

山西省石灰岩山地优势种的 种间关联性分析及其生态组的划分^①

冯亮, 张钦弟, 侯慧敏, 金鑫, 毕润成

西南师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041004

摘要:研究了山西省石灰岩山地群落的物种组成及其种间关系, 为其植被的恢复提供进一步的理论依据. 在对其群落进行样方调查的基础上, 采用 χ^2 检验、Pearson相关性检验、Spearman秩相关性检验等数量分析方法, 对山西省石灰岩山地中的28个优势种共378对种间关系进行了种间关联性研究, 并用聚类分析的方法对其进行了生态种组的划分. 结果表明, 山西省石灰岩山地群落优势种间大多呈正关联, 群落处于较高层次的稳定阶段; 在 χ^2 检验、Pearson相关性检验、Spearman秩相关性检验中, 种间的正负关联比依次为8, 0.8, 1.08. 依据Pearson相关性检验, 采用组间链接的聚类方法, 可将28个优势种分为3个生态组, 其中最佳组合为生态组I, 其次为生态组II和生态组III.

关键词:石灰岩山地; 种间关联; 优势种; 生态组; 聚类分析

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)08-0051-08

石灰岩作为一种重要的资源, 在生产建设中使用广泛, 而在我国储量巨大^[1]. 同时石灰岩也是人们需求量最大的原材料之一, 在冶金、建筑、化工等行业中起着重要的作用^[2]. 但是, 随着石灰岩的不断开采, 在给人们带来经济效益的同时, 也带来了一系列的生态问题, 主要是由于石灰岩山地植被稀少, 裸岩较多, 土层瘠薄, 土壤含水量低, 造成水土流失严重, 造林成活率低. 因此矿山的绿化工程一直是山西省近年来的工作重点, 在出台了一些切实可行的政策和措施后, 整体上得到了较大的改善, 但仍然存在一些问题. 如何使矿山生态真正得到恢复, 提高整体绿化水平, 改善山区生态环境和生态景观, 仍然是当前工作的重点和难点^[3].

近些年, 对于石灰岩山地植物群落的研究逐渐受到国内外学者的重视. 在研究区域上, 主要集中于我国南方的大部分地区、山东、河北以及美国的亚利桑那州等地^[4-8], 而在山西则鲜有报道. 在研究方法上, 主要是运用层次分析法(AHP)建立适合其植物生长的综合评价选择体系以及物理分析等方法^[9], 而采用种间关联性分析的研究方法相对较少. 因此, 本研究将对山西石灰岩山地植被群落中各物种之间的关联性进行分析. 这种生物之间的关系, 是对于种群、群落之间的生态学关系的反映^[10]. 种间关联性对于研究物种之间的相互关系来说, 是必不可少的一个环节, 其研究结果可为我们对物种的保护、生态环境的建设、农牧业的发展等提供有力的理论支撑. 对于群落和地区性种群来说, 也是我们研究这些的关键切入点^[11-15]. 正、负关联性分别体现出不同物种间对资源的利用性和环境适应性的相似性和差异性^[16]. 本研究以期对山西石灰岩山地群落的恢复和保护提供理论依据, 为植被恢复中物种的选择和搭配提供科学的参考意见.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

山西省的石灰岩山地分布面积比较广泛, 主要分布于吕梁山脉、太行山脉沿线区域, 范围为北纬

^① 收稿日期: 2018-09-04

基金项目: 山西省化学优势重点学科建设生态化学子项目(912019).

作者简介: 冯亮(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事植物生态学的研究.

35°5′—39°55′, 东经 110°42′—114°3′. 海拔范围在 500~1 000 m 之间, 一般不超过 1 400 m. 岩石裸露度较高, 约占山地面积的 30%以上. 山地坡度较大, 容易形成悬崖峭壁, 不利于植物的生长和水土保持. 土层较薄, 随地形从基部至顶部由厚变薄, 一般在 10~30 cm 之间. 山西省年平均降水量普遍较少, 约为 520 mm, 且分布不均匀, 蒸发量较大, 土壤含水量较低.

研究区内乔木层植物较少, 主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)等. 灌木层和草本层种类较为丰富, 灌木层主要有荆条(*Vitex negundo* L. var. *heterophylla*)、多花胡枝子(*Lespedeza floribunda*)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)、野皂荚(*Gleditsia microphylla*)等; 草本层主要有白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、大披针藁草(*Carex lanceolata*)、碱菀(*Tripolium vulgare*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等.

