

# 北京凤凰岭岩生植物优势种群种间关系

张 锐,李庆卫\*

(北京林业大学 园林学院,北京 100086)

**摘 要:**为了探究北京凤凰岭岩生植物群落的物种组成和优势种群的种间关系,在样方调查的基础上,采用  $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数等方法进行分析。结果表明:凤凰岭岩生植物群落有维管束植物 91 种,隶属于 43 科 73 属,重要值  $>0.010$  的植物有 25 种; $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数检验和 Spearman 秩相关系数检验的结果较为一致,尤其是  $\chi^2$  检验和 Spearman 秩相关系数检验,三者的正负关联比分别为 0.85、0.40、0.78,极显著及显著关联种对占总种对数的比例分别为 8.67%、5%、8.33%,群落整体上关联性较弱,处于相对稳定的状态;绘制  $\chi^2$  半矩阵图、Pearson 相关系数半矩阵图、Spearman 秩相关系数半矩阵图和 Spearman 秩相关系数星座图;根据植物生态习性和 Spearman 秩相关系数的种间关系将优势种群划分为 5 个生态种组,结合  $\chi^2$  检验,可将其合并为 3 个生态种组;关联性较强的种对可在配置中使用,有利于形成较为稳定的人工群落,为岩生植物的园林应用和植物配置提供一定依据。

**关键词:**北京凤凰岭;岩生植物;种间关联;种间相关

**中图分类号:**S718.54      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)02-0167-08

## Interspecific Relationship among Dominant Rock Plant Species in Beijing Phoenix Hill

ZHANG Rui, LI Qing-wei\*

(Department of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100086, China)

**Abstract:** In order to explore species composition of rock plant community and interspecific relationship of dominant population occurring in Beijing Phoenix Hill, a sampling survey was carried out. The data obtained were analyzed by using  $\chi^2$ -test, Pearson correlation coefficient, and Spearman rank correlation coefficient, as well as other methods. Totally, 91 vascular species were found in the rock plant community of Beijing Phoenix Hill, belonging to 43 families and 73 genera, in which there were 25 dominant species whose important value was greater than 0.010. The results of  $\chi^2$ -test, Pearson correlation coefficient test and Spearman rank correlation coefficient test were relatively consistent. Positive and negative correlation ratios of the three tests were 0.85, 0.40, and 0.78, respectively. The species-pairs with most significant or significant correlations accounted for 8.67%, 5% and 8.33% of the total in three tests, respectively, indicating that the correlations of the community as a whole were weak, and the plant community was in a relatively stable state. Semi-matrix of  $\chi^2$ -test, Pearson correlation coefficient test, Spearman rank correlation coefficient and constellation diagram of Spearman rank correlation coefficient were drawn for clarity and distinction. According to the plant ecological habits and the interspecific relationship of Spearman rank correlation coefficient test, dominant populations were divided into five major ecological species group. However, when the result of  $\chi^2$ -test was overall taken into account, it could be combined into three ecological species group. It was suggested that the species-pairs with significant correlation could be used in the plant config-

收稿日期:2015-05-14    修回日期:2015-07-05

作者简介:张 锐,女,研究生,研究方向:园林植物应用与园林生态。E-mail:reedy0823@163.com

\*通信作者:李庆卫,男,副教授,研究方向:园林植物应用与园林生态、园林植物栽培养护与管理。E-mail:lqw6809@bjfu.edu.cn

uration, to be favorable to the formation of relatively stable artificial community, The results could provide basis for the landscape application and plant disposition of the rock plant species.

**Key words:** Beijing Phoenix Hill; rock plant; interspecific association; interspecific correlation

种间关系, 又称种间亲和性, 是体现 2 个物种相似性的一种尺度, 包括种间关联和种间相关, 对研究植物群落结构和功能、生境类型、群落演替趋势、各植物之间的关系、植物与环境因子之间的相互作用、生态种组等具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。调查北京凤凰岭岩生植物群落, 研究优势种群的种间关系, 便于了解北京低山地区的岩生植物种类、群落结构和生态种组等, 为干旱瘠薄地区的植物选用、岩生植物的园林应用、生态修复等提供科学依据。模拟自然界较为稳定的生态种组进行搭配人工群落搭配, 能使植物对空间资源的利用更为合理, 优化植物配置。

