

网络出版时间:2017-03-07 11:16 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.04.013
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170307.1116.026.html

北京鹫峰地区侧柏人工林草本层物种多样性及 主要种间关系研究

张 鹏^a,王新杰^b,凌 威^b,王 勇^a,乔 永^a,卢妮妮^b,张 艳^b,郭 倩^b
(北京林业大学 a 实验林场,北京 100095;b 林学院,北京 100083)

【摘 要】 【目的】对北京鹫峰地区侧柏人工林草本层群落物种多样性及种间关系进行研究,以更好地认识该地区侧柏林草本层物种组成、结构、功能及与环境的关系。【方法】基于 50 个侧柏样方的调查数据,运用 Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数、Pielou 指数和 Gini 指数 4 个多样性指数进行物种多样性计算,利用方差比率(VR)法,并结合以 χ^2 检验为基础的联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 等方法,对主要物种种间的联结性进行测度。【结果】侧柏人工林草本层物种均匀度指数较大,Pielou、Gini 指数分别为 0.809 和 0.807,而物种多样性指数偏小,Simpson、Shannon-Weiner 指数分别为 0.591 和 1.137; VR 为 1.826,草本层主要种间整体上表现出净的正关联;在草本层的 28 个种对中,有 10 个种对达到显著联结($3.841 \leq \chi^2 < 6.635$),其中有 3 个种对达到极显著关联($\chi^2 \geq 6.635$),且在显著关联种对中,显著正关联的有 70%,表明该草本层群落中主要物种处于稳定阶段;狗尾巴草(*Setaria viridis*)与牵牛花(*Pharbitis nil*)表现出极显著正联结,而与求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、披针叶苔草(*Carex lanceolata*)表现出极显著负联结;AC 值和 PC 值的计算结果与 χ^2 统计量结果基本一致,为了能够更加准确地分析种对的关联程度,在以 χ^2 检验为基础的同时,结合联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 等方法测度物种种间的联结性更有说服力。【结论】北京鹫峰地区侧柏人工林草本层主要物种的关联性在整体上表现出净的正关联,说明该群落在向着顶极群落发展,群落结构及种类趋于完善和稳定,种间关系也趋于正关联,以求得物种间的稳定共存。

【关键词】 侧柏人工林;草本层物种多样性;种间关系;北京鹫峰
【中图分类号】 S718.54⁺2 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2017)04-0086-08

Plant diversity and interspecific relationship of main herb species in *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing

ZHANG Peng^a, WANG Xinjie^b, LING Wei^b, WANG Yong^a, QIAO Yong^a,
LU Nini^b, ZHANG Yan^b, GUO Qian^b

(Beijing Forestry University, a Experimental Forest Farm, Beijing 100095, China; b College of Forestry, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 The plant diversity and interspecific relationship of main herb species in *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain were analyzed to better understand the community composition, structure, function and environment relationship of herb layer in *P. orientalis* plantation forest. 【Method】 Based on the data at 50 quadrats in *P. orientalis* plantation, Simpson index, Shannon-Weiner index, Pielou index and Gini index were used to investigate the species diversity of herb layer in *P. orientalis* plantation in Jiufeng Mountain. The correlation among the species was analyzed using variance ratio (VR),

【收稿日期】 2016-01-04
【基金项目】 “十二五”农村领域国家科技支撑计划项目(2012BAD22B0502);中央高校基本科研业务费专项资金(BLJD200907, JD2010-2)
【作者简介】 张 鹏(1991—),男,甘肃定西人,研究实习员,主要从事森林可持续经营研究。E-mail: pengzh0211@163.com
【通信作者】 王新杰(1970—),男,河南洛阳人,副教授,主要从事森林资源调查、监测及林业 3S 综合应用研究。
E-mail: xinjiew@bjfu.edu.cn

as well as 2 test based coefficient (AC) and percentage of co-occurrence (PC). 【Result】 In herb layer of *P. orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing, the species evenness index was large, the Pielou index was 0.809, the Gini index was 0.807, the species diversity index was small, the Simpson index was 0.591, and the Shannon-Weiner index was 1.137. The VR was 1.826, and main species in the herbaceous layer showed positive correlation. Among the 28 specie pairs in herbaceous layer, there were 10 pairs with significant relationship ($3.841 \leq \chi^2 < 6.635$), and 3 pairs with extremely significant correlation ($\chi^2 \geq 6.635$). Among significantly correlated pairs, 70% showed positive correlation, indicating that the dominant species in herbaceous layer were stable. Significant positive correlation was found between *S. viridis* and *Pharbitis nil*, and significant negative correlation was found between *S. viridis* and *Oplismenus undulatifolius*, *S. viridis* and *Carex lanceolata*. The AC and PC results were consistent with χ^2 statistic results. Combing χ^2 test, AC and PC would be more convening in measuring relationship. 【Conclusion】 The interspecific relationships of main herb species in *P. orientalis* plantation of Jiufeng Mountain were positive, indicating that the community is moving toward a climax community development, community structure and species tend to be perfect and stable, and interspecific relationship tends to be positive for stable species coexistence.