1.2 样地设置

2017 年 10 月, 对山西省石灰岩山地选取若干条典型路线或具有代表性的区域进行普查, 调查范围包括沁水、泽州、和顺、平定、五台、阳高、代县、平遥等 19 个县市. 在调查区域内共设置灌木样方 76 个(5×5 m), 每个灌木样方内设置 2 个草本样方, 共 152 个. 记录每个样方内灌木以及草本植物的种类, 并测量每种植物的高度和盖度以及株数等定量指标. 同时测定各个样方的岩石裸露度、经纬度及一些地势因素.

1.3 数据的筛选及研究方法

在 76 个样方内共记录物种 122 个, 对各个物种按照频度进行了筛选, 剔除频度小于 10%的物种^[17], 得到 28 个物种(表 1), 组成横向为 28 个物种, 纵向为 76 个样方的原始数据矩阵, 对优势种间的关联性和相关性做出分析.

表 1 山西省石灰岩山地 28 种常见物种名录

| 序号 | 种 名 | 频 度 |
|-----|---|---------|
| X1 | 野皂荚 <i>Gleditsia microphylla</i> | 0.520 0 |
| X2 | 荆条 <i>Vitex negundo</i> L. var. <i>heterophylla</i> | 0.697 4 |
| X3 | 虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i> | 0.131 6 |
| X4 | 油松 <i>Pinus tabulaeformis</i> | 0.105 2 |
| X5 | 河朔堯花 <i>Wikstroemia chamaedaphne</i> | 0.236 8 |
| X6 | 小叶鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i> | 0.328 9 |
| X7 | 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i> | 0.131 6 |
| X8 | 多花胡枝子 <i>Lespedeza floribunda</i> | 0.822 4 |
| X9 | 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> | 0.118 4 |
| X10 | 蚂蚱腿子 <i>Myrica dioica</i> | 0.118 4 |
| X11 | 黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i> | 0.328 9 |
| X12 | 灌木铁线莲 <i>Clematis fruticosa</i> | 0.171 0 |
| X13 | 三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i> | 0.328 9 |
| X14 | 河北木蓝 <i>Indigofera bungeana</i> | 0.250 0 |
| X15 | 针茅 <i>Stipa capillata</i> | 0.256 6 |
| X16 | 羊草 <i>Leymus chinensis</i> | 0.121 7 |
| X17 | 白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> | 0.674 3 |
| X18 | 北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i> | 0.394 7 |
| X19 | 甘菊 <i>Chrysanthemum lavandulifolium</i> | 0.223 7 |
| X20 | 野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i> | 0.105 3 |
| X21 | 大披针藁草 <i>Carex lanceolata</i> | 0.375 0 |
| X22 | 芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i> | 0.328 9 |
| X23 | 阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> | 0.112 1 |
| X24 | 碱菀 <i>Tripolium vulgare</i> | 0.490 1 |
| X25 | 华北米蒿 <i>Artemisia giraldii</i> | 0.263 1 |
| X26 | 远志 <i>Polygala tenuifolia</i> | 0.171 1 |
| X27 | 委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> | 0.102 1 |
| X28 | 西山委陵菜 <i>Potentilla sischanensis</i> | 0.190 8 |

注: 表中按物种的重要值进行排序.

1.3.1 重要值的计算

通过计算群落中各物种的重要值(IV)^[18-19],得到各优势种重要值的原始数据矩阵,用于种间关联的相关性分析.计算公式如下:

$$IV = (RH + RC + RF)/300 \quad (1)$$

公式中,IV为某一优势种的重要值(灌木、草本);RH,RC,RF分别为相对高度、相对盖度、相对频度.

1.3.2 物种间联结性的定量方法

基于 2×2 联列表的 χ^2 检验,根据每个样方内是否存在该物种,把28个物种在76个样方中转化成格式为 28×76 的0,1二元数据矩阵,对其物种间的关联性进行测定.计算公式如下:

$$\chi^2 = \frac{n(|AD - BC| - 0.5n)^2}{(A+B)(B+C)(C+D)(D+A)} \quad (2)$$

公式中,n代表样方的数量;A为两个物种同时出现的次数;B,C为某一物种出现的次数;D为两个物种在样方中都不存在.在 $AD > BC$ 时,两物种的关系为正相关关系;在 $AD < BC$ 时,两物种的关系为负相关关系.当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时,表示物种间关系显著;当 $\chi^2 > 6.635$ 时,则表示物种间关联极为显著.