## 1 研究区概况

北京凤凰岭自然风景区位于海淀区聂各庄乡境内, 因其独特的裸露山石景观闻名, 总面积 10.62 km<sup>2</sup><sup>[3]</sup>, 属于北京西山山脉。该区属于温带大陆性季风气候, 春秋平均气温为 23℃, 4—10 月相对湿度为 58%<sup>[4]</sup>。凤凰岭为特殊的石质山区, 属低山区, 最高山顶海拔为 650 m 左右, 有大量裸露的山石和岩生植被。凤凰岭整体坡向朝东, 多为东坡。北京西山是中国构造地质学的经典研究区, 有重要的构造变动“燕山运动”, 髻髻山层为一大关键<sup>[5]</sup>, 凤凰岭山石的奇特壮观缘于此。北京西山斋堂以北出露一套中性火山岩, 为蔡家岭组<sup>[6]</sup>, 北京房山—昌平—怀柔汤河口带的东北向带状区域为燕山西段及北京西山晚中生代逆冲构造<sup>[7]</sup>。调查范围为 40°5′—40°7′N、116°4′—116°5′E。调查中发现, 岩生植物群落的土层很薄, 岩石上的覆土层一般为 10~20 cm, 最薄处只有 2 cm。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集方法

在北京凤凰岭, 以北线景区为主, 南线、中线景区为辅, 从山脚到山顶, 沿着旅游线路, 选择岩生植被群落布置样方。采用系统取样方法, 主要针对岩生灌木和草本群落, 海拔每升高 100 m 设置样方 10~15 个, 每个样方大小为 1 m×1 m, 共设置 80 个样方。记录样方内灌木和草本植物的种名、株数、盖度、平均冠幅和高度等, 同时记录样方海拔、坡向、坡度、光照情况等。

### 2.2 数据处理方法

2.2.1 重要值 草本和灌木的相对重要值<sup>[8]</sup>:

$$IV=(Rd+Rc+Rf)/300 \tag{1}$$

式中:  $IV$  为某一物种的重要值;  $Rd$  表示相对密度;  $Rc$  表示相对盖度;  $Rf$  表示相对频度。

2.2.2 种间关联  $\chi^2$  检验 将 2 个种出现与否的观测值填入在  $2 \times 2$  列联表中, 在此基础上, 计算  $\chi^2$  值, 用以判断 2 个物种关联与否。通常以物种在取样单位中存在与否为依据, 是定性数据。在种间关联研究中, 由于植被调查数据的离散特征, 需采用校正的  $\chi^2$  检验。经校正后  $\chi^2$  检验表达式<sup>[9]</sup>如下:

$$\chi^2 = \frac{N(|ad-bc|-1/2N)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \tag{2}$$

式中:  $a$  为含有 2 个种 A 和 B 的样方数;  $b$  为只含有种 B 的样方数;  $c$  为只含有种 A 的样方数;  $d$  为 2 个种都不存在的样方数;  $N$  为样方总数。当  $ad-bc > 0$  时为正关联,  $ad-bc < 0$  时为负关联。若  $\chi^2 \geq 6.635$  ( $p \leq 0.01$ ) 表示种间关联性极显著; 若  $6.635 > \chi^2 \geq 3.841$  ( $0.01 < p \leq 0.05$ ), 则表示种间关联性显著; 若  $\chi^2 < 3.841$  ( $p > 0.05$ ), 表示种间关联不显著或没有关联。

### 2.2.3 种间相关 Pearson 相关系数与秩相关系数

种间相关也是指不同种在空间分布上的相互联结性, 不局限于物种存在与否的多元数据, 同时涉及物种的数量多少, 是一种定量的关系<sup>[10]</sup>。

Pearson 相关系数的表达式<sup>[9]</sup>为:

$$r_{p(i,k)} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}} \tag{3}$$

Spearman 秩相关系数的表达式<sup>[9]</sup>为:

$$r_{s(i,k)} = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N} \tag{4}$$

根据以上公式, 结合软件 Excel2007 与 SPSS18.0 完成数据处理与分析, 绘制半矩阵图。

## 3 结果与分析

### 3.1 物种组成

根据 80 个样方数据资料的统计, 北京凤凰岭山区共有维管束植物 91 种, 隶属于 43 科 73 属。其中, 双子叶植物 36 科 60 属 76 种, 单子叶植物 3 科 9 属 11 种, 蕨类植物 4 科 4 属 4 种。从科属上的分布来看, 以禾本科 (Gramineae)、蔷薇科 (Rosaceae)、菊科 (Compositae)、唇形科 (Labiataceae)、豆科 (Legu-

minosae)等的植物种类最多;属的分类比较分散,每种植物几乎分属于不同属,蒿属(*Artemisia*)、菊属(*Chrysanthemum*)、胡枝子属(*Lespedeza*)、绣线菊属(*Spiraea*)、隐子草属(*Cleistogenes*)、鸢尾属(*Iris*)的植物种类较多。所有样方的平均植物盖度为 73.2%,统计所有植物,平均高度为 32.74 cm,平均冠幅为 432.68 cm<sup>2</sup>,群落整体的高度相对同海拔的其他灌木和草本群较低矮。