Key words: *Platycladus orientalis* plantation; herb species diversity; interspecific association; Jiufeng Mountain, Beijing

植物群落的本质特征之一是其组分之间存在着一定的相互关系。各个物种之间的关系决定着群落的结构特征与动态^[1-2], 群落内共同出现种对生境选择和要求的异同以及相互间的吸引或排斥状况, 可以通过种间关联得以体现^[3-5]。植物群落物种多样性是反映植物群落组成结构和稳定性的重要指标^[6], 森林群落中植物种间的联结性是群落的重要数量和结构指标, 是群落结构形成和演化的重要基础, 其在群落学研究中占有重要的地位^[7]。因此研究分析群落物种多样性和种间关系, 可以更好地认识群落的组成、结构和功能及与环境的关系, 为群落的经营管理提供重要参考^[8]。

侧柏(*Platycladus orientalis*)作为北京市山区生态公益林的主要绿化树种, 对首都的生态环境建设起到了重要作用^[9]。林下草本植物是侧柏人工林的重要组成部分, 一方面, 林下草本植物的分布和生长特征受到林分乔木层特征的限制; 另一方面, 林下草本植物也通过生命活动不断改变着林下微环境, 从而对整个侧柏人工林生态系统的稳定、演替发展和生物多样性起着重要作用^[10]。目前有关北京西山地区侧柏人工林群落的研究主要集中在林分结构和生态效益上^[11-12], 对其群落物种多样性及种间关联性的基础研究较少, 而对于该地区侧柏人工林草本层种间联结性的研究尚未见报道。因此, 本研究通过对侧柏人工林群落草本层主要种间相互关系的测定以及种间联结内在生态学机制的分析, 为侧

柏人工林林下植被管理提供依据, 为侧柏群落林内景观改造提供理论参考和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鹫峰国家森林公园坐落于北京市海淀区北安河境内, 位于西北郊太行山北部, 燕山东端, 地处北纬 $39^{\circ}54'$, 东经 $116^{\circ}28'$, 面积 811.173 hm^2 , 最高海拔 1153 m , 公园森林覆盖率高达 96.2% , 共有陆地植物 110 科 313 属 684 种; 公园四季气候明显, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 具有暖温带气候特征, 年平均气温约 12.2°C , 降水量主要集中在 7—8 月份, 年平均降水量为 700 mm 。鹫峰森林公园所处北京西山地区的天然植被是典型的暖温带落叶阔叶林, 但在历史上经历了长期的人为破坏, 经过建国后的人工造林, 现在多为次生林和人工林, 目前主要的群落类型有油松(*Pinus tabulaeformis*)林、侧柏(*Platycladus orientalis*)林、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林、栓皮栎(*Quercus variabilis*)与槲栎(*Quercus aliena*)混交林、落叶松(*Larix gmelinii*)林、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的选取与设置 通过前期的全面踏查, 在侧柏群落类型中, 选取典型地段设置固定样地采集数据。本研究共设置 10 块 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的样地, 除了测算样地内侧柏的平均树高和平均胸径外, 还

详细记录样地基本信息,包括样地定位、海拔、坡度、坡向、坡位、郁闭度、土壤等环境因子,样地部分基本信息见表 1。在样地中心及四角布设 5 个 5 m×5 m 的草本样方,共 50 个草本样方,对草本样方进行详

细调查,调查内容包括植物名称、株数、盖度、平均高度、生长状况、分布状况等。其中在样地调查中,调查人员都有明确的分工,而且从始至终进行专一项目的调查,以减少评判误差。

表 1 北京鹫峰地区侧柏人工林样地基本情况

Table 1 Basic conditions of *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing

样地号 No.	坡位 Slope position	海拔 Altitude	坡度/(°) Slope	郁闭度 Canopy density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height
1	中坡位 Middle slope	180	20	0.80	12.4(2.6)	9.3(2.6)
2	中坡位 Middle slope	230	15	0.85	8.5(2.4)	6.6(1.8)
3	中坡位 Middle slope	210	25	0.70	19.5(3.2)	11.1(2.3)
4	中坡位 Middle slope	250	30	0.80	9.8(5.5)	8.7(3.5)
5	中坡位 Middle slope	270	25	0.80	17.2(4.7)	11.1(2.8)
6	下坡位 Lower slope	205	25	0.80	11.1(3.8)	7.2(2.7)
7	上坡位 Upper slope	220	20	0.85	8.4(2.0)	6.0(1.2)
8	中坡位 Middle slope	95	20	0.85	9.3(2.9)	7.1(2.3)
9	下坡位 Lower slope	110	25	0.80	12.2(3.6)	9.2(2.7)
10	下坡位 Lower slope	140	25	0.75	17.2(4.8)	11.0(2.6)

注:括号内数值为标准差。

Note:the values in parentheses are the standard deviation.