1.3.3 相关性的测定

将28个常见物种的重要值作为物种间相关性的测定,依据 28×76 的数据矩阵,分别利用Pearson相关性检验和Spearman秩相关性检验对物种进行相关性的测定^[20].

Pearson相关系数的前提是假设物种全部遵循正态分布的规律^[21],计算公式如下:

$$R_p(i, j) = \frac{\sum_{q=1}^N (K_{iq} - \bar{K}_i)(K_{jq} - \bar{K}_j)}{\sqrt{\sum_{q=1}^N (K_{iq} - \bar{K}_i)^2 \sum_{q=1}^N (K_{jq} - \bar{K}_j)^2}} \quad (3)$$

Spearman秩相关系数计算公式:

$$R_s(i, j) = 1 - \frac{6 \sum_{q=1}^N D_q^2}{N^3 - N} \quad (4)$$

在(3)(4)中, R 为*i*和*j*的相关系数, N 为取样的数量, D_q 为每个物种的秩, K_{iq} 和 K_{jq} 各自表示物种*i*和物种*j*在样方*q*中的值, $D_q = (K_{iq} - K_{jq})$.

以上均采用R软件对数据进行分析 and 作图.

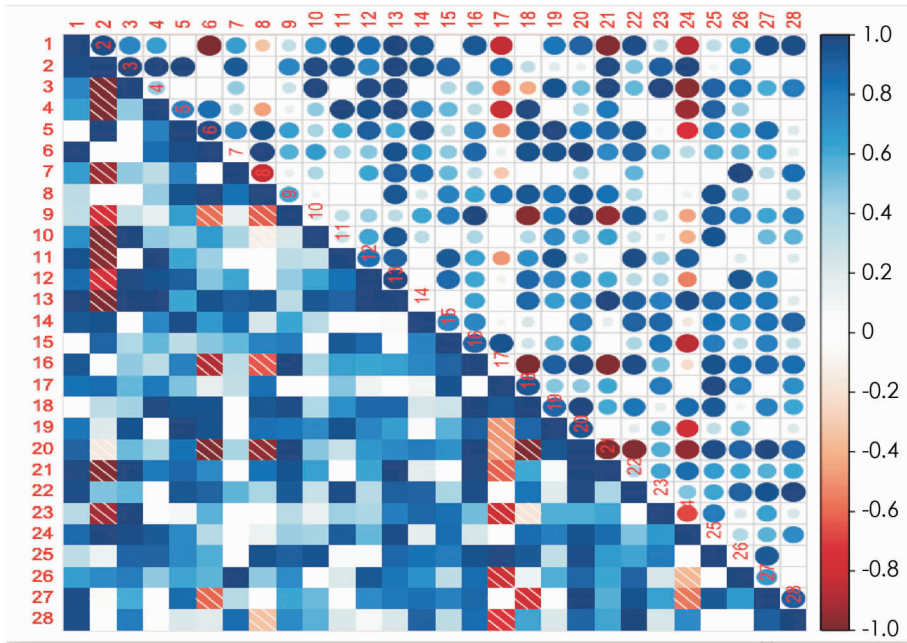
2 结果与分析

2.1 山西省石灰岩山地优势物种的评价

该研究中排序前28位的树种,频度均大于10%(表1),属于山西省石灰岩山地乡土树种,较适宜在山西省石灰岩山地中栽植,可作为山西省石灰岩山地恢复绿化的优势树种.其中野皂荚、荆条、小叶鼠李、多花胡枝子、黄刺玫、三裂绣线菊、白羊草、北京隐子草的频度均大于30%,可作为山西省石灰岩山地恢复绿化的基调树种.

