

城市闲置地自生植物种间联结及土壤因子分析

——以郑州北龙湖公园为例

尤 其,商 妞,代挽玉,姜文倩,刘 洋,孙 超,栗 燕*

(河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002)

摘 要:基于生态位理论、种间联结、典范对应分析(CCA)排序方法对郑州北龙湖公园闲置地内自生植物群落优势种的种间联结性及其与土壤因子的关系进行分析,以此来揭示自生植物群落的结构和分布特征。结果表明,1)自生植物群落优势种的生态位重叠程度总体偏低,种间竞争不激烈;重要值和生态位宽度较大的物种有紫马唐、鬼针草、狗尾草、牛筋草、刺苋和葎草。2)自生植物群落优势种总体联结性呈不显著正联结($P>0.05$), χ^2 检验与联结系数(A_C)正负联结比分别为0.74、1.04,正联结优势不明显,表明自生植物群落优势种的种间联结性较弱,稳定性相对较差,各物种趋于独立分布。3)CCA排序表明,影响自生植物群落优势种分布的土壤因子是土壤含水量和土壤pH。研究结果可为城市闲置地荒野景观营建提供理论依据和实践指导。

关键词:郑州市;闲置地;自生植物;生态位;种间联结;典范对应分析(CCA)

中图分类号:S718.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)05-0270-09

Interspecific Associations and Soil Factors of Volunteer Plants in Urban Vacant Land ——A Case Study of Zhengzhou Beilonghu Park

YOU Qi, SHANG Niu, DAI Wan-yu, JIANG Wen-qian, LIU Yang, SUN Chao, LI Yan*

(School of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: Based on the ranking method of niche theory, interspecific association and canonical correspondence analysis (CCA), this paper analyzed the interspecific associations of dominant species of volunteer plant communities in the vacant land of Zhengzhou Beilonghu Park and its relationship with soil factors to reveal the structure and distribution characteristics of volunteer plant communities. The results showed that 1) the degree of niche overlap of dominant species in volunteer plant communities was generally low, and the interspecific competition was not keen; the species with higher importance values and niche widths were *Digitaria violascens*, *Bidens pilosa*, *Setaria viridis*, *Eleusine indica*, *Amaranthus spinosus* and *Humulus scandens*. 2) The overall connection of the dominant species in the volunteer plant communities showed no significant and positive connection ($P>0.05$), and the positive and negative connection ratios of the χ^2 test and the connection coefficient (A_C) were 0.74 and 1.04, respectively, the positive connection advantage was not obvious, indicating that the inter-species connection of the dominant species in the volunteer plant communities is weak, the stability is relatively poor, and the individual species tends to be distributed independently. 3) The CCA ranking indicated that the soil factors affecting the distribution of dominant species in volunteer plant communities were soil water content and soil pH. This research can provide theoretical basis and practical guidance for the construction of wilderness landscape in urban vacant land.

收稿日期:2022-07-25 修回日期:2022-09-04

基金项目:河南省科技攻关项目(212102310581);河南省高等学校重点科研项目(21A220002)。

第一作者:尤 其。研究方向:园林植物资源与应用。E-mail:youqi2478@163.com

*通信作者:栗 燕,博士,高级实验师。研究方向:园林植物栽培生理与应用。E-mail:yanLi1978@163.com

Key words: Zhengzhou City; vacant land; volunteer plant; ecological niche; interspecific association; canonical correspondence analysis (CCA)

植物群落是共存物种在一定生境条件下相互依存、竞争和相互作用形成的有机组合^[1],而群落中各物种之间复杂的相互关系决定了群落结构和动态特征^[2]。种间联结是指群落中不同物种之间的空间相关性,这通常是由影响物种分布的群落生境差异引起的^[3],可以揭示各物种之间的相互作用以及物种与环境之间的耦合关系,对认识和分析群落的形成和演替有一定作用^[4]。有研究认为,空间尺度小时,地形和土壤环境因子直接影响植物生长发育,决定植被分布的空间差异,是影响植被群落分布特征的主要驱动因素^[5]。研究物种的生态位特征、种间联结规律以及物种分布与土壤环境因子的关系,有助于揭示物种群落的分布模式,对正确认识物种群落的演替、组成和分布具有重要意义。

随着城市建设步伐加快,许多市域内的土地没有被及时开发和利用而沦为闲置地。疏于人工管理的城市闲置地会被生长自生植物覆盖而形成荒野自然景观,也成为自生植物主要的生存空间^[6]。自生植物作为城市植被的特殊类群,不仅能够适应城市的环境变化,还可为鸟类及昆虫提供栖息地及重要的食物来源,对维持城市生态系统稳定和生物多样性保护具有重要意义^[7]。以往对自生植物研究不仅在城市建成区大尺度区域,如重庆^[8]、南京^[9]和昆明^[10]等城市,也有公园绿地^[11]、居住区^[12]、道路绿地^[13]、校园^[14]以及河流廊道^[15]等中等尺度,甚至树池^[16]、墙体^[17]以及道路缝隙等特殊生境,主要围绕自生植物的多样性、功能性状、分布格局以及景观应用等方面进行研究。然而,对于城市闲置地自生植物群落间种间关系以及物种分布与土壤环境因子关系的研究鲜有报道,本文以郑州市北龙湖公园闲置地自生植物群落作为对象,对自生植物群落优势种的生态位特征、种间联结规律和影响物种分布的土壤环境因子进行研究,以此来了解自生植物群落的结构和分布特征,为郑州市闲置地荒野景观营建提供有益参考。