1.2.2 物种多样性测度 根据调查结果,计算侧柏人工林草本层的物种组成及物种多样性特征。其中重要值的计算公式为:

灌草重要值=(相对多度+相对盖度+相对频度)/3。

本研究选择 4 种最常用的物种多样性指数,即 Simpson 指数(D)、Shannon-Weiner 指数(H)及均匀度指数 Pielou 指数(J_{sw})和 Gini 指数(J_{si})^[13],对北京鹫峰地区侧柏人工林草本层物种多样性进行分析,其计算公式如下:

$$D=1-\sum_{i=1}^s P_i^2;$$
$$H=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i;$$
$$J_{sw}=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i / \ln S;$$
$$J_{si}=1-\sum_{i=1}^s P_i^2 / (1-1/S)。$$

式中: $P_i=N_i/N$, N_i 为样地内第*i*种物种的总株数, N 为样地内所有物种总株数, $i=1,2\cdots S$, S 为物种数。

1.2.3 总体关联性分析方法 采用方差比率(VR)法测定北京鹫峰地区侧柏人工林草本层主要植物种群间的关联性质^[14]。VR 的计算公式为:

$$VR=S_T^2/\delta_T^2。$$

式中: S_T^2 为总种数方差, δ_T^2 为总样本方差,其计算公式为:

$$S_T^2=\sum_{j=1}^n (T_j-t)^2/n;$$
$$\delta_T^2=\sum_{i=1}^s P_i(1-P_i)。$$

式中: T_j 为样方*j*内出现的研究物种总数; t 为样方的平均物种数, $t=(T_1+T_2+\cdots+T_n)/n$, n 为样方总数; S 为总物种数; $P_i=n_i/n$, n_i 为物种*i*出现的样方数。以 VR 值作为全部种的关联指数,若 VR=1,表明研究区优势植物种群间不关联;若 VR>1,表明研究区优势植物种群间表现出净的正关联;若 VR<1,表明研究区优势植物种群间表现出净的负关联。

1.2.4 种间关联性分析方法 本研究对调查样地中的优势物种进行种间联结及相关性分析。建立 2×2 联列表(表 2),并根据原始资料矩阵,计算各种对的*a,b,c,d*值。以 χ^2 检验为基础,结合联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 等方法测定物种间的联结性^[15]。

表 2 种间关联性分析时两物种的 2×2 联列表

Table 2 2×2 association table of interspecific association analysis

种 A Species A	种 B Species B		合计 Total
	出现 Appear	不出现 Not appear	
出现 Appear	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>
不出现 Not appear	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>c+d</i>
合计 Total	<i>a+c</i>	<i>b+d</i>	<i>a+b+c+d</i>

(1)用 χ^2 检验 2 个种关联与否。根据物种在样方中存在与否将原始数据矩阵转化为(0,1)形式的二元数据矩阵,分别构建种对间的 2×2 联列表,并统计*a,b,c,d*的值,其中*a*为 2 个物种均出现的样方数,*b,c*为仅有 1 个物种出现的样方数,*d*为 2 个物种均未出现的样方数。由于取样为非连续性,因

此,对于非连续性数据的 χ^2 用 Yates 的连续校正公式计算^[16-17],即:

$$\chi^2 = \frac{n \left[|ad - bc| - \frac{1}{2}n \right]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}。$$

式中, n 为小样方总数。

χ^2 近似遵从自由度为 1 的 χ^2 分布,当 $\chi^2 < 3.841(P > 0.05)$ 时,种间联结独立;当 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635(0.01 < P < 0.05)$ 时,种间有一定的生态联结;当 $\chi^2 \geq 6.635(P < 0.01)$,种间有显著的生态联结。 χ^2 本身没有负值,判定正、负联结的方法是: $ad > bc$,种间具正关联; $ad < bc$,种间具负关联。

(2)联结系数 AC。为进一步测定种间关联强度,采用种间联结系数 AC 来检验由 χ^2 所测出的结果及说明种间联结程度。AC 的值域为 $[-1,1]$,AC 值越趋近 1,种对的正关联性越强;AC 值越趋近 -1,种对的负关联性越强;AC 值为 0,种间完全独立^[16-17]。其计算公式为:

$$AC = \begin{cases} (ad - bc) / (a + b)(b + d), ad \geq bc; \\ (ad - bc) / (a + b)(a + c), ad < bc, d \geq a; \\ (ad - bc) / (b + d)(c + d), ad < bc, d < a。 \end{cases}$$

表 3 北京鹫峰地区侧柏人工林草本层物种重要值

Table 3 Important values of main herb species in *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing

植物种 Plant species	重要值/% Important value	植物种 Plant species	重要值/% Important value
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (Arduino) Beauv.	33.5	大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.	1.6
狗尾巴草 <i>Pennisetum alopecuroides</i> (Linn.) Spreng.	15.3	孩儿拳头 <i>Grewia biloba</i> G. Don var. parviflora	1.5
灰菜 <i>Chenopodium album</i> Linn.	9.7	大丁草 <i>Gerbera anandria</i> (Linn.) Sch. -Bip.	1.2
牵牛花 <i>Pharbitis nil</i> (L.) Ching	7.1	半夏 <i>Pinellia ternata</i> (Thunb.) Breit.	1.2
披针叶苔草 <i>Carex lancifolia</i> C. B. Clarke	6.9	白首乌 <i>Cynanchum bungei</i> Decne.	1.1
堇菜 <i>Viola verecunda</i> A. Gray	3.5	剪股颖 <i>Agrostis matsumurae</i> Hack. ex Honda	0.8
穿山龙 <i>Dioscorea nipponica</i> Makino	2.8	多歧沙参 <i>Adenophora wawreana</i> Zahlbr.	0.4
茜草 <i>Rubia cordifolia</i> Linn.	2.1	甘菊 <i>Dendranthema lavandulifolium</i> (Fisch. ex Trautv.) Ling et Shih	0.5
蝎子草 <i>Girardinia suborbiculata</i> C. J. Chen	2.7	蓖苞风毛菊 <i>Saussurea pectinata</i> Bunge	0.1
四棱蒿 <i>Elsholtzia blanda</i> Benth.	1.7	⋮	⋮

对侧柏人工林草本层物种的多样性指数进行计算,北京鹫峰地区侧柏人工林草本层 Simpson 指数为 0.591,Shannon-Weiner 指数为 1.137。由于多样性指数是将物种丰富度与均匀度结合起来的一个单一的统计量,因此均匀度是群落多样性研究中十分重要的概念。本研究以均匀度指数 Pielou 指数

(3)共同出现百分率 PC^[18]。共同出现百分率 PC 也是用来测度物种间正联结程度的一个指标,其计算公式为:

$$PC = a / (a + b + c)。$$

PC 的值域为 $[0,1]$,其值越趋近于 1,则表明该种对的正联结越紧密。

2 结果与分析

2.1 侧柏人工林草本层植物物种组成

北京鹫峰地区侧柏人工林草本层植物物种组成如表 3(仅部分植物)所示,通过分析调查数据,草本层共有植物 41 种;统计分析各物种重要值,计算结果见表 3。从表 3 可以看出,求米草和狗尾巴草的重要值 $\geq 10\%$,灰菜(*Chenopodium album*)的重要值接近 10%,因此可以确定求米草、狗尾巴草和灰菜为侧柏人工林草本层的优势种群。由于求米草、狗尾巴草、灰菜、牵牛花、披针叶苔草、堇菜、穿山龙、茜草 8 种植物的重要值合计超过了 80%,因此这 8 种植物将作为侧柏人工林草本层的主要种参与其种间关系的计算。

和 Gini 指数分析物种多样性,通过计算得出,Pielou 指数为 0.809,Gini 指数为 0.807,2 个均匀度指数数值均较大,表明物种多样性较高,即草本层出现的物种多度分布比较均匀。

2.2 侧柏人工林草本层物种的总体关联性

根据方差比率法,在北京山区侧柏人工林群落

中,草本层的方差比率 VR 为 1.826,该 VR 大于 1,表明草本层主要种群间整体上表现出净的正关联。其可能的原因是互相依赖的物种,或者物种由于具有相似的生态学特性,因而对生境具有相似的适应性或重叠的生态位。

2.3 侧柏人工林草本层物种种对间的关联性

种对间的相互联结性体现了物种之间的依赖性与排斥性。正联结种对环境或资源(光照)有相似的需求,而存在显著负联结的种对其生态学特征不同,对生境的要求不一样,呈现相互排斥性^[19]。通过计算分析,得到研究区主要种群种间关联 χ^2 统计量数阵(表 4)。由表 4 可知,从整体上来看,该区侧柏人工林草本层种群种间关联程度较显著,且显著正关联的种对数多于负关联的种对数,在草本层 8 个主要种组成的 28 个种对中,有 36% 的种对(10 个种对)达到了显著关联($\chi^2 \geq 3.841$),其中有 3 个种对达到了极显著关联($\chi^2 \geq 6.635$),占到了总数的 11%,且在显著关联种对中,显著正关联的有 70%,显著负关联的有 30%。说明种群对生境和资源要求比较相似,这与种间总体相关性检验的方差比率 VR 值的结果一致。一般而言,随着植物群落演替的进展,群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和