2.2 种间关联性

采用 χ^2 相关系数检验,结果如图1,表2,从中可以看出,在所调查区域内,28个优势种组成的378对种间关系中,正关联和负关联的对数分别有336对、42对,约占总数的89%和11%,正负关系比为8:1,其中有表现出极显著或显著正相关的有56对,表现出极显著或显著负相关的有10对.结果显示,正关联的种对数明显大于负关联的种对数.从群落发育过程看,群落越成熟,种间关系就越趋于正关联,以求得物种间的稳定共存^[22].其中,呈显著和极显著的对数比例相对较小,说明群落虽处于稳定的状态中,但是可以看出不同种类的植物之间相互依赖程度不高,对资源的竞争性较弱.



p 值越小, 代表种间关联性越显著, 则图里面, 颜色的深浅代表显著程度, 值越大, 接近 1, 越正关联显著; 值越小, 接近 -1, 越负关联显著, 越接近 0 代表物种越独立分布。

图 1 28 个优势种的 χ^2 矩阵图

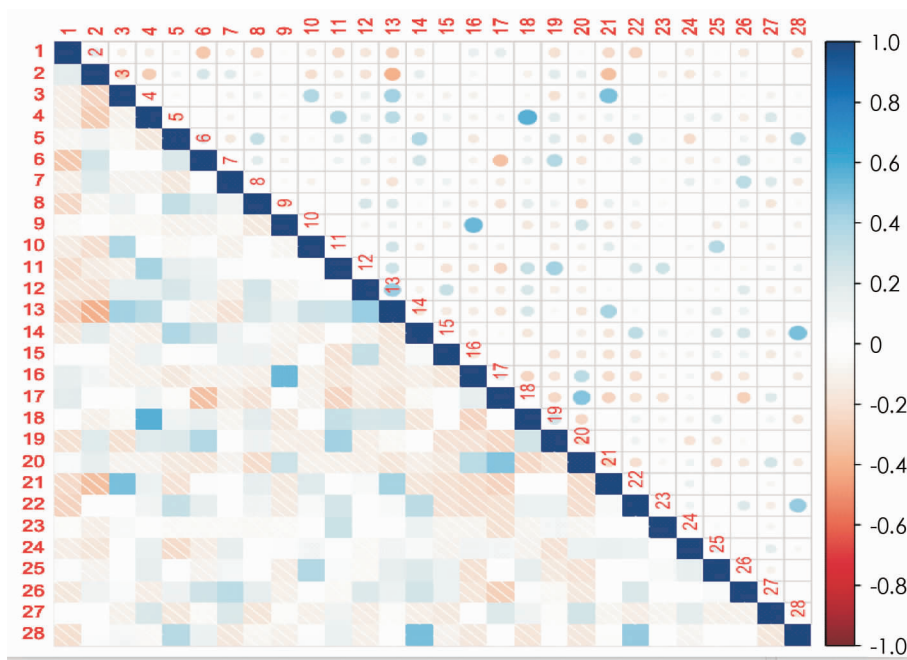
2.3 种间相关性

采用 Pearson 相关性检验和 Spearman 秩相关性检验. 利用 χ^2 检验判断种间关联性, 可以对物种之间是否关联进行定量的分析, 但却不能体现出物种之间关联程度的大小^[16]. 所以, 应在此基础上, 利用 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数对群落中主要物种之间的相关性进行进一步的分析.

在 Pearson 相关性检验中(图 2, 表 2), 在 378 对种间关系中, 有 171 对表现出正相关的关系, 约占总对数的 45%; 207 对表现出负相关的关系, 约占总对数的 55%; 在正相关中, 体现出显著和极显著的各有 24 对; 在负相关中, 显著相关的有 27 对, 极显著相关的有 4 对. 其中, 极显著正相关的包括虎榛子(3)和蚂蚱腿子(10)、三裂绣线菊(13)、大披针藁草(21); 油松(4)和黄刺玫(11)、三裂绣线菊(13)、北京隐子草(18); 河朔尧花(5)和多花胡枝子(8)、河北木蓝(14)、芨芨草(22)、西山委陵菜(28); 小叶鼠李(6)和甘菊(19); 达乌里胡枝子(7)和远志(26); 胡枝子(9)和羊草(16); 蚂蚱腿子(10)和华北米蒿(25); 黄刺玫(11)和北京隐子草(18)、甘菊(19); 灌木铁线莲(12)和三裂绣线菊(13)、针茅(15); 三裂绣线菊(13)和大披针藁草(21); 河北木蓝(14)和芨芨草(22)、西山委陵菜(28); 野菊(20)和羊草(16)、白羊草(17); 芨芨草(22)和西山委陵菜(28). 极显著负相关的包括野皂荚(1)和小叶鼠李(6); 荆条(2)和三裂绣线菊(13)、大披针藁草(21); 小叶鼠李(6)和白羊草(17).