3.2 优势物种的数量特征

根据调查的数据,计算所有植物种的相对密度、相对盖度、相对频度、平均冠幅、平均高度和重要值等数量分布情况,进行重要值排序,重要值>0.010的植物有 25 种。将这 25 种植物定义为凤凰岭岩生

植物群落的优势种,针对这些植物进行两两物种的种间关联性分析,这 25 种优势植物的各种数量特征值见表 1。

从表 1 可以看出,旱生卷柏的重要值最大,为 0.119;其次是荆条、多花胡枝子、丛生隐子草、披针叶苔草等;优势种中重要值最低为委陵菜,为 0.010。样方中出现的 91 种植物中,随着重要值的降低物种数逐渐增加,其中重要值<0.005的有 43 种,占有物种总数的 47.25%,多样性丰富,但非优势种在群落中的影响力较小。25 种优势种分属于 15 科 22 属;其中,以菊科的植物种最多,有 5 种;其次是禾本科,有 4 种;蔷薇科、豆科、鼠李科(Rhamnaceae)植物种类也占优势,均有 2 种;其余 10 种分属于 10 个不同的科。

表 1 北京凤凰岭岩生植物优势种的数量特征

Table 1 Quantitative attributes of the dominant rock plant species in Beijing Phoenix Hill							
序号	植物名称	相对密度/%	相对盖度/%	相对频度/%	平均冠幅/cm	平均高度/cm	重要值
1	旱生卷柏( <i>Selaginella stauntoniana</i> )	29.49	3.89	2.41	25.45	8.64	0.119
2	荆条( <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> )	6.13	16.70	10.72	671.43	39.69	0.112
3	多花胡枝子( <i>Lespedeza floribunda</i> )	3.31	8.32	8.32	540.79	26.71	0.066
4	丛生隐子草( <i>Cleistogenes caespitosa</i> )	10.42	4.44	4.60	100.95	36.19	0.065
5	披针叶苔草( <i>Carex lanceolata</i> )	3.21	4.44	4.38	290.00	21.25	0.04
6	白莲蒿( <i>Artemisia gmelinii</i> )	3.90	2.65	4.38	150.50	30.75	0.036
7	黄花蒿( <i>Artemisia annua</i> )	3.28	2.82	3.72	200.00	31.47	0.033
8	小叶鼠李( <i>Rhamnus parvifolia</i> )	0.98	5.09	3.50	1 225.00	44.06	0.032
9	薄皮木( <i>Leptodermis oblonga</i> )	1.34	2.22	2.84	315.38	26.92	0.021
10	大叶铁线莲( <i>Clematis heraclei folia</i> )	1.77	2.85	1.53	400.00	24.29	0.021
11	大花溲疏( <i>Deutzia grandiflora</i> )	0.49	3.81	1.53	1 771.43	50.00	0.019
12	酸枣( <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> )	0.75	2.24	2.63	550.00	38.33	0.019
13	矛叶荩草( <i>Arthraxon prionodes</i> )	3.18	1.08	0.66	56.67	43.33	0.016
14	紫花野菊( <i>Dendranthema zawadskii</i> )	2.16	0.89	1.75	97.50	26.25	0.016
15	狗尾草( <i>Setaria viridis</i> )	1.70	0.80	2.19	88.00	40.00	0.016
16	胡枝子( <i>Lespedeza bicolor</i> )	0.92	1.76	1.75	400.00	30.00	0.015
17	小叶白蜡树( <i>Fraxinus bungeana</i> )	0.29	2.65	1.31	2 216.67	90.83	0.014
18	石生蝇子草( <i>Silene tatarinowii</i> )	1.83	1.08	1.31	116.67	21.67	0.014
19	雀儿舌头( <i>Leptopus chinensis</i> )	0.49	2.27	1.09	1 500.00	33.00	0.013
20	猪毛菜( <i>Salsola collina</i> )	0.69	1.30	1.75	281.25	34.38	0.012
21	小红菊( <i>Dendranthema chagnetii</i> )	1.87	0.72	1.09	74.00	20.00	0.012
22	三裂绣线菊( <i>Spiraea trilobata</i> )	0.46	1.45	1.75	550.00	34.38	0.012
23	黄背草( <i>Themeda japonica</i> )	0.52	1.30	1.53	457.14	70.00	0.011
24	抱茎苦荬菜( <i>Ixeris sonchi folia</i> )	0.62	1.06	1.53	314.29	27.86	0.011
25	委陵菜( <i>Potentilla chinensis</i> )	0.72	0.56	1.75	137.50	18.13	0.010