1 研究区概况

北龙湖公园位于郑州市东北部龙湖地区(34°48′10″—34°49′30″N,113°42′00″—113°45′45″E),属北温带大陆性季风气候,年平均气温 15.6℃,年均降水量 542.15 mm。土壤属于发育在河流冲积物上的潮土。该公园作为郑州市最大的综合性公园,服务群众之广,主要包括湿地公园、森林公园、足球

公园等大型公园。目前,公园东南部区域存在大量的闲置地尚未被开发利用,存在着丰富自生植物资源。自生植物主要有构树(*Broussonetia papyrifera*)、紫马唐、狗尾草、葎草、鬼针草、龙葵等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

在全面调查的基础上,于 2021 年 9—10 月在郑州市北龙湖公园东南区域的闲置地设置 10 个 10 m×10 m 的样地,并从每块样地内随机选取 5 个 1 m×1 m 自生草本小样方,共计 50 个(图 1)。调查记录每个样方中自生草本植物的物种名称、盖度、高度以及株数等指标。在每个小样方中心及四角,选取 5 个采样点,去除地表枯落物后采集 0~20 cm 表层土壤,混合为 1 个土样,带回实验室,进行土壤理化性质分析。土壤含水量测定采用烘干法;土壤 pH 值采用电位法(水土比为 2.5:1)测定;土壤电导率用 DDSJ-318 型雷磁电导率仪测定;土壤温度用手持 HM-WSYP 仪测定;土壤紧实度用 TJSD-750 型土壤紧实度仪测定。

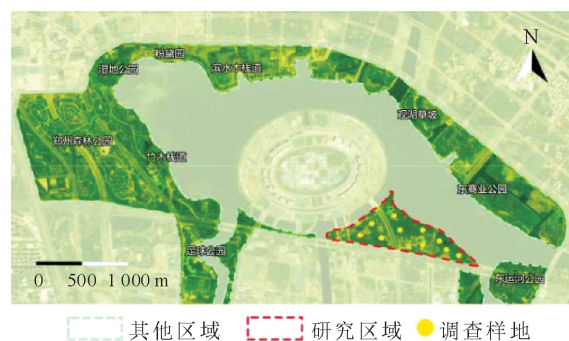


图 1 研究区域及样点设置

Fig. 1 Study area and sampling point settings

2.2 重要值计算

重要值(important value)可以反映物种在群落中的地位 and 作用,计算公式如下^[18]

$$\text{重要值}(I_V) = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3 \quad (1)$$

2.3 生态位特征

物种的生态位宽度(B_s)采用 Shannon-wiener 指数来表示。

$$B_s = - \sum_{j=1}^r P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (2)$$

式中: r 为样方总数; $P_{ij} = n_{ij} / N_i$, P_{ij} 代表物种 i 在资源位 j 上的重要值占该物种在所有资源位上重

要值总和的比例; n_{ij} 为物种 i 在资源位 j 上的重要值, N_i 为物种 i 在所有资源位上的重要值总和。

采用 Pianka^[19] 生态位重叠指数(O_{ik})来表示各物种生态位重叠程度,计算公式如下。

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{(\sum_{j=1}^r P_{ij})^2 (\sum_{j=1}^r P_{kj})^2}} \quad (3)$$

式中: P_{ij} 和 P_{kj} 分别是物种 i 和 k 在资源位 j 上的重要值; O_{ik} 为物种 i 和 k 的生态位重叠指数,值域为 $[0,1]$,其值越大,表示生态位重叠程度越高。

2.4 种间联结

采用 Schluter^[20] 提出的零方差比率(V_R)测定自生植物群落优势种种间的总体联结性,并用统计量 W 来检验总体联结的显著性。计算公式如下。

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i) P_i = n_i / N \quad (4)$$

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 V_R = S_T^2 / \delta_T^2$$

式中: δ_T^2 为总体样本方差; S_T^2 为总种数方差; S 为总物种数; N 为总样方数; P_i 为物种 i 出现的频度; n_i 为物种 i 出现的样方数; T_j 为样方 j 中出现的物种数; t 为样方中物种的平均数; V_R 为自生草本植物主要物种间的总体联结指数。

2.5 种对间联结性检验

χ^2 统计量计算采取 Yates 的连续校正公式,计算公式如下。

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - N/2)^2 N}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (5)$$

式中: N 为总样方数; a 为 2 个物种同时出现的样方数; b 、 c 分别为 2 个物种单独出现的样方数; d 为 2 个物种都不出现的样方数。设 $V = (a + d) - (b + c) / (a + b + c + d)$,当 $V > 0$,种间联结性为正联结;当 $V < 0$,种间联结为负联结。若 $\chi^2 < 3.841$ ($P > 0.05$),表明种对间呈不显著联结; $3.841 \leq \chi^2 \leq 6.635$ ($0.01 \leq P \leq 0.05$),表明种对间呈显著联结; $\chi^2 > 6.635$ ($P < 0.01$),表明种对间呈极显著联结。

2.6 种间关联性测定

χ^2 统计量检验结果通过联结系数(A_c)进行进一步检验。

若 $ad \geq bc$,则: $A_c = (ad - bc) / (a + b)(b + d)$;

若 $ad < bc$,且 $d \geq a$,则: $A_c = (ad - bc) / (a + b)(a + c)$;