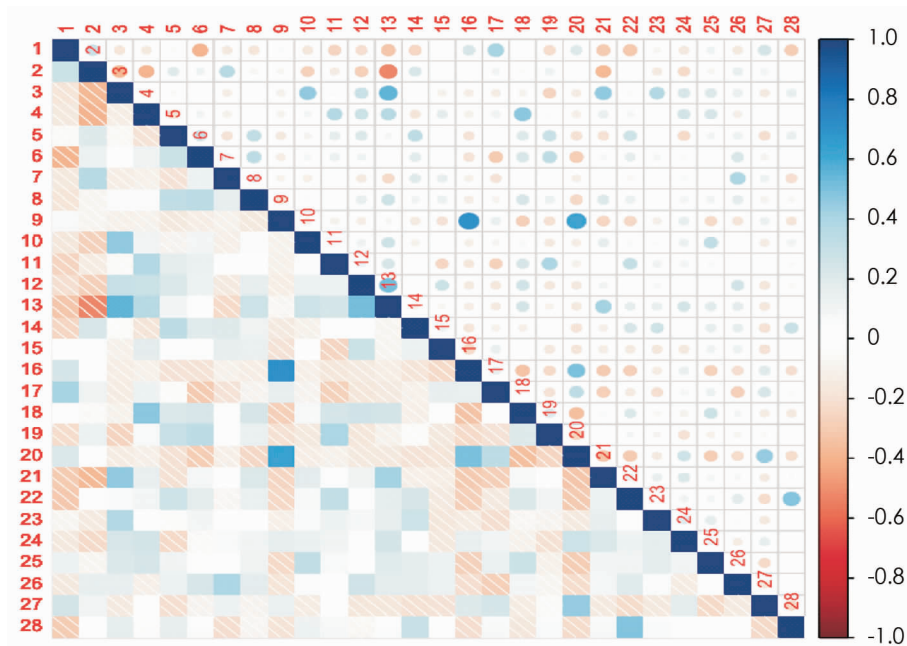
在 Spearman 秩相关性检验中(图 3, 表 2), 在 378 对种间关系中, 有 191 对表现出正相关的关系, 约占总对数的 51%; 有 187 对表现出负相关的关系, 约占总对数的 49%; 在正相关中, 体现出显著和极显著相关的各有 41 对、25 对; 在负相关中, 体现出显著和极显著相关的各有 42 对、14 对. 其中, 极显著正相关的包括野皂荚(1)和白羊草(17); 荆条(2)和达乌里胡枝子(7); 虎榛子(3)和蚂蚱腿子(10)、三裂绣线菊(13)、大披针藁草(21)、阿尔泰狗娃花(23); 油松(4)和黄刺玫(11)、三裂绣线菊(13)、北京隐子草(18); 河朔尧花(5)和多花胡枝子(8)、河北木蓝(14); 小叶鼠李(6)和多花胡枝子(8)、甘菊(19); 达乌里胡枝子(7)和远志(26); 胡枝子(9)和羊草(16)、野菊(20); 蚂蚱腿子(10)和华北米蒿(25); 黄刺玫(11)和甘菊(19)、芨芨草(22); 三裂绣线菊(13)和灌木铁线莲(12)、大披针藁草(21); 野菊(20)和羊草(16)、白羊草(17)、委陵菜(27); 芨芨草(22)和西山委陵菜(28). 极显著负相关的包括野皂荚(1)和小叶鼠李(6)、三裂绣线菊(13)、大披针藁草(21)、芨芨草(22); 荆条(2)和虎榛子(3)、油松(4)、三裂绣线菊(13)、大披针藁草(21); 小叶鼠李(6)和白羊草(17); 羊草(16)和北京隐子草(18)、大披针藁草(21); 北京隐子草(18)和野

菊(20); 野菊(20)和大披针藁草(21)、岁岁草(22).



p 值越小, 代表种间关联性越显著, 则图里面, 颜色的深浅代表显著程度, 值越大, 接近 1, 越正关联显著; 值越小, 接近 -1, 越负关联显著, 越接近 0 代表物种越独立分布.

图 2 28 个优势种的 Pearson 相关系数矩阵图



p 值越小, 代表种间关联性越显著, 则图里面, 颜色的深浅代表显著程度, 值越大, 接近 1, 越正关联显著; 值越小, 接近 -1, 越负关联显著, 越接近 0 代表物种越独立分布.