3.3 种间关联性

种间关联指种间相互吸引或排斥的性质<sup>[2]</sup>。种对间呈正关联,主要是由于它们具有相近的生物学特性,对生境具有相似的生态适应性和相互重叠的生态位所致;种对间的负关联,则主要由于它们具有不同的生物学特性,对生境具有不同的生态适应性和相互分离的生态位所致<sup>[11]</sup>。χ<sup>2</sup> 检验结果(图 1)

表明,北京凤凰岭岩生植被优势种组成的 300 个种对中,表现为正关联的有 138 对,占总种对数的 46%;负关联的 162 对,占总种对数的 54%;正负关联比为 0.85。呈显著或极显著关联的种对共计 26 对,占总种对数量的 8.67%。其中,呈正关联的种对有 11 对,占总种对数量的 3.67%;呈负关联的 15 个种对,占总种对数量的 5%。这些种对中呈显著

或极显著关联的对数所占比列较小,说明北京凤凰岭的 25 种优势岩生植物间具有一定的关联性,但关

联性不是很强,而且负关联种对所占比列较大,说明群落仍存在较为独立的分布格局,稳定性一般。

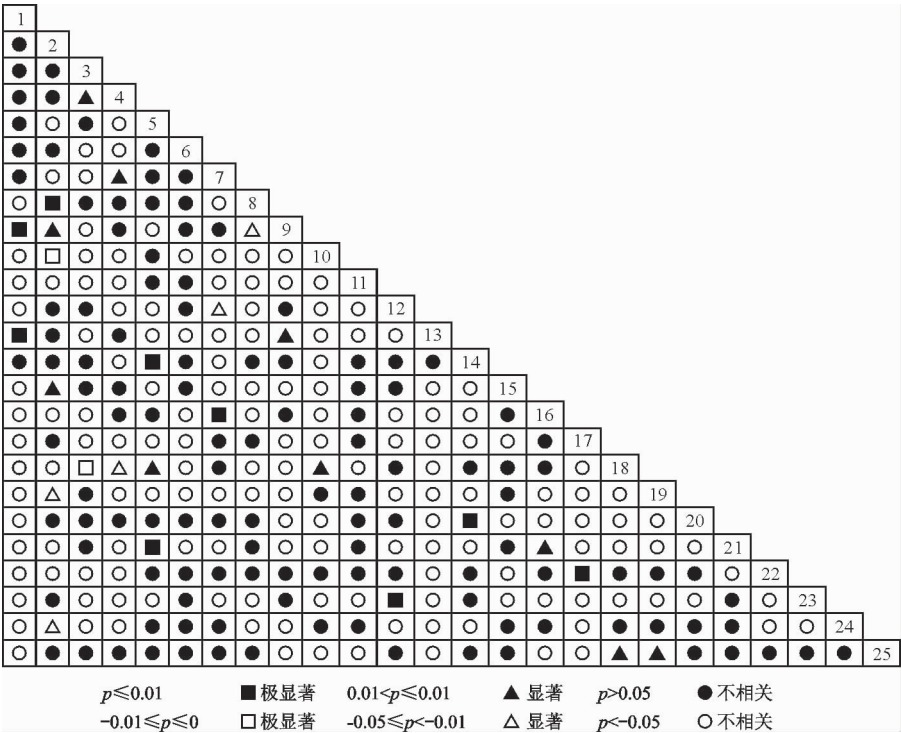


图 1 北京凤凰岭 25 种优势岩生植物种间关联的  $\chi^2$  半矩阵

Fig. 1 Semi-matrix of  $\chi^2$ -test among 25 dominant rock plant species in Beijing Phoenix Hill

正关联的 19 个种对中,9 个种对呈极显著关联,即早生卷柏-薄皮木、早生卷柏-矛叶荇草、荆条-小叶鼠李、披针叶苔草-紫花野菊、披针叶苔草-小红菊、黄花蒿-胡枝子、酸枣-黄背草、紫花野菊-猪毛菜、小叶白蜡树-三裂绣线菊。10 对呈显著关联,即荆条-薄皮木、荆条-狗尾草、多花胡枝子-丛生隐子草、丛生隐子草-黄花蒿、披针叶苔草-石生蝇子草、薄皮木-矛叶荇草、大叶铁线莲-石生蝇子草、胡枝子-小红菊、石生蝇子草-委陵菜、雀儿舌头-委陵菜。负关联的 7 个种对中,2 个种对呈极显著关联,即荆条-大叶铁线莲、多花胡枝子-石生蝇子草。5 个种对呈显著关联,即荆条-雀儿舌头、荆条-抱茎苦荚菜、丛生隐子草-石生蝇子草、黄花蒿-酸枣、小叶鼠李-薄皮木。

