲公英; ze: 旱柳; zf: 大籽蒿; zh: 桑树; zi: 打碗花; zj: 紫花地丁; zk: 石竹; zl: 小白酒菊; zm: 小香椿; zn: 杠柳; zo: 裂叶豚草; zp: 地肤; zq: 野牛草; ZR: 野青茅。

**Figure 1.** TWINSpan classification of plant communities  
**图 1.** 植物群落的 TWINSpan 分类图

### III 草地早熟禾群落

该群落共有 8 个样地，分布海拔高度为 126~164 m，群落平均盖度为 26.25%，优势种草地早熟禾的盖度 14%，平均高度为 14 cm，重要值为 0.4940。该群落主要分布于陈家庄左岸、自然平地，王平湿地左岸，韭园左、右岸。

### IV 鬼针草——裂叶豚草群落

该种群只有 1 个样地，分布海拔高度为 163 m，群落平均盖度约为 99.5%，优势种鬼针草的盖度为 60%，平均高度为 15 cm，重要值为 0.4080。特征种为裂叶豚草，其重要值为 0.1763。该群落分布于韭园自然平地。

### 3.2. 植物群落与土壤环境因子的关系

对 18 个样地、42 个种的重要值数据及 13 个土壤环境因子的数据进行 CCA 排序。CCA 排序的前两个轴只保留了物种数据总方差的 36.4%，前两轴的物种与环境相关系数相对较高，共解释了物种 - 环境关系总方差的 42.8% (表 1)。由此可见只保留 CCA 的前两轴，就能很好地反映永定河植被与土壤理化因子之间的关系。

**Table 1.** CCA ranking statistics results

**表 1.** CCA 排序统计结果

	排序轴			
	1	2	3	4
特征值	0.87	0.759	0.67	0.524
物种 - 环境相关性	0.997	0.965	0.932	0.935
	累计百分比			
物种数据	19.4	36.4	51.3	63
物种 - 环境数据	22.8	42.8	60.4	74.1

土壤化学因子与排序轴相关系数见表 2，土壤速效钾( $r = 0.651$ ,  $P < 0.01$ )与第一排序轴相关关系极显著，土壤阳离子交换容量( $r = 0.4696$ ,  $P < 0.05$ )与第一排序轴相关关系显著，第二排序轴与土壤因子相关性均不显著。

**Table 2.** Correlation coefficients between soil environmental factors and CCA ranking axes

**表 2.** 土壤环境因子与 CCA 排序轴相关系数

土壤因子	CCA1	CCA2
AN	0.1252	-0.109
TN	0.245	-0.1532
TP	0.4522	-0.146
AP	0.2097	-0.0444
TK	-0.0844	0.2122
AK	0.651**	-0.0357
OM	0.4082	-0.229
CEC	-0.4696*	-0.3836
EC	0.0884	0.0214
pH	0.427	0.0189
SWC	-0.0022	-0.0925
SBD	0.4009	0.0214
ST	-0.3058	-0.0994

\*\* : 表示  $P < 0.01$ , \* : 表示  $P < 0.05$ 。

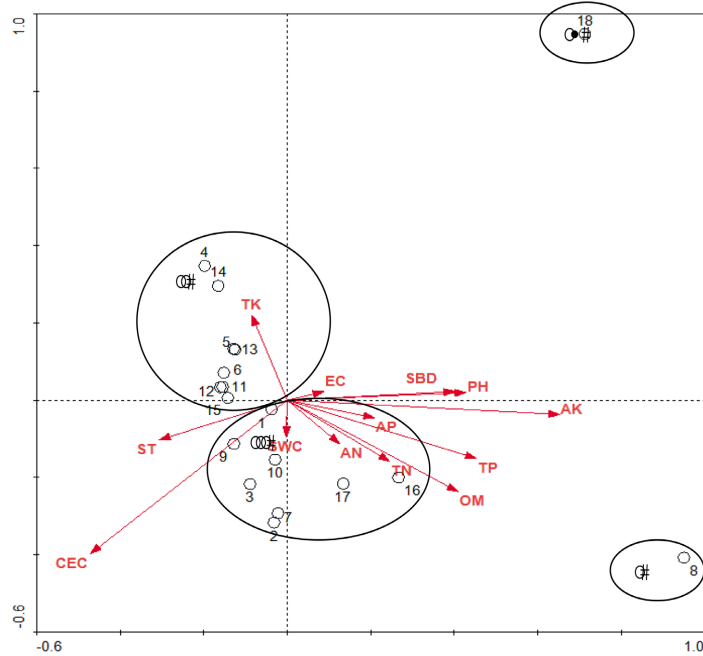


Figure 2. CCA two-dimensional ordination diagram of Yongding River sample plot and soil factors

图 2. 永定河样方与土壤因子的 CCA 二维排序图

由图 2 可以看出，群落 I 位于排序图的右下方，样地与较高土壤速效钾和较低的土壤阳离子交换容量地对应。群落 II、III 位于排序图的中部，与环境因子的关系不明显。群落 IV 位于排序图的右上方，与较高的土壤速效钾、土壤总钾对应。

