

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.02.019

迭山北坡云冷杉林火烧迹地灌木树种 种间关联性

赵安¹, 田青^{1*}, 周晓雷^{1*}, 史瑞锦², 黄海霞¹,
曹雪萍¹, 陆刚¹, 周旭姣³

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃兰州 730070; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 530000; 3. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: [目的] 揭示青藏高原东北边缘迭山北坡云冷杉林火烧迹地灌木树种种间关联性。[方法] 在调查数据的基础上, 基于 2×2 列联表采用方差比率法 (VR)、 χ^2 检验、联结系数 (AC) 和 Jaccard 相似系数 (PC) 4 种方法, 研究火烧迹地灌木群落 17 种灌木的种间关联性。[结果] 总体联结性 VR 值等于 0.93; χ^2 检验显示有 9 个种对达到极显著正联结, 2 个种对达到显著联结, 125 个种对呈不显著联结; 联结系数 AC 值在 [0.6, 1] 的种对共有 27 对、在 [0.2, 0.6) 的种对共有 9 对、在 [-0.2, 0.2) 的种对共有 40 对, 在 [-0.6, -0.2) 的种对共有 13 对, 在 [-1, -0.6) 的种对共有 47 对; Jaccard 相似系数 PC 值在 [0.57, 1] 的种对共有 17 对、在 [0.29, 0.57) 的种对共有 12 对、在 [0, 0.29) 的种对共有 107 对, 各研究方法得到的结果基本相似, 但各检验方法存在一定的差异, 结果显示各种对间的关联性不强, 达到显著和极显著的种对很少, 群落物种间总体联结性呈不显著负联结趋势。[结论] 火烧迹地灌木树种种间的关联性不强, 群落稳定性不高, 灌木树种间联结性主要受植物生物学特性、生态适应性和人为活动、土壤、气候、竞争以及化感作用等方面影响。

关键词: 青藏高原东北边缘; 迭山北坡; 灌木树种; 种间关联性

中图分类号: S718.54

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)02-0163-08

植物种间关联性一直以来都是生态学领域的研究热点, 群落中的物种通过直接或间接的作用形成了复杂的种间关系^[1-3]。种间关联是对群落物种的空间分布上的分析, 能够反映群落的结构和稳定性, 揭示群落演替过程中的生态机制, 有助于认识群落在演替过程中的发展方向, 是驱动群落稳定发展的重要因子之一, 也是定量评价群落所处地位的重要手段; 通过研究植物的种间关联性, 能够合理的预测森林植被群落的演替和发展动态, 更科学的探讨物种分布、群落结构、生物多样性、群落稳定性等与环境因子之间的关系^[4-7]。

近年来, 学者对植物的种间联结性的研究主要集中于未过火林地乔木、灌木和草本, 而对于火烧迹地上的植被种间关联性鲜有研究^[4-11]。青藏高原东北边缘迭山北坡对于长江流域和黄河流域的水土保持、水源涵养、调节小气候和生物多样性保护等具有重要意义。历年来, 青藏高原东北边缘由于受人类活动和自然因素的综合影响, 森林生态系统遭到的干扰较强, 曾连续多年发生森林火灾, 次数频繁, 造成森林生态系统、群落结构和景观格局遭到破坏, 生物多样性减少, 甚至在重度火干扰后, 森林植被化为灰烬, 造成生态功能丧失。本研究以青

收稿日期: 2021-03-22 修回日期: 2021-06-07

基金项目: 甘肃省财政厅、甘肃省 GEF/OP12 项目办公室 (青藏高原东北边缘云冷杉火烧迹地森林演替动态及演替机理研究 (03619078))

* 通讯作者: 田青, 博士, 教授。主要研究方向: 自然植被与园林植物。电话: 13993148218。Email: tqing@gsau.edu.cn; 周晓雷, 博士, 教授。主要研究方向: 野生动植物保护。电话: 18919862656。Email: zhoulx@gsau.edu.cn