3.4 Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验

Pearson 相关检验(图 2)中,表现为正关联的有 86 对,占总种对数的 28.67%;负关联的 214 对,占总种对数的 71.33%;正负关联比为 0.40。呈显著或极显著关联的种对共 15 对,占总种对数量的 5%,与  $\chi^2$  检验的结果有偏差。其中,9 个种对呈极显著关联,即早生卷柏-多花胡枝子、丛生隐子草-猪毛菜、披针叶苔草-紫花野菊、黄花蒿-胡枝子、黄花蒿-石生蝇子草、大叶铁线莲-抱茎苦荚菜、小叶白蜡

树-三裂绣线菊、石生蝇子草-委陵菜、小红菊-黄背草;4 对呈显著关联,即早生卷柏-薄皮木、荆条-矛叶荇草、酸枣-黄背草、猪毛菜-抱茎苦荚菜。负关联种对中,没有呈极显著相关的种对,呈显著关联的种对 2 个,即荆条-大叶铁线莲,荆条-胡枝子。

秩相关系数是在双变种群不是正态分布的情况下应用的<sup>[2]</sup>。Spearman 秩相关检验(图 3)中,表现为正关联的有 131 对,占总种对数的 43.67%;负关联的 169 对,占总种对数的 56.33%;正负关联比为 0.78。呈显著或极显著关联的种对共 25 对,占总种对数量的 8.33%。其中,正关联的 20 个种对中,10 个种对呈极显著关联,即早生卷柏-薄皮木、早生卷柏-矛叶荇草、荆条-丛生隐子草、荆条-小叶鼠李、披针叶苔草-紫花野菊、黄花蒿-胡枝子、酸枣-猪毛菜、紫花野菊-猪毛菜、小叶白蜡-三裂绣线菊、石生蝇子草-抱茎苦荚菜;10 对呈显著关联,即早生卷柏-多花胡枝子、丛生隐子草-黄花蒿、披针叶苔草-石生蝇子草、披针叶苔草-小红菊、黄花蒿-石生蝇子草、薄皮木-矛叶荇草、薄皮木-黄背草、大叶铁线莲-石生蝇子草、大叶铁线莲-抱茎苦荚菜、胡枝子-小红菊。说明这些植物对水分、空气、光照的需求大致相同,同时部分种对存在高度差异,生态位上可以互补,能够充分利用空间资源,植物间可以保持相对稳定的共存。



1																									
0.056		2																							
0.235 *		0.121	3																						
0.051		0.314 * *	0.074	4																					
0.049		-0.155	0.084	0.057	5																				
0.146		-0.032	-0.048	-0.055	0.141	6																			
0.073		-0.116	0.02	0.255 *	0.044	0.165	7																		
-0.197		0.316 * *	0.046	0.113	0.04	-0.031	-0.128	8																	
0.374 * *		0.178	0.005	0.01	-0.154	0.081	0.077	-0.217	9																
-0.123		-0.338 * *	-0.181	-0.182	0.008	-0.176	-0.042	-0.153	-0.136	10															
-0.123		-0.233 *	-0.019	-0.182	0.031	0.041	-0.056	-0.057	-0.021	-0.096	11														
0.005		0.096	-0.03	0.064	-0.171	-0.101	-0.128	0.051	-0.019	-0.129	-0.025	12													
0.288 * *		0.207	-0.078	0.053	-0.112	-0.112	-0.102	-0.098	0.253 *	-0.061	-0.083	0.173	0.148	13											
0.207		-0.086	0.044	-0.026	0.34 * *	-0.018	-0.171	0.021	0.164	-0.103	0.047	0.173	0.148	14											
-0.048		0.098	-0.093	0.148	-0.073	0.023	-0.024	-0.068	-0.165	-0.117	0.02	0.182	-0.074	-0.125	15										
-0.132		-0.265 *	-0.061	0.014	0.079	-0.089	0.374 * *	-0.165	0.09	-0.103	0.172	-0.036	-0.066	-0.111	-0.012	16									
-0.113		0.098	-0.172	-0.078	-0.06	-0.162	-0.052	0.218	0.005	-0.088	0.082	-0.119	-0.056	-0.095	-0.107	0.069	17								
-0.113		-0.19	-0.254 *	-0.167	0.241 *	-0.037	0.24 *	-0.141	-0.006	0.243 *	-0.088	0.002	-0.056	0.075	0.19	0.059	-0.081	18							
-0.103		-0.168	0.108	-0.05	-0.147	-0.147	-0.133	-0.128	-0.113	0.089	0.105	-0.108	-0.051	-0.086	0.066	-0.086	-0.073	-0.073	19						
-0.034		0.038	0.04	0.206	0.006	0.09	0.03	0.015	-0.056	-0.103	0.042	0.299 * *	-0.066	0.297 * *	-0.125	-0.095	-0.095	-0.095	-0.086	20					
-0.103		-0.129	0.029	-0.152	0.282 *	-0.147	-0.005	0.133	-0.113	-0.08	0.114	-0.108	-0.051	-0.086	0.056	0.234 *	-0.073	-0.073	-0.067	-0.086	21				
-0.006		-0.215	-0.141	-0.196	-0.016	0.008	0.144	0.032	0.06	0.044	0.061	-0.033	-0.066	0.029	-0.125	0.029	0.377 * *	0.073	-0.086	0.026	-0.086	22			
-0.123		0.12	0.012	-0.099	-0.069	0.003	-0.069	-0.034	0.246 *	-0.096	-0.096	0.141	-0.061	0.045	-0.117	-0.103	-0.088	-0.088	-0.08	-0.103	0.121	-0.103	23		
-0.123		-0.266 *	-0.013	-0.055	0.088	0.014	0.178	-0.153	-0.027	0.221 *	0.219	-0.129	-0.061	-0.103	0.143	0.174	-0.088	0.4 * *	0.112	0.065	0.105	-0.103	-0.096	24	
-0.123		-0.112	0.085	0.09	-0.032	0.103	0.058	0.124	-0.146	-0.103	-0.103	0.073	-0.066	0.14	0.144	-0.111	-0.095	0.086	0.086	0.147	0.073	0.016	0.047	0.055	25