稳定,种间关系也将同步趋于正相关,以求得多物种之间的稳定共存,因此,该草本层群落中主要物种处于稳定阶段。

从表 4 还可以看出,在北京山区侧柏人工林草本层 8 个主要物种组成的 28 个种对中,狗尾巴草与牵牛花表现出极显著的正联结。种群间的联结性从一个侧面反映出这些种对环境的趋同反应或一个物种对另外一个物种生存有利的自然现象^[20]。从狗尾巴草和牵牛花适宜的生长环境来看,二者都属于能够耐干旱、耐贫瘠的草本植物,对土壤适应性强,酸性、碱性土壤均可生长,具有相似的生长环境。狗尾巴草与求米草、狗尾巴草与披针叶苔草表现出极显著的负联结,可能主要是由于这几种植物对生长环境的要求是相反的,即呈现出相互排斥性。狗尾巴草是在温带和亚热带分布十分广泛、适生性特别强的植物,具有很强的耐瘠薄、耐干旱特性;而求米草是匍匐低矮小草本,喜生于水分充足、土壤肥沃的环境;披针叶苔草则适宜生长在雨量充足、气候凉爽的地区,耐荫喜湿^[21]。由于对生长环境需求明显不同甚至相反的差异,导致这些物种间表现出明显的互相排斥性。

表 4 北京鹫峰地区侧柏人工林草本层主要种种间关联的 χ^2 统计量
Table 4 Interspecific association χ^2 values of main herb species in *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing

植物种 Plant species	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	狗尾巴草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	灰菜 <i>Chenopodium album</i>	穿山龙 <i>Dioscorea nipponica</i>	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	堇菜 <i>Viola verecunda</i>	披针叶苔草 <i>Carex lancifolia</i>
狗尾巴草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	−9.961**						
灰菜 <i>Chenopodium album</i>	−1.832	5.380*					
穿山龙 <i>Dioscorea nipponica</i>	2.902	−0.304	1.346				
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	0.002	0.844	−4.075*	5.457*			
堇菜 <i>Viola verecunda</i>	4.188*	−1.172	−0.048	0.009	−1.125		
披针叶苔草 <i>Carex lancifolia</i>	0.438	−6.949**	−1.395	−0.050	5.037*	4.520*	
牵牛花 <i>Pharbitis nil</i>	0.592	16.766**	6.467*	−2.558	−0.007	−3.720	0.080

注: ** . 极显著联结($P<0.01$); * . 显著联结($P<0.05$)
Note: ** . Extremely significant correlation($P<0.01$); * . Significant correlation($P<0.05$).

AC 用来说明种间联结强度,其值域为[−1, 1]。AC 的值越接近 1,表明 2 个物种共同出现和共同不出现的可能性越大;相反,AC 值越接近于 −1,表明 2 个物种单独出现的可能性越大。从图 1 可以看出,茜草与披针叶苔草种对的 AC 值大于 0.60,即茜草与披针叶苔草共同出现的可能性很大,从 2 个

物种的生长环境可以看出,茜草喜凉爽湿润的环境,在土壤贫瘠的环境下不宜生长;披针叶苔草耐荫喜湿,适宜在气候凉爽、湿润的环境下生长^[21]。因此,由于茜草和披针叶苔草生境要求比较相似,所以表现出较强的种间联结强度。

共同出现百分率 PC 也是用来测度物种间正联

结程度的指标,PC 值越接近 0,表明 2 个物种共同出现的可能性越小。从图 1 可以看出,28 个种对中有 10 个种对的 PC 值介于 0~0.1,占总种对的 35.7%,表明它们几乎不能同时出现在同一生境中,可能主要是因为这些物种具有相同的生态位。PC 值分布在 0.1~0.6 的种对较多,而 PC 值大于 0.6

的种对不存在,说明种对间的联结程度不显著。从以上分析可以看出, χ^2 统计量、AC 值和 PC 值的计算结果基本一致。但也要注意种间关联度和种间联结性检验之间的关系,在以 χ^2 检验为基础的同时,结合联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 等方法,能够更好地确定其种对的关联程度。