若 $ad < bc$,且 $d < a$,则: $A_c = (ad - bc) / (b + d)(d + c)$ 。

A_c 的值域为 $[-1,1]$, A_c 的值越接近 1,表明物种间的正联结性越强,反之则负联结性越强, A_c

的值为 0,表明物种间完全独立。

2.7 数据处理与分析

在 Excel2018 中进行数据整理与重要值计算,生态位特征与种间联结性分析均在 R 语言中 spaa 包内完成。利用 Canoco 5.0 软件进行去趋势对应分析(DCA)和典范对应分析(CCA),通过蒙特卡洛检验来筛选影响显著($P < 0.05$)的土壤环境因子,以此揭示自生植物分布与土壤环境因子之间的关系。

3 结果与分析

3.1 重要值与生态位宽度

本次调查自生植物共有 42 种,隶属于 11 科 32 属。选取重要值前 18 种自生植物作为优势种。由表 1 可知,重要值与生态位宽度排名靠前的自生植物分别是紫马唐、鬼针草、狗尾草、牛筋草、刺苋以及菵草,说明这些物种生态幅较宽,能够广泛分布,且具有较强环境适应和资源利用的能力,在自生植物群落中占据绝对优势,对维持自生植物群落稳定性具有重要作用。酸模叶蓼的重要值和生态位宽度均较小,说明该物种适宜生境较少,地理分布窄,有可能在种群发展过程中会面临着激烈的竞争而被淘汰。曼陀罗生态宽度较窄但其重要值较大,说明曼陀罗所在植物群落中处于优势地位,但因自身生存范围较窄,对环境适应能力较弱,而小蓬草和狗牙根生态位宽度大而重要值小,说明适应环境范围较广,通常在植物群落中以伴生种的形式出现。

3.2 生态位重叠指数

由表 2 可见,郑州北龙湖公园闲置地自生植物群落优势种的生态位重叠指数介于 0~0.56。生态位重叠指数 > 0.5 的种对仅有 2 个,占总对数的 1.31%,分别是狗尾草与小蓬草(0.56)、小蓬草与野艾蒿(0.52),这 2 个种对在环境资源有限时会发生激烈的竞争。生态位重叠指数介于 0.2~0.5 的有 41 对,占总对数的 26.80%,这些种对存在一定程度竞争,但在环境资源相对充足时仍可共存。生态位重叠指数 < 0.2 的有 110 对,占总对数的 71.90%,其中未产生生态位重叠的有 34 对,占总种对数的 22.22%,这些种对之间竞争较弱,种间分布具有一定独立性。总体上郑州市北龙湖公园闲置地自生植物群落优势种之间的生态位重叠程度偏低,说明它们之间竞争较弱,物种之间彼此相对独立分布,资源利用相对合理。

3.3 种间联结

3.3.1 总体联结性 由表 3 可知,总体联结性的方差比率为 1.05,大于 1,并且检验统计量 W 为

52.43,落入界限 $\chi^2_{0.95}$ 和 $\chi^2_{0.05}$ 之间,说明研究区内 联结($P>0.05$),反映了目前该地区自生植物群落
自生植物群落优势种的种间关系总体上呈不显著正 尚不成熟,群落结构和物种组成处于不稳定状态。

表 1 自生植物群落优势种的重要值和生态位宽度

Table 1 Importance values and niche breadth of dominant species in volunteer plant communities

编号	种名	缩写	重要值	生态位宽度
1	紫马唐(<i>Digitaria violascens</i>)	Dv	4.118	3.306
2	鬼针草(<i>Bidens pilosa</i>)	Bp	2.684	2.315
3	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	Sv	2.184	3.052
4	牛筋草(<i>Eleusine indica</i>)	Ei	2.174	2.876
5	刺苋(<i>Amaranthus spinosus</i>)	As	2.052	2.666
6	葎草(<i>Humulus scandens</i>)	Hs	1.830	2.739
7	地肤(<i>Kochia scoparia</i>)	Ks	1.567	1.958
8	鳢肠(<i>Eclipta prostrata</i>)	Ep	1.541	1.976
9	龙葵(<i>Solanum nigrum</i>)	Sn	1.087	2.278
10	青蒿(<i>Artemisia carvifolia</i>)	Ac	1.014	1.663
11	反枝苋(<i>Amaranthus retroflexus</i>)	Ar	0.903	1.542
12	繁穗苋(<i>Amaranthus paniculatus</i>)	Ap	0.859	1.844
13	苦苣菜(<i>Sonchus oleraceus</i>)	So	0.819	1.816
14	野艾蒿(<i>Artemisia lavandulifolia</i>)	Al	0.818	1.653
15	曼陀罗(<i>Datura stramonium</i>)	Ds	0.799	0.880
16	小蓬草(<i>Erigeron canadensis</i>)	Ec	0.790	2.205
17	狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i>)	Cd	0.775	1.948
18	酸模叶蓼(<i>Polygonum lapathifolium</i>)	Pl	0.688	1.333