注: \* \*, 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的, 即极显著相关; \*, 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的, 即显著相关。

图 3 北京凤凰岭 25 种优势岩生植物种间关联的 Spearman 秩相关系数半矩阵  
Fig. 3 Semi-matrix of Spearman rank correlation coefficient among 25 dominant rock plant species in Beijing Phoenix Hill

负关联的 5 个种对中,呈极显著关联的种对 1 对,即荆条-大叶铁线莲;呈显著关联的种对 4 对,即荆条-大花溲疏、荆条-胡枝子、荆条-抱茎苦蕒菜、多花胡枝子-丛生蝇子草。这些负关联种对主要是由植物生态习性和环境因子的差异造成的,种间竞争的作用较小。

3.5 3 种检验结果对比

从上述结果及表 2 可知, $\chi^2$  检验、Spearman 秩相关分析的结果较为一致,而 Pearson 相关分析与

之出入较大。因为 Pearson 相关分析假定物种服从正态分布,如若植被数据不能满足这一假设,结果便会产生偏差<sup>[12]</sup>,故 Pearson 相关不适用于一般群落的种间关系检验,可用作辅助分析。三者的正负关联比分别为 0.85、0.40、0.78,均<1,但极显著和显著相关的正负比分别为 2.71、6.50、4,均远>1,说明多数物种间关系不紧密,个别优势种相互依存,竞争关系及生态习性差异较大的种对较小,群落呈稳定发展态势。

表 2 北京凤凰岭 25 种优势岩生植物种间关系的 3 种检验结果

Table 2 3 tested results of interspecific relationships for 25 dominant rock plant species in Beijing Phoenix Hill

检验方法	极显著相关种对数( $ p  \leq 0.01$ )		显著相关种对数( $0.01 <  p  \leq 0.05$ )		不显著相关种对数( $ p  > 0.05$ )	
	正相关	负相关	正相关	负相关	正相关	负相关
$\chi^2$ 检验	9	2	10	5	119	155
Pearson 相关系数	9	0	4	2	73	212
Spearman 秩相关系数	10	1	10	4	111	164

3.6 生态种组划分

群落中生态习性相似的种可以划分为 1 个生态种组<sup>[13]</sup>。 $\chi^2$  检验、Spearman 秩相关分析的结果得出的极显著及显著相关种对较为一致,出现偏差的种对没有根本的矛盾性,且后者涉及数据的定量分析,灵敏度较高,反映的信息要相对全面准确<sup>[14]</sup>,根据其分析结果绘制 Spearman 秩相关系数星座图(图 4),得到 21 种植物之间的连线关系,有 4 种植物(种 6、种 15、种 19、种 25)未体现出显著种间关系。大花溲疏(种 11)较为独立出现,且与荆条(种 2)呈现显著负相关性。由图 4,根据种群之间的联结性及物种的生态习性,将 21 个种分为 5 个生态种组。