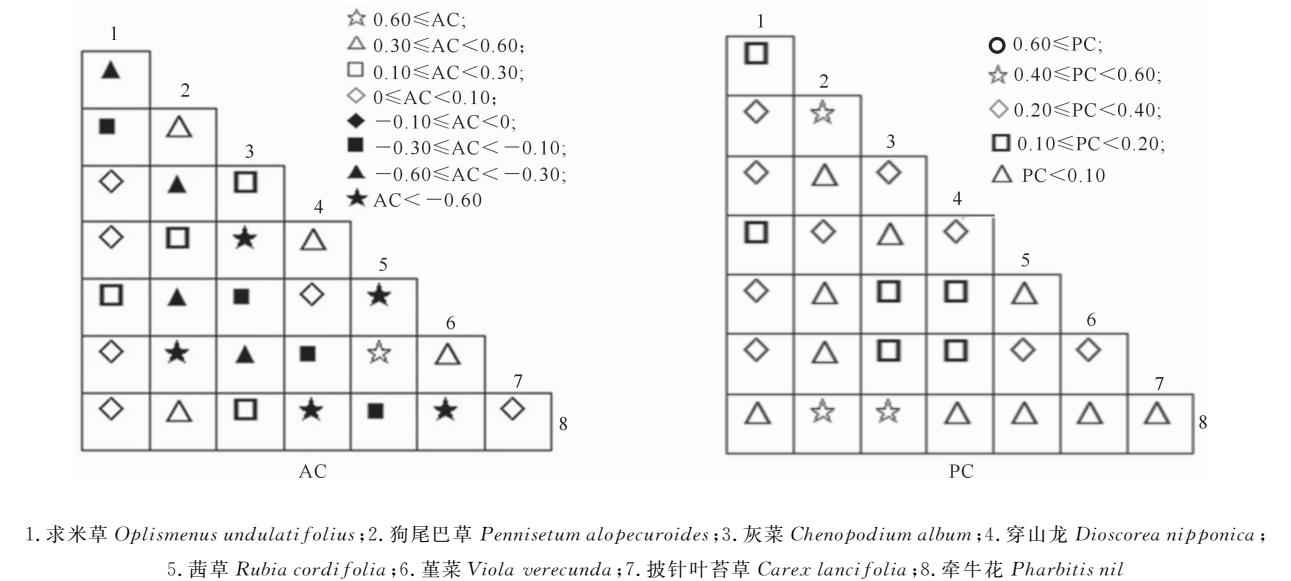


图 1 北京鹫峰地区侧柏人工林草本层主要物种种间联结性半矩阵图
Fig. 1 Semi-matrix of interspecific association of main herb species in *Platycladus orientalis* plantation in Jiufeng Mountain, Beijing

3 结论与讨论

植物群落物种多样性是反映植物群落组成结构和稳定性的重要指标,本研究得出北京鹫峰地区侧柏人工林草本层植物物种以求米草、狗尾巴草和灰菜为优势种,多样性 Simpson 指数为 0.591,Shannon-Weiner 指数为 1.137,该地区侧柏人工林草本层物种多样性指数偏小;相反,均匀度指数 Pielou 指数为 0.809,Gini 指数为 0.807,物种均匀度指数较大。其多样性指数偏小而均匀度指数偏大的主要原因可能是共同出现的物种较少、物种丰富度较低导致的。这与汪平等^[12]对北京西山地区侧柏游憩林植物多样性调查研究的结果相似,其调查研究结果显示,群落垂直各层次优势种群明显,其中草本层以求米草为优势种群。

物种对环境需求的异同是影响种间联结性的重要因素,研究种间关联性主要通过解释物种分布与环境因子的关系,进而揭示群落的演替规律^[22]。群落在不同的演替阶段,群落中物种间关联性也有所不同,通常认为,群落演替初期,种间趋于随机性,未

形成特定的种间关系;随着群落演替的进展,群落中种间关系随着种间竞争的不断加剧而变得更为复杂,具有相似生物学特性或者生境要求的物种表现为正关联,而不同生态习性的物种具有不同的生态位,表现为负关联;当群落逐渐向着顶极群落发展时,群落结构及种类组成将逐渐趋于完善和稳定,种间关系也将逐步趋向于正关联,以求得物种间的稳定共存^[23-24]。方差比率(VR)法能够很好地测定主要植物种群间的关联性质,本研究中方差比率 VR 为 1.826,大于 1,且通过 χ^2 检验测定各主要物种间的联结性,发现在草本层的 28 个种对中,有 10 个种对达到了显著联结,其中有 3 个种对达到了极显著关联($\chi^2 \geq 6.635$),占到了总数的 11%,且在显著关联的种对中,显著正关联的有 70%,显著负关联的有 30%,显著正关联多于显著负关联,表明草本层主要种群整体上表现出净的正关联,群落结构及其种类组成逐渐趋于完善和稳定,种间关系也同步趋于正相关,以求得多物种之间的稳定共存。因此,该草本层群落中主要物种处于逐步稳定的阶段。

在群落演替的过程中,种间关系随着种间竞争

的不断加剧而变得复杂,具有相似生物学特性或者生境要求的物种表现为正关联,而不同生态习性的物种具有不同的生态位,表现为负关联。在北京鹫峰地区侧柏人工林草本层的 28 个种对中,狗尾巴草与牵牛花表现出极显著的正联结,主要原因可能是二者都能够耐干旱、耐贫瘠,对土壤适应性强,具有相似的生长环境。狗尾巴草与求米草、狗尾巴草与披针叶苔草表现出极显著的负联结,可能是因为狗尾巴草具有很强的耐瘠薄、耐干旱特性,而求米草喜生于水分充足、土壤肥沃的环境,披针叶苔草适宜生长在雨量充足、气候凉爽的地区,这些对生长环境需求的明显差异,导致物种间表现出明显的互相排斥性。这与前人在该区域侧柏林的调查研究结果比较一致。董建文等^[25]对北京市郊区侧柏-刺槐群落林下植被的种间联结性进行研究,发现林下灌木的覆盖率相对较低,草本以求米草为主,林下植物种间关联主要交互发生在灌木层和草本层,比如显著正相关的有大油芒-酸枣、油芒-小叶鼠李等,显著负相关的有求米草-细叶苔草、求米草-细叶鸭葱、求米草-雀儿舌头等,总体上正联结种对和负联结种对数量相差不大。