藏高原东北边缘迭山北坡云冷杉林重度火烧迹地恢复 15 a 后的灌木群落为研究对象, 分析重度火干扰后群落更新演替进程中的灌木树种间关联性, 阐明迭山北坡火烧迹地植被群落恢复与重建生态过程中群落生态机制和稳定性。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东北边缘迭山北坡, 地处秦岭西, 白龙江中游高山峡谷之中, 属于甘南高原山地植被区, 是长江流域和黄河流域的重要分水岭^[12]。在气候分区上属于甘南高寒湿润区, 处于大陆性气候与季风气候的过渡带上, 年平均气温 8~11℃, 无霜期 147 d, 降水量 635 mm, 平均海拔 3200 m, 地形相对高差约 1200 m, 平均坡度 30°~50°, 平均土层深度约 70 cm。研究区森林火灾发生于 2005 年 4 月 19 日, 位于迭部县益哇镇纳家村 47 林班, 过火面积约 5.72 hm², 森林火灾级别

为重度, 过火后其森林生态系统遭到毁灭性破坏, 火烧迹地上大部分生物多样性丧失, 现以灌木植物为建群种, 森林覆盖率 55%, 调查发现火烧迹地灌木层植物有 17 种, 平均高度 61.85 m, 主要有唐古特忍冬 (*Lonicera tangutica* Maxim.), 扁刺蔷薇 (*Rosa sweginzowii* Koehne), 黑水柳 (*Salix heishuiensis* N.Chao), 大刺茶藨子 (*Ribes alpestre* Wall.ex Decne.), 山梅花 (*Philadelphus incanus* Koehne), 峨眉蔷薇 (*Rosa omeiensis* Rolfe) 等树种; 草本层植物有 43 种, 平均高度 13.74 cm, 主要有密生薹草 (*Carex crebra* V. l. Krecz.), 总状橐吾 (*Ligularia botryodes* (C.Winkl.) Hand.-Mazz.), 野草莓 (*Fragaria vesca* L.), 三角鳞毛蕨 (*Dryopteris subtriangularis* (C.Hope) C.Chr.), 珠芽蓼 (*Bistorta vivipara* (L.) Delarbre), 大耳叶风毛菊 (*Saussurea macrota* Franch.), 车前 (*Plantago asiatica* L.) 等。样地基本信息见表 1。

表 1 火烧迹地样地基本信息

Table 1 Basic information of burned sites

| 样地 Sample plot | 海拔高度/m Altitude | 坡位 Slope position | 坡度/(°) Slope | 坡向 Aspect | 树木死亡率/% Tree mortality | 土层深度/cm Depth of soil layer | 枯落物厚度/cm Litter thickness | 干扰状况 Interference condition |
|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 15-S-1 | 3133 | 上 | 30 | NW | 100 | 53~87 | 5.00 | 轻 |
| 15-S-2 | 3154 | 上 | 28 | NE | 100 | 49~97 | 6.10 | 轻 |
| 15-Z-1 | 3055 | 中 | 38 | NW | 100 | 58~81 | 5.83 | 轻 |
| 15-Z-2 | 3061 | 中 | 41 | NE | 100 | 51~79 | 5.40 | 轻 |
| 15-X-1 | 2981 | 下 | 20 | NW | 100 | 60~96 | 4.60 | 重 |
| 15-X-2 | 2996 | 下 | 25 | NE | 100 | 50~107 | 2.93 | 重 |

注: 数据来自于赵安^[13]

Note: Data are quoted from Zhao An^[13]

1.2 样地设置与植被调查

2020 年 8 月, 通过对火烧迹地充分的野外调查, 在恢复 15 a 的云冷杉林火烧迹地不同坡位处设置 20 m × 20 m (闭合差 < 1/200) 的样地, 共计 6 个。在每个样地中设置 5 个 5 m × 5 m 的灌木样方, 并在每个灌木样方中设置 1 个 1 m × 1 m 草本样方。在样地中记录坡向、坡度、坡位、海拔、土层深度、枯落物厚度等样地基本信息; 在灌木样方中测定灌木种类、平均树高、地径、株(丛)数、冠幅、盖度等; 在草本样方测定草本种类、株(丛)数、平均高度、盖度等。此次共设置灌木样