表 2 自生植物群落优势种的生态位重叠指数

Table 2 Niche overlap index of dominant species in volunteer plant communities

物种	Dv	Bp	Sv	Ei	As	Hs	Ks	Ep	Sn	Ac	Ar	Ap	So	Al	Ds	Ec	Cd
Bp	0.21																
Sv	0.44	0.25															
Ei	0.31	0.09	0.32														
As	0.39	0.13	0.23	0.19													
Hs	0.33	0.20	0.11	0.24	0.13												
Ks	0.16	0.25	0.12	0.00	0.00	0.40											
Ep	0.14	0.08	0.12	0.35	0.14	0.01	0.00										
Sn	0.36	0.14	0.15	0.27	0.15	0.18	0.16	0.11									
Ac	0.09	0.21	0.25	0.08	0.11	0.01	0.10	0.00	0.04								
Ar	0.03	0.00	0.16	0.30	0.02	0.07	0.00	0.16	0.23	0.00							
Ap	0.12	0.04	0.16	0.29	0.25	0.15	0.00	0.18	0.16	0.03	0.46						
So	0.12	0.00	0.22	0.15	0.46	0.20	0.00	0.09	0.12	0.16	0.16	0.08					
Al	0.22	0.00	0.18	0.03	0.21	0.00	0.13	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.33				
Ds	0.11	0.00	0.07	0.13	0.01	0.32	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.00			
Ec	0.27	0.15	0.56	0.22	0.22	0.03	0.07	0.07	0.29	0.16	0.00	0.08	0.25	0.52	0.00		
Cd	0.24	0.15	0.23	0.00	0.05	0.11	0.39	0.00	0.06	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	
Pl	0.03	0.10	0.08	0.28	0.12	0.00	0.00	0.18	0.14	0.00	0.23	0.21	0.25	0.09	0.04	0.20	0.00

表 3 自生植物群落优势种总体联结性

Table 3 Overall connectivity of dominant species in volunteer plant communities

S_T^2	δ_T^2	方差比率(V_R)	检查统计量(W)	χ^2 临界值($\chi^2_{0.95}, \chi^2_{0.05}$)	测定结果
2.90	2.77	1.05	52.43	34.76 67.51	不显著正联结

3.3.2 种对间联结性 χ^2 检验结果见图 2,在 18 种 对有 65 对,占总种对数的 42.48%。极显著正联结有
自生植物优势种构成的 153 个种对中,呈正联结的种 4 个种对,分别为牛筋草和鳢肠、牛筋草和反枝苋、牛

筋草和繁穗苣、地肤和狗牙根,占总种对数的 2.61%; 显著正联结有紫马唐和刺苣、紫马唐和葎草、鬼针草和地肤、狗尾草和刺苣、牛筋草和刺苣、牛筋草和苦苣菜、龙葵和反枝苣、野艾蒿和小蓬草等 14 个种对, 占总种对数的 9.15%。呈负联结种对有 88 对, 占总种对数的 57.52%。极显著负联结的有紫马唐和鳢肠、紫马唐和反枝苣、鬼针草和牛筋草、牛筋草和地肤、刺苣和葎草、刺苣和地肤、葎草和鳢肠等 11 个种对, 占总种对数的 7.19%; 显著负联结的有紫马唐和苦苣菜、紫马唐和曼陀罗、鬼针草和葎草、鬼针草和龙葵、牛筋草和青蒿、龙葵和野艾蒿等 27 个种对, 占总种对数的 17.65%。正负联结种对的比值为 0.74, 负联结占优势。显著联结种对共有 56 对, 检验显著率为 36.60%。 χ^2 检验结果表明种间联结较弱, 大部分物种呈独立分布格局。

χ^2 检验中呈不显著联结种对的联结性能在联

结系数(A_c)中体现。由图 3 可知, 18 种自生植物优势种构成的 153 个种对中, 正联结种对有 78 对, 负联结种对有 75 对, 分别占物种总对数的 50.98%、49.02%。 χ^2 检验中表现为显著联结的种对牛筋草和酸模叶蓼在联结系数($A_c \geq 0.67$)有极显著正联结性; 极显著负联结性($A_c \leq -0.67$)的种对有 27 对, 分别为鬼针草和反枝苣、鬼针草和苦苣菜、鬼针草和野艾蒿、鬼针草和曼陀罗、葎草和酸模叶蓼、地肤和鳢肠、地肤和反枝苣、地肤和繁穗苣、地肤和苦苣菜、地肤和曼陀罗、地肤和酸模叶蓼、龙葵和野艾蒿、龙葵和曼陀罗、青蒿和反枝苣、青蒿和曼陀罗、青蒿和酸模叶蓼、反枝苣和野艾蒿、反枝苣和小蓬草、反枝苣和狗牙根、繁穗苣和野艾蒿、繁穗苣和狗牙根、苦苣菜和狗牙根、野艾蒿和曼陀罗、野艾蒿和狗牙根、曼陀罗和小蓬草、曼陀罗和狗牙根、狗牙根和酸模叶蓼。

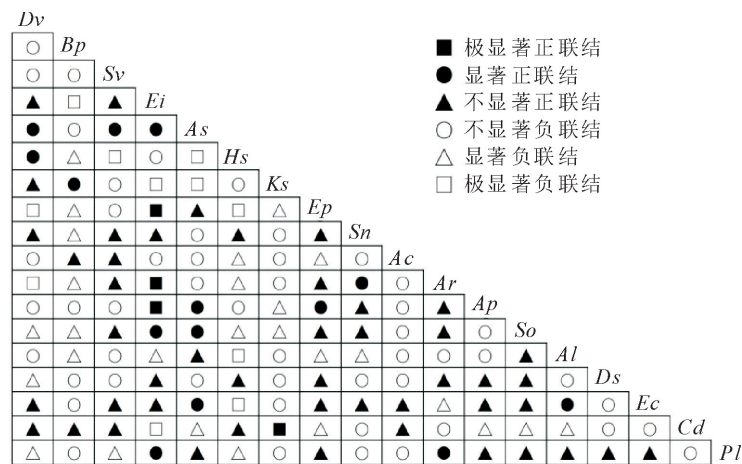


图 2 自生植物群落优势种种间联结性的 χ^2 检验半矩阵图

Fig. 2 χ^2 Test semi-matrix plot of the interspecific connectivity of dominant species in volunteer plant communities