图 3 28 个优势种的 Spearman 秩相关系数矩阵图

表 2 χ^2 检验、Pearson 相关性检验、Spearman 秩相关性检验

| 检验方法 | 正相关 | | | | 负相关 | | | | 正负比 |
|-----------------|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|
| | 极显著 | 显著 | 不显著 | 总数 | 极显著 | 显著 | 不显著 | 总数 | |
| χ^2 检验 | 24 | 32 | 280 | 336 | 3 | 7 | 32 | 42 | 8 |
| Pearson 相关性检验 | 24 | 24 | 123 | 171 | 4 | 27 | 176 | 207 | 0.8 |
| Spearman 秩相关性检验 | 25 | 41 | 125 | 191 | 14 | 42 | 131 | 187 | 1.08 |

2.4 物种的聚类分析

聚类分析指将物种集合分组为由类似的对象组成的多个类的分析过程。聚类的目标就是将同组物种之间相似性最大化,不同组物种间差异性最大化^[23]。在群落中,生态习性相似的种可以联合为一生态组。在同一生态组的种,具有较大的相关性,对环境的适应能力、利用资源的能力、对群落所起的功能作用等均有一致性。依据 Pearson 相关性检验的结果,采用组间联接的聚类方法,把 28 个优势种分为 3 个生态组(图 4)。

生态组 I:由油松(4)、北京隐子草(18)、黄刺玫(11)、甘菊(19)、阿尔泰狗娃花(23)、蚂蚱腿子(10)、华北米蒿(25)、虎榛子(3)、大披针藁草(21)、灌木铁线莲(12)、三裂绣线菊(13)、多花胡枝子(8)共 12 种植物组成。

生态组 II:由河北木蓝(14)、西山委陵菜(28)、岌岌草(22)、河朔尧花(5)、达乌里胡枝子(7)、远志(26)、荆条(2)、小叶鼠李(6)、针茅(15)共 9 种植物组成。

生态组 III:由胡枝子(9)、羊草(16)、白羊草(17)、野菊(20)、委陵菜(27)、碱菀(24)、野皂荚(1)共 7 种植物组成。

每一生态组基本都具有耐旱、耐贫瘠的植物,这些主要是由于石灰岩山地的本身特性所决定的;在每个生态组内,基本都具有水土保持、防止水土流失、改良碱地的植物,同时也兼具有观赏价值和经济价值的植物。其中,生态组 I 中含有 4 种基调树种(多花胡枝子、黄刺玫、三裂绣线菊、北京隐子草),且组内物种种类较多,为最佳组合,其次为生态组 II 和生态组 III。这些优势条件,可以为山西石灰岩山地植被恢复中物种的选择提供更加明确的方向。