莲(种 10)、石生蝇子草(种 18)、抱茎苦蕒菜(种 24);第 4 生态种组包括黄花蒿(种 7)、胡枝子(种 16)、披针叶苔草(种 5)、紫花野菊(种 14)、小红菊(种 21)、猪毛菜(种 20)、酸枣(种 12);第 5 生态种组包括小叶白蜡树(种 17)、三裂绣线菊(种 22)。

第 1、第 2 生态种组的植物群落土壤较为瘠薄,植物能够在 2~5 cm 的石生土层上都生长良好,光照充足;后 3 个生态种组的土层稍厚;第 3、第 4 生态种组立地条件较阴湿。 $\chi^2$  检验的结果中,第 1、第 2 生态种组中的荆条-薄皮木、多花胡枝子-丛生隐子草等呈显著关联,表现出较强的种间联结性,且二者生境因子类似,可以合并;同理,第 3、第 4 生态种组也可以合并。综合多种因素,从而划分为 3 个生态种组。

4 结论与讨论

通过样方调查统计分析,结果表明北京凤凰岭岩生植物群落共有维管束植物 91 种,隶属于 43 科 73 属,以禾本科、蔷薇科、菊科等为主。重要值>0.01 的种类有 25 种,旱生卷柏、荆条、多花胡枝子、披针叶苔草、黄花蒿等植物优势明显。

根据  $\chi^2$  检验、Pearson 相关、Spearman 秩相关分析的结果,呈极显著及显著的种对所占比例均不超过 9%,正负关联比<1,说明凤凰岭岩生植物群落处于相对稳定的演替发展中,物种间的整体关联性较弱。在陕北丘陵沟壑区自然植被的恢复演替过程的研究中,发现退耕还林后植被演替后期,逐渐由多年生地带性丛生草本群落向耐旱耐瘠薄的灌丛群落演变<sup>[15]</sup>,说明在人为干扰较小的自然状态下,干旱地区的植被以耐干旱瘠薄的多年生草本植物与小

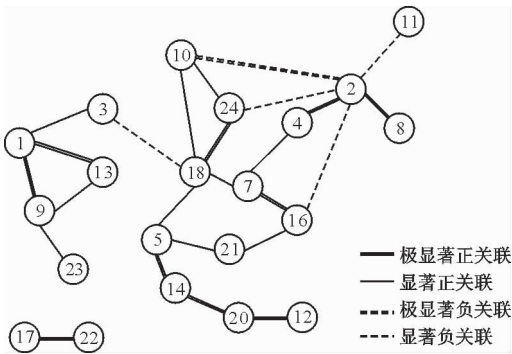


图 4 25 种优势岩生植物种间关联的 Spearman 秩相关系数星座

Fig. 4 The constellation diagram of Spearman rank correlation coefficient among 25 dominant rock plant species

第 1 生态种组包括旱生卷柏(种 1)、薄皮木(种 9)、多花胡枝子(种 3)、矛叶荇草(种 13)、黄背草(种 23);第 2 生态种组包括荆条(种 2)、丛生隐子草(种 4)、小叶鼠李(种 16);第 3 生态种组包括大叶铁线

灌木为主。因此,目前凤凰岭的岩生植被群落受人为干扰较小,属于自然状态。内蒙古裸露的砒砂岩上的人工沙棘群落种间关系呈显著相关的种对数占总对数的 60.8%<sup>[16]</sup>,较凤凰岭自然岩生植被群落呈现较强的正联结趋势,而种对数间呈极显著与显著相关的物种对数远低于呈不显著相关的对数说明该植物群落的种间关系松散<sup>[17]</sup>,虽然人工植被恢复多样性较低,但根据立地条件种植合适的植物有利于形成比自然生境种间关系更紧密的群落结构。

结合 Spearman 秩相关系数星座图和物种生态习性,划分生态种组,将 21 种具有极显著及显著关联的植物分为 5 个生态种组。考虑  $\chi^2$  检验的结果及生境因子,可将其合并成 3 个生态种组。

北京低山岩生植物群落的调查可拓展到园林应用方面,为周边地区土壤贫瘠处、岩石园、屋顶花园及生态恢复处等提供合适的植物种类,综合考虑植物的观赏特性,推荐荆条、多花胡枝子、薄皮木、黄花蒿、披针叶苔草、酸枣、紫花野菊、小红菊、早生卷柏、黄背草、石生蝇子草、委陵菜、三裂绣线菊、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、地黄(*Rehmannia glutinosa*)、圆叶牵牛(*Pharbitis purpurea*)、景天三七(*Sedum aizoon*)、马蔺(*Iris lactea* var. *chinesis*)、木本香薷(*Elsholtzia stauntoni*)等。关联性较强的种对可在配置中使用,师法自然,形成较为稳定的人工群落,如薄皮木-早生卷柏-多花胡枝子、大叶铁线莲-石生蝇子草、黄花蒿-胡枝子、披针叶苔草-紫花野菊-小红菊等。

参考文献:

[1] 王伯荪,李鸿光,彭少麟,等. 植物种群学[M]. 广州:广东高等教育出版社,1995.