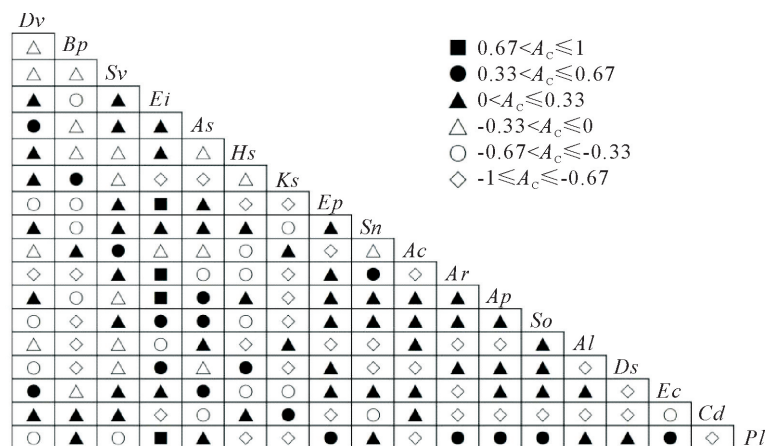


图 3 自生植物群落优势种种间联结系数 AC 半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix diagram of dominant interspecific association coefficient AC of volunteer plant communities

χ^2 检验结果和联结系数(A_c)正负联结种对比值分别为 0.74、1.04, 表明自生植物群落优势种

种对间整体呈现的正关联性不高, 群落结构整体处于不稳定状态, 这与总体联结性检验结果一致。

3.4 自生植物群落优势种分布与土壤环境因子的关系

对重要值前 18 种自生植物物种矩阵进行除趋势对应分析(DCA),排序结果第 1 轴值为 3.866,符合 CCA 排序法的基本要求。将 5 个土壤环境因子选入 CCA 排序模型,蒙特卡洛检验结果表明所有典范轴的显著性均达到极显著水平($P=0.004$) (表 4)。CCA 排序中 4 个轴累积解释了物种-环境

关系的 94.2%,其中前 2 轴的累积解释度达 65.8%,说明前 2 轴能够较好解释研究区内自生植物群落优势种分布与土壤环境因子之间的关系。从表 5 可以看出,土壤含水量对物种分布解释率和贡献率最高,为 5.2%、32.6% ($P=0.002$),其次是土壤 pH($P=0.008$)、土壤电导率、土壤温度和土壤紧实度,说明土壤含水量和土壤 pH 对研究区内自生植物群落主要物种分布有极显著的影响。

表 4 自生植物群落优势种分布与土壤环境因子的 CCA 排序分析

Table 4 CCA ranking analysis of dominant species distribution and soil environmental factors in volunteer plant communities

项目	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
土壤含水量	-0.589 4	-0.468 1	0.118 6	-0.024 1
土壤紧实度	0.419 8	0.060 3	-0.235 4	-0.409 0
土壤温度	0.559 4	-0.138 5	-0.220 2	0.164 9
土壤电导率	-0.296 4	0.365 6	0.256 9	-0.096 8
土壤 pH 值	-0.015 2	0.414 7	-0.483 4	0.080 7
特征值	0.293 0	0.222 0	0.154 0	0.069 0
物种-环境相关性	0.797 0	0.745 0	0.629 0	0.527 0
物种方差累积比例	6.000 0	10.500 0	13.700 0	15.100 0
物种-环境关系的方差累积比例	37.500 0	68.500 0	85.400 0	94.200 0
所有典范轴的显著性检验	0.004 0			

表 5 土壤环境因子对自生植物群落优势种分布的解释与贡献率

Table 5 Interpretation and contribution rate of soil environmental factors to the distribution of dominant species in volunteer plant communities

土壤环境因子	解释率(%)	贡献率(%)	F	P
土壤含水量	5.2	32.6	2.6	0.002
土壤	3.7	23.4	1.9	0.008
土壤电导率	3.3	20.6	1.7	0.058
土壤温度	2.1	12.8	1.1	0.396
土壤紧实度	1.7	10.7	0.9	0.562

综合表 4 和图 4 可知,排序第 1 轴对自生植物群落优势种分布的解释度为 37.5%,土壤紧实度和土壤温度与排序第 1 轴呈正相关,土壤含水量、土壤电导率和土壤 pH 与第 1 轴呈负相关,即沿着 CCA 横轴从左到右,随着土壤含水量逐渐降低,土壤紧实度和土壤温度逐渐升高,说明自生植物的生存环境逐渐由湿润向干旱过渡,土质由疏松逐渐变得紧实。排序第 2 轴对自生植物群落优势种分布的解释度为 28.3%,土壤温度和土壤含水量与排序第 2 轴呈负相关,土壤 pH、土壤电导率和土壤紧实度与排序第 2 轴呈正相关,即沿着 CCA 纵轴从上往下,随着土壤 pH 和土壤的盐分含量逐渐降低,土壤水分逐渐升高,说明其生存环境的土壤 pH 由高变低且趋向盐分较少区域发展。曼陀罗、紫马唐、狗牙根、葎草、鬼针草以及反枝苋等自生植物分布在排序轴上侧,说明其生境环境相对干旱、土壤较为贫瘠,其中反枝

苋相对于其他物种能够适应土壤碱性较强且盐分较高的区域;刺苋、牛筋草以及狗尾草分布在排序轴中央,说明上述物种生态适应幅度较大,对环境要求不高,能够广泛分布;鳢肠、苦苣菜、酸模叶蓼、青蒿、以及龙葵等自生植物分布在排序轴下侧,说明其生境环境相对湿润、土壤温度适宜、土质较为疏松的区域。总体来看,研究区内主要自生植物重要值较大($I_v>1$)的物种大致分布在 CCA 排序图内部,同时也发现,一般具有显著或极显著正联结的物种在