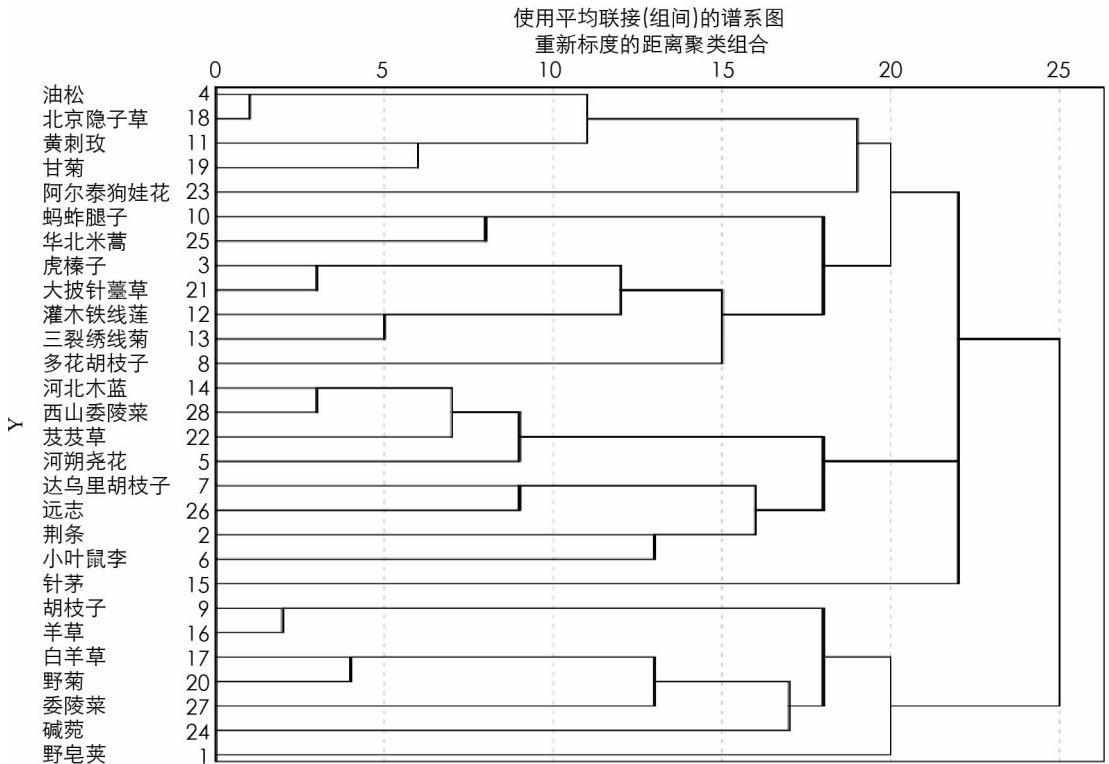


图 4 28 个优势物种的 Pearson 相关系数系统聚类

3 讨论与结论

1) 在研究中,我们选取了野皂荚、荆条等 28 种植物作为修复石灰岩山地的优势物种,这些均属于山西省石灰岩山地的乡土树种,跟其他地区的石灰岩山地物种一样,普遍都具有耐干旱、易存活等特点,这主要是由于石灰岩山地裸岩较多、土层瘠薄、土壤含水量低等本身的性质所导致的。同时,在与其他研究地区的物种相比,物种的种类存在差异性,这主要是由于不同地区不同植物种由于其生物、生态学特征的

差异,对不同生境的适应机制不同,维持自身多样性的方式也不同^[24],所以导致了物种种类的差异性。

2) 本研究采用 χ^2 检验、Pearson相关性检验、Spearman秩相关性检验3种检验方法对山西省石灰岩山地的28个优势种进行了种间关联性分析。结果表明,群落中各物种之间呈显著的正相关,但仍有部分呈负相关,群落趋向于成熟的阶段,在物种组成和资源配置上相对稳定;负关联的出现也表明群落仍有发展空间,在物种组成和资源配置上都会不断地完善,但是受限于山西石灰岩山地其本身降水少、土壤层薄等特性,此过程较为缓慢。随着这个过程不断发展,群落中正关联的种对数所占比例不断提高,群落结构将会更加稳定,直到各优势种种间稳定共存^[25]。

3) 山西省石灰岩山地的28个优势种,依据Pearson相关性检验的结果,按照组间联接的聚类方法,将其分为3个生态组,组内物种间大多呈正关联,这是由于它们对生境的要求、资源的利用具有一致性;种组间大多呈负关联,但也有正关联出现,这是由于某些物种生态位较宽,生态位重叠所导致的,其中生态组I为最优组合,其次为生态组II和生态组III。