[2] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2011.

[3] 佚名. 北京凤凰岭自然风景公园[J]. 中国商贸,2012(28):44-45.

[4] 吴炜,路保林. 走近凤凰岭[J]. 中关村,2013(07):18-23.

[5] 张宏仁,张永康,蔡向民,等. 燕山运动的“绪动”——燕山事件[J]. 地质学报,2013,87(12):1779-1790.

ZHANG H R,ZHANG Y K,CAI X M,*et al.* The triggering of Yanshan Movement:Yanshan Event[J]. Acta Geologica Sinica,2013,87(12):1779-1790. (in Chinese)

[6] 汪洋,孙金声,邱刚. 北京西山早侏罗世蔡家岭组火山岩岩石学特征及其成因[J]. 北京地质,1995(4):27-33.

WANG Y,SUN J S,QU G. Petrological characteristics and petrogenesis of volcanics of the early Jurassic Caijialing formation in the Western Hills of Beijing[J]. Beijing Geology,1995(4):27-33. (in Chinese)

[7] 张长厚,张勇,李海龙,等. 燕山西段及北京西山晚中生代逆冲构造格局及其地质意义[J]. 地学前缘,2006,13(2):165-183.

ZHANG C H,ZHANG Y,LI H L,*et al.* Late mesozoic thrust tectonics framework in the western part of the Yanshan orogenic belt and the Western Hills of Beijing:characteristics and significance[J]. Earth Science Frontiers,2006,13(2):165-183. (in Chinese)

[8] 邢韶华,赵勃,崔国发,等. 北京百花山草甸优势种的种间关联性分析[J]. 北京林业大学学报,2007,29(3):46-51.

XING S H,ZHAO B,CUI G F,*et al.* Inter-specific association of dominant species in Baihua Mountain meadow of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University,2007,29(3):46-51. (in Chinese)

[9] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1995:79-86.

[10] 覃林. 统计生态学[M]. 北京:中国林业出版社,2009:94-95.

[11] 郭志华,卓正大,陈洁,等. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究[J]. 植物生态学报,1997,21(5):424-432.

GUO Z H,ZHUO Z D,CHEN J,*et al.* Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain[J]. Acta Phytoecologica Sinica,1997,21(5):424-432. (in Chinese)

[12] 赵永全,何彤慧,程志,等. 银川平原湿地常见植物种间关系研究[J]. 干旱区研究,2013(5):838-844.

ZHAO Y Q,HE T H,CHENG Z,*et al.* Interspecific relationships among common plant species in wetlands in the Yin-chuan plain[J]. Arid Zone Research,2013(5):838-844. (in Chinese)

[13] DOMBOIS D M,ELLENBERG H. 植被生态学的目的与方法[M]. 鲍显诚,译. 北京:科学出版社,1986.

[14] 张震云,周伶,上官铁梁,等. 半干旱区锦鸡儿群落优势种种间关系[J]. 生态学杂志,2011,30(9):1868-1874.

ZHANG Z Y,ZHOU L,SHANGGUAN T L,*et al.* Interspecific relationships of dominant species in *Caragana* communities in semi-arid regions of China[J]. Chinese Journal of Ecology,2011,30(9):1868-1874. (in Chinese)

[15] 杨涛,王得祥,周金星,等. 陕北黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落演替规律及物种多样性动态研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):10-15.

YANG T,WANG D X,ZHOU J X,*et al.* Vegetation succession and species diversity dynamics of the plant communities in the less Hilly and gully region[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(5):10-15. (in Chinese)

[16] 郭建英,孙保平,郭海,等. 砒砂岩地区中国沙棘群落种间联结性分析[J]. 西北林学院学报,2009,24(1):1-5.

GUO J Y,SUN B P,GUO H,*et al.* Analysis of the interspecific association with *Hippophae rhamnoides* community in Pisha rock area[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(1):1-5. (in Chinese)

[17] 李潮,谢应忠,许冬梅,等. 宁夏荒漠草原植物群落的种间关系[J]. 草业科学,2013,30(11):1801-1807.

LI C,XIE Y Z,XU D M,*et al.* Plant interspecific relationships in desert steppe of Ningxia[J]. Pratacultural Science,2013,30(11):1801-1807. (in Chinese)