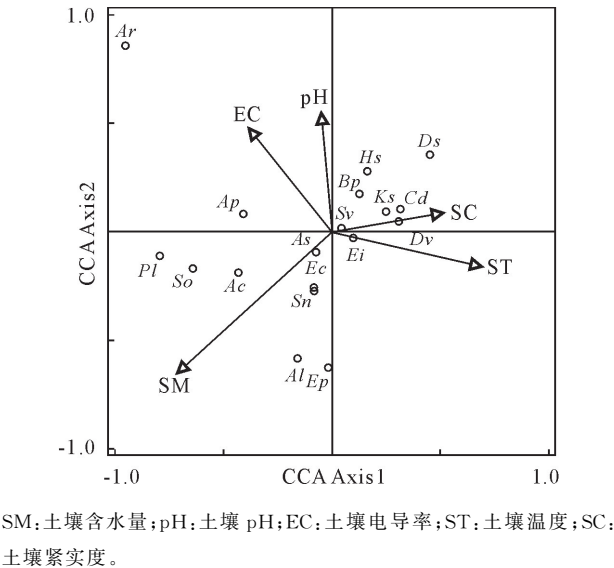


图 4 自生植物群落优势种分布与土壤因子 CCA 排序图
Fig. 4 Distribution of dominant species in volunteer plant community and CCA ranking of soil factors

CCA 排序图上的距离越近;相反,具有显著或极显著负联结的物种在 CCA 排序图上的距离越远。

4 结论与讨论

4.1 自生植物群落优势种重要值与生态位特征

重要值和生态宽度能够衡量物种在群落中的地位和作用,重要值反映了物种在群落中的优势程度,而生态位宽度则反映了物种对环境资源的利用状况^[21]。一般而言,物种重要值越大(小),生态宽度也较大(小)^[22],但在本研究中少数物种的重要值和生态位宽度排序并不符合这一规律。例如,鬼针草的重要值较狗尾草大而生态位宽度较小于狗尾草,龙葵和小蓬草的生态位宽度较大,但两者的重要值却相对较小,说明重要值并非影响生态宽度的唯一因素,可能与物种的分布频度有关,这与大多数学者的研究结果一致^[23-24]。实地调查也发现,狗尾草、龙葵和小蓬草等自生植物,在样方中出现的次数较多,地理分布范围较广,对环境适应能力较强,故它们的生态位宽度都较大。紫马唐的重要值和生态位宽度最大,说明其在自生植物群落中占绝对优势,对维持群落的稳定性起到重要作用。而曼陀罗、酸模叶蓼等自生植物的重要值和生态位宽度都较小,说明它们对环境的适应力相对较弱,适宜的生境较少,可能有一定的特殊倾向,在资源紧张时可能会被淘汰。生态位宽度都较大(小)却出现在少数同一资源位上的 2 个物种生态位重叠一般较高^[25]。本研究也有类似观点,生态位宽度较大的紫马唐和牛筋草、牛筋草和小蓬草、葎草和地肤以及野艾蒿和小蓬草等种对,其生态位重叠指数较大,说明这些物种之间对环境资源的需求和利用程度大致相同;苦苣菜和野艾蒿的生态位宽度相对较窄,但两者的生态位重叠指数相对较大,说明这 2 个物种可能在环境资源和种间竞争的双重压力下,两者选择相互适应并协同进化,使得它们能在局部适宜的生境中相互共存且处于相对稳定的状态。

4.2 自生植物群落优势种种间联结特征

种间的正联结反映了物种具有相近生物学特性和相似生境环境,体现了生态位重叠和物种利用资源的相似性^[26]。如野艾蒿和小蓬草、牛筋草和反枝苋以及地肤和狗牙根等种对均为喜阳、耐旱的物种,由于对光照等环境资源需求较相似,且都能在土壤较为贫瘠、干旱的环境中生存,因而产生生态位重叠,进而呈现极显著或显著正联结。种间的负联结反映了物种的生物学特性不同,对环境资源的需求不一致,体现了生态位分离和物种间的相互排斥^[22,27]。由资源竞争导致种对间负联结,物种生态

位重叠程度往往较高,而生境差异导致种对间负联结,生态位重叠程度往往较低^[28]。本研究表明,负联结种对间的重叠指数普遍偏低,资源要求差异较大,物种间潜在竞争较少,生境差异可能是形成负联结性的主要原因,如紫马唐和鳢肠、鬼针草和苦苣菜以及地肤和酸模叶蓼等种对呈极显著或显著负联结。调查发现,紫马唐、鬼针草以及地肤等自生草本植物常分布在向阳、土壤较为干旱贫瘠的环境,而鳢肠、酸模叶蓼以及苦苣菜多分布在阴坡、土壤较为疏松湿润的地方,两者生境环境差异较大,生物学特性不同,导致物种间相互排斥。