4) 由于石灰岩山地是人类需求量最大的原材料,拥有极高的经济价值。所以,对于石灰岩的开采成为了十分常见的活动,由此形成了数量众多的石灰岩矿山^[26]。这些活动对石灰岩山地造成了极大的破坏,也引发了一系列的生态问题。因此,植被的恢复对于石灰岩山地显得极为重要。研究中,物种间的种间关系以及生态种组的划分对植被恢复中物种的选择以及搭配具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 杨涛,彭立君,武富强,等. 石灰岩矿山生态恢复方法和实践 [J]. 矿产保护与利用, 2009(2): 37-42.
- [2] 刘诗云,郭阿龙,李霖锋. 广西永福某石灰岩矿山地质环境问题及恢复治理探讨 [J]. 山东国土资源, 2017, 33(1): 65-70.
- [3] 王月海,房用,隋日光,等. 山东石灰岩山地荒山植被恢复技术的研究 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 240-242.
- [4] 刘丽. 济南主城区石灰岩山地公园适生木本植物选择研究 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2017.
- [5] GONG Y Z, ZHOU D M, REN S K. Study on the Characteristics of Main Vegetation Communities in the Limestone Region of Taihang Mountain [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 12(12): 1932-1936.
- [6] WENTWORTH T R. Vegetation on Limestone and Granite in the Mule Mountains, Arizona [J]. Ecology, 1981, 62(2): 469-482.
- [7] MCCLAIN W E, EBINGER J E. A Comparison of the Vegetation of Three Limestone Glades in Calhoun County, Illinois [J]. Southeastern Naturalist, 2002, 1(2): 179-188.
- [8] BATES J W, THOMPSON K, GRIME J P. Effects of Simulated Long-Term Climatic Change on the Bryophytes of a Limestone Grassland Community [J]. Global Change Biology, 2005, 11(5): 757-769.
- [9] 孙涛,刘艺杉,孙崇玉,等. 石灰岩山地植被恢复对土壤水稳性团聚体的影响 [J]. 草业科学, 2018, 35(6): 1361-1367.
- [10] 刘珏宏,高慧,张丽红,等. 内蒙古锡林郭勒草原大针茅-克氏针茅群落的种间关联特征分析 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [11] 吉颖,许强,张钦弟,等. 山西五鹿山自然保护区木贼麻黄群落优势种的种间关联性分析 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 1004-1011.
- [12] 王昱,毕润成,茹文明. 山西浊漳河北源湿地草本植物群落优势种生态位与种间关系 [J]. 草业科学, 2018, 35(2): 276-285.
- [13] 春风,赵萌莉,张继权,等. 内蒙古巴音华煤矿区自然定居植物群落物种多样性变化分析 [J]. 生态环境学报, 2016, 25(7): 1211-1216.
- [14] 杨晓东,傅德平,袁月,等. 新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系 [J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 249-256.
- [15] 房飞,胡玉昆,张伟,等. 高寒草原植物群落种间关系的数量分析 [J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1898-1907.
- [16] 张金屯,焦蓉. 关帝山神尾沟森林群落木本植物种间联结性与相关性研究 [J]. 植物研究, 2003, 23(4): 458-463.
- [17] 张桥英,彭少麟,张素梅,等. 澳门松山市政公园优势种的种间关联性分析 [J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1541-1547.
- [18] 白晓航,张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3815-3826.
- [19] 和太平,文祥凤,张国革,等. 广西大石围天坑群风景旅游区野生观赏植物及其构景分析 [J]. 广西农业生物科学,

2004, 23(2): 159-163.

- [20] OZKAN K. Environmental Factors as Influencing Vegetation Communities in Acipayam District of Turkey [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2009, 30(5): 741-746.
- [21] 王志泰, 包玉, 李毅. 东祁连山高寒草地柳灌丛群落种间关联性 [J]. *生态学杂志*, 2006, 25(10): 1177-1180.
- [22] 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, 30(5): 838-844.
- [23] 白雪. 聚类分析中的相似性度量及其应用研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [24] 王尧瑶, 周建华, 陈琴. 自然因素对重庆园林的影响 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 43(3): 110-115.
- [25] 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.
- [26] 温庆忠. 废弃石灰岩矿山植被恢复方法探讨 [J]. *林业资源管理*, 2008(4): 108-111, 123.

Analysis of Interspecies Correlation and Ecological Group of Dominant Species in Shanxi Province Limestone Area

FENG Liang, ZHANG Qin-di,
HOU Hui-min, JIN Xin, BI Run-cheng

College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen Shanxi 041004, China

Abstract: In this text, the species composition and interspecific relationship of limestone mountain biocoenosis in Shanxi Province have mainly been researched to provide further theoretical basis for vegetation restoration. Based on the quadrat survey to the biocoenosis, adopting quantitative analysis methods such as χ^2 test method, Pearson correlation coefficient, Spearman rank correlation coefficient, etc, an interspecific association research has been conducted on 28 dominant species, totally 378 species pairs, and cluster analysis used to divide them into ecological species groups. The research shows that the dominant species of limestone mountain biocoenosis in Shanxi Province are mostly positive association, and the biocoenosis is in a stabilization sub stage of higher level. In χ^2 test, Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient, positive and negative relevance ratio of the inter-species is 8, 0.8, 1.08 in sequence. According to Pearson relativity test, by using clustering method of connection between groups, 28 dominant species can be divided into 3 ecological species groups, and the best combination for I ecological groups, followed by ecological groups II and ecological III.

Key words: limestone mountain; interspecific association; dominant species; ecological species group; cluster analysis

责任编辑 周仁惠