χ^2 统计量、AC 值和 PC 值的计算结果基本一致,同时也要注意种间关联度和种间联结性检验之间的关系,在以 χ^2 检验为基础的同时,结合联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 等方法,能够更加准确地分析种对的关联程度。

[参考文献]

- [1] 王伯荪,李鸣光,彭少麟. 植物种群学 [M]. 广州:广东高等教育出版社,1995.
Wang B S, Li M G, Peng S L. Acta population [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1995.
- [2] 钟 宇,张 健,杨万勤,等. 巨桉人工林草本层优势种的种间关系及生态种组的划分 [J]. 草业学报, 2010, 19(3): 56-62.
Zhong Y, Zhang J, Yang W Q, et al. Interspecific relationships and ecological species groups of dominant herbage species in *Eucalyptus grandis* plantation [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(3): 56-62.
- [3] Graff P, Aguiar M R, Chaneton E. Shifts in positive and negative plant interactions along a grazing intensity gradient [J]. Ecology, 2007, 88: 188-199.
- [4] Brooker R W, Maestre F T, Callaway R M. Facilitation in plant communities: The past, the present, and the future [J]. Journal of Ecology, 2008, 96: 18-34.
- [5] Hubalek Z. Coefficient of association and similarity, based on binary (presence-absence) data: An evaluation [J]. Biological Review, 1982, 57: 669-689.
- [6] 冯耀宗. 物种多样性与人工生态系统稳定性探讨 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 853-857.
Feng Y Z. Species diversity and managed ecosystem stability [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(6): 853-857.
- [7] 李新荣. 俄罗斯平原针阔混交林群落的灌木层植物种间相关研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(1): 55-60.
Li X R. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferous-broad leaved mixed Geobotanical zone of Russia Plain [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(1): 55-60.
- [8] 张文辉,徐学华,李登武,等. 黄土高原丘陵沟壑区封禁 30 年前后狼牙刺种群动态研究 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 182-186.
Zhang W H, Xu X H, Li D W, et al. Dynamics of *Sophora davidii* population in a hilly region closed for thirty years in Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 182-186.
- [9] 李春义,马履一,王希群,等. 抚育间伐对北京山区侧柏人工林林下植物多样性的短期影响 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 60-66.
Li C Y, Ma L Y, Wang X Q, et al. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous areas [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(3): 60-66.
- [10] 奇 凯,张春雨,侯继华,等. 赤峰市沙地油松林草本植物多样性及种间关联动态 [J]. 生态学报, 2010, 30(18): 5106-5112.
Qi K, Zhang C Y, Hou J H, et al. Dynamics of species diversity and interspecific associations of herbaceous plants in a *Pinus tabulaeformis* forest on a sandy site in Chifeng, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(18): 5106-5112.
- [11] 赵 阳,余新晓,黄枝英,等. 北京西山侧柏水源涵养林空间结构特征研究 [J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 183-188.
Zhao Y, Yu X X, Huang Z Y, et al. Spatial structure characteristic of *Platycladus orientalis* forests in Beijing Xishan Mountain [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 18(4): 183-188.
- [12] 汪 平,贾黎明,李效文,等. 北京西山地区侧柏游憩林群落结构及植物多样性 [J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(4): 565-571.
Wang P, Jia L M, Li X W, et al. Community structure and plant diversity of a *Platycladus orientalis* recreational plantation in West Mountain area of Beijing [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(4): 565-571.
- [13] 陈 阳,王新杰. 闽西北丘陵地毛竹林下植物多样性的研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(1): 84-88.
Chen Y, Wang X J. Plant diversity under *Phyllostachys pubescens* forests in hilly area of northwest Fujian province [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(1): 84-88.
- [14] 王乃江,张文辉,陆元昌. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性 [J]. 生态学报, 2010, 30(1): 67-78.
Wang N J, Zhang W H, Lu Y C. Interspecific association among the plants communities in the forest at Ziwuling Area in Shaanxi Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 67-

78.

[15] 郭屹立,卢训令,丁圣彦. 伊洛河岸带生态系统草本植物功能群划分 [J]. 生态学报,2012,32(14):4434-4442.

Guo Y L,Lu X L,Ding S Y. The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River [J]. Acta Ecologica Sinica,2012,32(14):4434-4442.

[16] 郭忠玲,马元丹,郑金萍,等. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究 [J]. 应用生态学报,2004,15(11):2013-2018.

Guo Z L,Ma Y D,Zheng J P,et al. Biodiversity of tree species, their populations spatial distribution pattern and interspecific association in mixed deciduous broadleaved forest in Changbai Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004,15(11):2013-2018.