种群间的总体联结是衡量群落结构稳定性的重要指标,体现了群落演替的进程及其稳定性^[29]。一般处于演替早期的群落物种间的联结程度较低,群落处于不稳定状态,而随着演替的进行,种间关系逐渐向正联结的方向发展,群落的结构逐渐趋于稳定,以求得不同物种之间共存^[30]。本研究区自生植物群落总体呈不显著正联结,这就意味着这些群落尚不成熟,处于动态演替的前期阶段。综合 χ^2 检验、联结系数(A_c)值结果均表明研究区内自生植物群落优势种种间联结性较弱,稳定性相对较差,各物种趋于独立分布,可能主要与闲置地自生植物群落目前所处的生境条件差异有关。现场调查发现闲置地土壤由周围建筑工地的废土堆叠而成,导致地形复杂多变,生境的异质性程度高,使得不同地段、不同坡向、坡位的区域形成了不连续、不均匀和高度复杂的大量异质小生境斑块,加剧了生境内光照、土壤水分和养分以及土壤厚度等资源的差异性,进而导致物种间对资源的利用性竞争,种对间往往呈现负相关。因此,在环境压力以及种间相互竞争等因素的共同作用下,促使闲置地生境条件有不同生态适应性的自生植物利用不同的空间资源,各物种都占据有利的空间位置,促进物种之间生态位进一步分化来减弱种间的相互依赖和相互竞争,呈负联结的种对数增多,种对间联结程度不强,各物种趋于独立分布。

4.3 土壤环境因子对自生植物群落优势种分布影响

有研究表明,物种的分布格局是在不同尺度范围上受到多种环境因子综合作用的结果,在小尺度区域下物种分布格局主要受土壤因子、地形、水文条件等环境因素的影响,其中土壤因子在物种分布中起重要作用^[31]。蒙特卡洛检验结果表明,极显著影响自生植物群落优势种分布是土壤含水量($P=0.002$)和土壤 pH($P=0.008$)这 2 个限制因子。极有可能是研究区内闲置地土壤由周围建筑废土

堆积而成,复杂多样的微小地形产生土壤含水量的空间差异性,从而造成不同生物学特性物种占据不同的生境空间,进一步影响了物种的分布。例如,阳坡区域受到太阳辐射要高于阴坡,土壤含水量一般较低^[32],使得一些喜阳、耐旱的自生草本植物如狗牙根、葎草以及曼陀罗等自生植物生长在阳坡,而喜阴、喜湿润环境的自生植物如酸模叶蓼、鳢肠等植物分布在阴坡。另外,研究区下半年处于降水量少发期,土壤内部的盐分随着水分蒸发上行而积累在土壤表层,使得土壤呈弱碱性,影响了土壤理化性质,间接影响了自生植物分布状况,如反枝苋和繁穗苋等植物相对于其他物种能够适应土壤碱性较强且盐分较高的区域。目前,对城市闲置地的自生植物的土壤环境因子研究还比较缺乏,况且土壤的理化性质、土壤有机质等也都会影响植物分布。因此,后续研究应该针对上述影响因素加以全面分析,更深层次地来探究城市中自生植物群落组成和物种分布的潜在影响机制。

参考文献:

- [1] 刘润红,姜勇,常斌,等.漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种间联结与相关分析[J].生态学报,2018,38(19):6881-6893.
LIU R H,JIANG Y,CHANG B,*et al.* Interspecific associations and correlations among the main woody plants in a *Pterocarya stenoptera* community in a riparian zone of Lijiang river,Guilin,southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,38(19):6881-6893. (in Chinese)
- [2] 张岗岗,王得祥,张明霞,等.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 G G,WANG D X,ZHANG M X,*et al.* 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. (in Chinese)
- [3] 闫东峰,何静,郭芳,等.宝天曼栎类天然次生林乔木层种间联结性研究[J].西北林学院学报,2009,24(1):26-30.
YAN D F,HE J,GUO F,*et al.* Interspecific association of main tree population of oak natural secondary fores in bao-tian-man[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(1):26-30. (in Chinese)
- [4] 王加国,李晓芳,安明志,等.雷公山濒危植物台湾杉群落主要乔木树种种间联结性研究[J].西北林学院学报,2015,30(4):78-83.
WANG J G,LI X F,AN M T,*et al.* Interspecific association among main tree species in *Taiwania cryptomerioides* community in Leigong Mountain[J]. Journal of Northwest Forest University,2015,30(4):78-83. (in Chinese)
- [5] GONG X,BRUECK H,GIESE K M,*et al.* Slope aspect has effects on productivity and species composition of hilly grassland in the Xilin River basin,Inner Mongolia,China[J]. Journal of Arid Environments,2008,72(4):483-493.
- [6] 尹豪,罗婧,宁雅萱,等.城市闲置地块的生态自我修复特征研究—以北京林业大学校园为例[J].景观设计学,2021,9(1):40-51.
YI H,LUO J,NING Y X,*et al.* The characteristics of ecological self-restoration in urban idle lands;a case study of Beijing Forestry University[J]. Landscape Architecture Frontiers,2021,9(1):40-51. (in Chinese)
- [7] 王沫,王红兵.上海3种用地类型的自生植物分布格局及其影响因素[J].西北林学院学报,2021,36(6):266-273.
WANG M,WANG H B. Distribution pattern of spontaneous species and influencing factors in three landuse types of Shanghai[J]. Journal of Northwest Forest University,2021,36(6):266-273. (in Chinese)
- [8] HU L Y,QIN D Y,LU H Y,*et al.* Urban growth drives trait composition of urban spontaneous plant communities in a mountainous city in China[J]. Journal of Environmental Management,2021,293:112869.
- [9] 褚晨晖.南京市主城区闲置土地分布及植物多样性研究[D].南京:南京农业大学,2020.
- [10] GAO Z W,SONG K,PAN Y J,*et al.* Drivers of spontaneous plant richness patterns in urban green space within a biodiversity hotspot[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2021,61:127098.
- [11] 姚兴达,李浩铭,金亚璐,等.杭州西溪国家湿地公园草本层自生植物多样性及群落组分研究[J].中国园林,2021,37(10):123-128.
YAO X D,LI H M,JIN Y L,*et al.* Study on the diversity and community composition of spontaneous vegetation in herb layer in Hangzhou Xixi national wetland park[J]. Chinese Landscape Architecture,2021,37(10):123-128. (in Chinese)
- [12] 邱易.南京市居住区自生植物组成及其景观接受度评价[D].南京:南京农业大学,2020.
- [13] 翟育雯.道路绿地自生植物组成对城市化水平的响应及景观营造研究—以南京市为例[D].南京:南京农业大学,2020.
- [14] 李竹君.南京高校绿地自生草本植物物种组成与生态位结构研究[D].南京:南京农业大学,2019.
- [15] 李晓鹏,张思凝,冯黎,等.成都城区河流廊道自生植物的生境及物种多样性[J].风景园林,2022,29(1):64-70.
LI X P,ZHANG S N,FENG L,*et al.* Habitat and species diversity of spontaneous plants on both sides of river corridor in Chengdu urban area[J]. Landscape Architecture,2022,29(1):64-70. (in Chinese)
- [16] 马雯雯,闫淑君,王云霄,等.城市行道树种植池自生植物区系研究—以福州市为例[J].河南科技学院学报:自然科学版,2021,49(3):39-47.
MA W W,YAN S J,WANG Y X,*et al.* A study on the flora of spontaneous vegetation in urban street tree planting pool;a case study of Fuzhou City[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology: Natural Science Edition,2021,49(3):39-47. (in Chinese)
- [17] 陈春帝.被遗忘的城市“生境”:重庆市墙体自生植物调查分析[J].生态学报,2020,40(2):473-483.
CHEN C D. Forgotten urban habitats:analysis of spontaneous vegetation on the urban walls of Chongqing City[J]. Acta