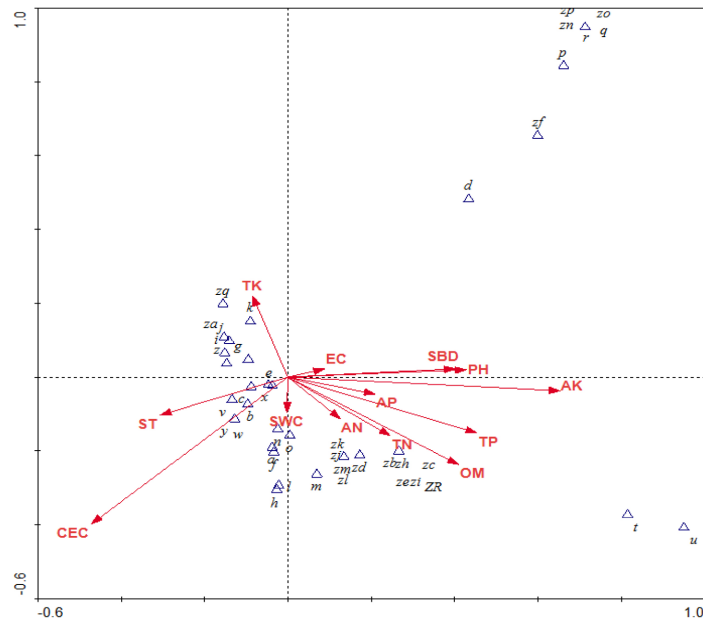


Figure 3. CCA two-dimensional ordination diagram of species and soil factors in Yongding River

图 3. 永定河物种与土壤因子的 CCA 二维排序图



从图3永定河物种与土壤因子的CCA二维排序图来看,除猪毛蒿、南牡蒿位于排序图的右下方,与较高土壤速效钾和较低的土壤阳离子交换容量地对应;圆叶牵牛、葎草、鬼针草、野艾蒿、裂叶豚草、杠柳、地肤等位于排序图的右上方,与较高的土壤速效钾、土壤总钾对应,其他物种均位于排序图的中部,与环境因子的关系不明显。

#### 4. 小结

通过TWINSpan分析,我们将研究区的植物群落划分为四种类型。这种分类方法不仅帮助我们理解植被的构成和其反映的环境特性,还有助于评估该地区植被的生长潜力[7]。了解和掌握各种土壤条件的差异和特性对于选择恰当的植物种类进行植被恢复至关重要。对植被类型的精确划分是确定合适植物种类和制定有效的植被恢复策略的基础[8]。在加速植被恢复的过程中,我们应优先考虑使用自然恢复的原始植被作为首选植物种类,并在不同恢复阶段采用不同的植物种类。同时,我们还应对土壤的化学和物理性质进行改良,以期达到最佳的恢复效果。

植被分布与土壤环境之间的关系已经被深入研究,许多证据表明土壤的化学成分是决定植被分布的关键因素[9]。在土壤和植被的互动系统中,这两者是相互依赖的。植物群落不仅影响土壤的特性,而且土壤的条件也限制了植物的分布。这种土壤环境与植物群落之间的相互作用和相互制约关系,不仅体现了土壤因素在植物群落演变中的重要性,还说明了植物群落能够如何改变和恢复土壤的性质。这种相互的影响和促进是推动植被恢复和演替的关键动力。

由于在漫长的进化历程中,植物面对各种环境的选择压力,已经发展出了多种适应策略。这意味着很多植物并不仅仅属于某一特定的生态类群。实际上,大多数植物群落的分布是由多种环境因素共同作用的结果,只有少数植物种类能够适应特定的生态环境。虽然我们可以通过典范对应分析(CCA)揭示植被分布与土壤环境因子之间的关系,然而由于自然环境的复杂多变以及植被恢复和演替过程的长期性,这使得河滨带植被恢复的研究变得极为困难。未来,在进行河滨带植被恢复时,我们应该从实际的土壤性质出发,考虑采用人工促进和自然恢复相结合的方法来进行河滨带的生态修复工作。

#### 参考文献

- [1] Borcard, D., Legendre, P. and Drapeau, P. (1992) Partialling Out the Spatial Component of Ecological Variation. *Ecology*, **73**, 1045-1055. <https://doi.org/10.2307/1940179>
- [2] 张文辉, 卢涛, 马克明, 等. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 552-559.
- [3] 李伟, 崔丽娟, 赵欣胜, 等. 采砂迹地型湿地恢复过程中植物群落分布与土壤环境因子的关系[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(10): 2325-2331.
- [4] 王凯博, 陈美玲, 秦娟, 等. 子午岭植被自然演替中植物多样性变化及其与土壤理化性质的关系[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(10): 2089-2098.
- [5] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. *生态学报*, 2003, 23(3): 421-427.
- [6] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.
- [7] 李凯辉, 胡玉昆, 范永刚, 等. 环境因子对高寒草地植物群落分布和物种组成的影响[J]. *中国农业气象*, 2007, 28(4): 378-382.
- [8] 王晓春, 蔡体久, 谷金锋. 鸡西煤矿矸石山植被自然恢复规律及其环境解释[J]. *生态学报*, 2007(9): 3744-3751.
- [9] 上官铁梁, 贾志力, 张金屯, 等. 汾河太原段河漫滩草地植被的数量分类与排序[J]. *草业学报*, 2001, 10(4): 31-39.