[17] 李建民,谢 芳,陈存及,等. 光皮桦天然林群落优势种群的种间联结性研究 [J]. 应用生态学报,2001,12(2):168-170.

Li J M, Xie F, Chen C J, et al. Interspecific association of dominant species in *Betula luminifera* natural forest communities of Shaowu, Fujian [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2001,12(2):168-170.

[18] 胡 楠,范玉龙,丁圣彦. 伏牛山森林生态系统灌木植物功能群分类 [J]. 生态学报,2009,29(8):4017-4025.

Hu L,Fan Y L,Ding S Y. Functional group classification of shrub species in the Funiu mountain forest ecosystem [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(8):4017-4025.

[19] 姜 俊,赵秀海. 吉林蛟河针阔混交林群落优势种群种间联结性 [J]. 林业科学,2011,47(12):149-152.

Jiang J,Zhao X H. Interspecific correlations among dominant tree species in the coniferous and broad-leaved mixed forest communities in Jiaohe, Jilin province [J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(12):149-152.

[20] 王乃江,习世红,周秦生,等. 子午岭桥山林区柴松群落主要种群种间联结性研究 [J]. 西北植物学报,2010,30(4):645-651.

Wang N J,Xi S H,Zhou Q S,et al. Interspecific association of dominant populations of *Pinus tabulaeformis* f. *shekanensis* communities in Qiaoshan forest area [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin,2010,30(4):645-651.

[21] 贺士元,邢其华. 北京植物志 [M]. 北京:北京出版社,1984.

He S Y,Xing Q H. Flora of Beijing [M]. Beijing:Beijing Publishing Press,1984.

[22] 郭焱鑫,胡有宁,孔令通,等. 紫柏山亚高山草甸群落的种间关联和相关分析 [J]. 生态学杂志,2011,30(8):1775-1780.

Guo Y X,Hu Y N,Kong L T,et al. Interspecific association and correlation of main plant species in subalpine meadow of Zibai Mountain [J]. Chinese Journal of Ecology,2011,30(8):1775-1780.

[23] 娄彦景,赵魁义. 三江平原毛苔草群落近 30 年演替过程中的种间联结性分析 [J]. 生态学杂志,2008,27(4):509-513.

Lou Y J,Zhao K Y. Analysis of interspecific associations of *Carex lasiocarpa* community in recent 30-year succession in Sanjiang plain [J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(4):509-513.

[24] 邢 福,郭继勋. 糙隐子草草原 3 个放牧演替阶段种间联结对比分析 [J]. 植物生态学报,2001,25(6):693-698.

Xing F,Guo J X. Comparative analysis of interspecific association for three grazing successional stages of *Cleistogenes squarrosa* steppe [J]. Acta Phytocologica Sinica,2001,25(6):693-698.

[25] 董建文,翟明普,徐程杨,等. 京郊风景游憩林侧柏-刺槐群落林下植被种间联结研究 [J]. 江西农业大学学报,2007,29(1):66-71.

Dong J W,Zhai M P,Xu C Y,et al. A study on the interspecific association of main undergrowth in the community of *Platycladus orientalis* and *Robinia pseudoacacia* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2007,29(1):66-71.

(上接第 85 页)

[22] MacRitchie D,Sun G L. Evaluating the potential of barley and wheat microsatellite markers or genetic analysis of *Elymus trachycaulus* complex species [J]. Theoretical and Applied Genetics,2004,108:720-724.

[23] Sun G L,Salomon B,von Bothmer R. Microsatellite polymorphism and genetic differentiation in three Norwegian population of *Elymus alaskanus* (*Poaceae*) [J]. Plant Systematics and Evolution,2002,234:101-110.

[24] 李永祥,李斯深,李立会,等. 披碱草属 12 个物种遗传多样性的 ISSR 和 SSR 比较分析 [J]. 中国农业科学,2005,38(8):1522-1527.

Li Y X,Li S S,Li L H,et al. Comparison of genetic diversity of twelve *Elymus* species using ISSR and SSR markers [J]. Scientia Agricultura Sinica,2005,38(8):1522-1527.

[25] 马丹炜,王胜华,罗 通,等. 岩生植物金发草遗传多样性的 ISSR 和 AFLP 比较研究 [J]. 应用与环境生物学报,2006,12(5):605-608.

Ma D W,Wang S H,Luo T,et al. Comparative study on genetic diversity of rock plant *Pogona therum paniceum* using ISSR and AFLP markers [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2006,12(5):605-608.

[26] 刘 振,赵 洋,杨培迪,等. SSR、SRAP、ISSR 分子标记在茶树品种亲本鉴定上的比较分析 [J]. 茶叶科学,2014,34(6):617-624.

Liu Z,Zhao Y,Yang P D,et al. Comparison of parents identification for tea variety based on SSR,SRAP and ISSR markers [J]. Journal of Tea Science,2014,34(6):617-624.