- Ecologica Sinica, 2020, 40(2): 473-483. (in Chinese)
- [18] 高贤明, 马克平, 陈灵芝. 暖温带若干落叶阔叶林群落物种多样性及其与群落动态关系[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 283-291.
- [19] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [20] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [21] 郭佳琦, 陈俊辰, 黄旬, 等. 喜旱莲子草入侵群落主要物种生态位和种间联结研究[J]. 生态环境学报, 2021, 30(8): 1607-1616.
- GUO J Q, CHEN J C, HUANG X, *et al.* Niche characteristics and interspecific associations of the dominant species of the communities invaded by *Alternanthera philoxeroides* [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(8): 1607-1616. (in Chinese)
- [22] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057-2071.
- LIU R H, CHEN L, TU H R, *et al.* Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, southwest China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 2057-2071. (in Chinese)
- [23] 钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 561-568.
- QIAN Y F, YI L T, HU J F, *et al.* Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of east China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(3): 561-568. (in Chinese)
- [24] 陈佳卉, 卜元坤, 苏少峰, 等. 油松飞播林灌木层主要物种种间联结及其环境解释[J]. 生态学杂志, 2021, 40(11): 3512-3522.
- CHEN J H, BU Y K, SU S F, *et al.* Interspecific association and environmental interpretation of main species in shrub layer of *Pinus tabulaeformis* aerial seeding forest [J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(11): 3512-3522. (in Chinese)
- [25] 李明, 蒋德明, 押田敏雄, 等. 科尔沁沙地人工固沙群落草本植物种群生态位特征[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 10-16.
- [26] 郭俊兵, 狄晓艳, 李素清. 山西大同矿区煤矸石山自然定居植物群落优势种间关系[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3327-3332.
- GUO J B, DI X Y, LI S Q. Interspecific associations among dominant species in naturally colonized plant communities on coal gob piles of the Datong mining area in Shanxi, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(12): 3327-3332. (in Chinese)
- [27] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 等. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1422-1428.
- LI Q L, ZONG X H, DENG H P, *et al.* Niche and interspecific association of dominant species in tree layer of chishui *Aisophila spinulosa* community [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(7): 1422-1428. (in Chinese)
- [28] 张东梅, 赵文智, 罗维成. 荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1307-1315.
- ZHANG D M, ZHAO W Z, LUO W C. Niche and interspecific association of dominant plant species in saline-alkaline soils of desert steppe zone [J]. Chinese Journal of Ecology, 37(5): 1307-1315. (in Chinese)
- [29] 姜倪皓, 张诗函. 楚雄市西郊云南松林下草本优势种种间联结及环境解释[J]. 生态环境学报, 2021, 30(11): 2109-2120.
- JIANG N H, ZHANG S H. Interspecific association and environmental interpretation of dominant herbaceous species in *Pinus yunnanensis* forest in the western suburbs of Chuxiong City [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(11): 2109-2120. (in Chinese)
- [30] 陈龙涛, 石晓东, 高润梅. 山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 521-529.
- CHEN L T, SHI X D, GAO R M. Interspecific association and niche characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* communities in Lingchuan, Shanxi [J]. Plant Science Journal, 2016, 34(4): 521-529. (in Chinese)
- [31] 王慧敏, 毕润成, 庞春花. 山西太岳山森林群落分布及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2018, 27(7): 1218-1223.
- WANG H M, BI R C, PANG C H. Relationship between forest community distribution and environmental factors in Taiyue Mountains, Shanxi [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(7): 1218-1223. (in Chinese)
- [32] 盘远方, 李娇凤, 黄昶吟, 等. 桂林岩溶石山不同坡向灌丛植物多样性与土壤环境因子的关系[J]. 广西植物, 2019, 39(8): 1115-1125.
- PAN Y F, LI J F, HUANG C Y, *et al.* Relationship between plant diversity of shrubs and soil environmental factors along with slope aspects in karst hills of Guilin, southwest China [J]. Guihaia, 2019, 39(8): 1115-1125. (in Chinese)