方和草本样方分别都为 30 个, 共计 60 个样方^[13]。

1.3 群落总体联结性检验

火烧迹地上共有 17 种灌木 (表 2), 种类较少, 对整个灌木群落树种的种间关系进行分析, 对于研究火烧迹地种间关联性具有较高的科学性和代表性。采用 Schluter^[14] 提出的方差比率法 (VR) 来分析群落的总体联结性, 在独立性零假设条件下, 期望值为 VR=1, 表示为群落物种间无联结, 各物种相互独立; 若 VR>1, 群落物种间呈现为正联结; 若 VR<1, 群落物种间呈现为负联结。采用统计量 W^[15] 来检验群落总体联结性是否显著, 即

表 2 火烧迹地灌木树种基本信息

Table 2 Basic information about shrub species on burned sites

| 树种 Tree species | 相对多度 Relative abundance | 相对盖度 Relative coverage | 相对频度 Relative frequency | 重要值 Important value |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| 黑水柳 <i>Salix heishuiensis</i> | 0.1207 | 0.2744 | 0.0952 | 0.1634 |
| 箭竹 <i>Fargesia spathacea</i> | 0.1872 | 0.1361 | 0.1095 | 0.1443 |
| 大刺茶藨子 <i>Ribes alpestre</i> | 0.1544 | 0.0558 | 0.1286 | 0.1129 |
| 峨眉蔷薇 <i>Rosa omeiensis</i> | 0.0790 | 0.1142 | 0.1286 | 0.1073 |
| 唐古特忍冬 <i>Lonicera tangutica</i> | 0.1074 | 0.0845 | 0.1286 | 0.1068 |
| 山梅花 <i>Philadelphus incanus</i> | 0.1571 | 0.0297 | 0.1190 | 0.1019 |
| 扁刺蔷薇 <i>Rosa sweginzowii</i> | 0.0515 | 0.1289 | 0.0810 | 0.0871 |
| 毛花忍冬 <i>Lonicera trichosantha</i> | 0.0568 | 0.0432 | 0.0667 | 0.0555 |
| 小叶蔷薇 <i>Rosa willmottiae</i> | 0.0115 | 0.0582 | 0.0286 | 0.0328 |
| 秦岭蔷薇 <i>Rosa tsinglingensis</i> | 0.0124 | 0.0369 | 0.0190 | 0.0228 |
| 藤山柳 <i>Clematoclethra scandens</i> | 0.0355 | 0.0032 | 0.0238 | 0.0208 |
| 蓝靛果忍冬 <i>Lonicera caerulea</i> | 0.0098 | 0.0089 | 0.0286 | 0.0158 |
| 红脉忍冬 <i>Lonicera nervosa</i> | 0.0115 | 0.0048 | 0.0190 | 0.0118 |
| 甘肃小檗 <i>Berberis kansuensis</i> | 0.0018 | 0.0209 | 0.0095 | 0.0107 |
| 六道木 <i>Zabelia biflora</i> | 0.0018 | 0.0002 | 0.0048 | 0.0022 |
| 尖叶栒子 <i>Cotoneaster acuminatus</i> | 0.0009 | 0.0001 | 0.0048 | 0.0019 |
| 灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i> | 0.0009 | 0.0001 | 0.0048 | 0.0019 |

VR 偏移 1 的显著程度, 若群落总体联结性不显著 ($P>0.05$), 那么 $\chi^2_{0.95(N)} < W < \chi^2_{0.05(N)}$, W 值落入 χ^2 分布区间内几率为 90%; 否则 W 值落入 χ^2 分布区间内几率为 10%。具体公式如下:

$$\text{物种相对多度方差: } \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^s P_i(1 - P_i)$$

$$\text{物种数的方差: } S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_j - t)^2$$

$$\text{相对多度频率: } P_i = \frac{n_i}{N}$$

$$\text{方差比率: } VR = \frac{S_T^2}{\sigma_T^2}$$

统计量检验: $W = N \times VR$

式中: N 为样方数, S 为总物种数, n 为一个物种所占据的样方数, T_j 为每个样方的物种数, t 为所有样方的物种数平均值。

1.4 种间联结性

1.4.1 χ^2 检验 首先将 30 个灌木样方中的所有物种的丰富度进行统计, 随后转化为 30×17 的 0、

1 二元数据矩阵, 计算出 a 、 b 、 c 、 d 值^[16-17]。由于取样是非连续性的, 因此需要用 Yates 的连续校正公式进行计算^[18]。具体公式如下:

$$\chi^2 = \frac{N[|ad - bc| - 0.5N]^2}{(a + b)(b + d)(c + d)(a + c)}$$

式中: N 为总样方数, a 为 A 和 B 物种同时出现的样方数, b 为 B 物种出现的样方数, c 为 A 物种出现的样方数, d 为 A 和 B 物种都没有出现的样方数。当 $\chi^2 > 0$ 时, $ad - bc > 0$ 表示两物种间呈正联结; $ad - bc < 0$ 表示两物种间呈负联结; $ad - bc = 0$ 表示两物种相互独立。当 $\chi^2 < 3.841$ ($P > 0.05$) 时, 表示两物种联结性不显著; 当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ ($0.01 \leq P \leq 0.05$) 时, 表示两物种间联结性显著; 当 $\chi^2 > 6.635$ ($P < 0.01$) 时, 表示两物种间联结性达到极显著。

1.4.2 联结系数 采用联结系数 (AC) 进一步检验 χ^2 统计量和两物种间的联结程度^[16, 19]。

$$\text{若 } ad - bc \geq 0, \text{ 则 } AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(b + d)};$$

2.2.2 联结系数 火烧迹地灌木群落联结系数 AC 显示 (图 2), AC 值在 [0.6, 1] 的物种种对共有 27 对, 占总对数的 19.85%, 说明这些种对间的正联结性比较高; AC 值在 [0.2, 0.6) 的物种种对共有 9 对, 占总对数的 6.62%, 说明这些物种种对间呈正联结, 但联结性不高; AC 值在 [-0.2, 0.2) 的物种种对共有 40 对, 占总对数的 29.41%,

说明这些物种种对间联结不紧密, 种间呈相互独立趋势; AC 值在 [-0.6, -0.2) 的物种种对共有 13 对, 占总对数的 9.56%, 联结性都为负数, 说明物种种对间联结呈负相关, 但负相关性比较弱; AC 值在 [-1, -0.6) 的物种种对共有 47 对, 占总对数的 34.56%, 说明物种间负相关性较强, 种间竞争不利于种对间的另一物种的生存。

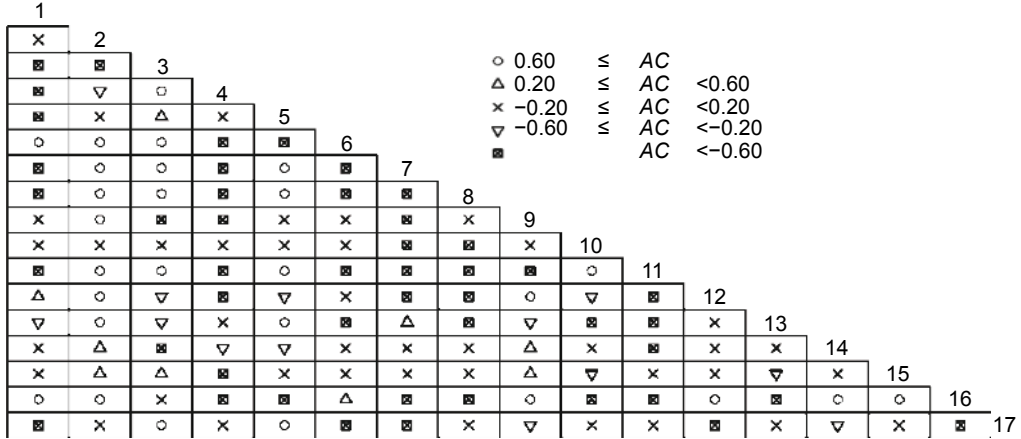


图 2 火烧迹地灌木群落联结系数半矩阵

Fig. 2 Semi matrix of shrub community association coefficient in burned area

2.2.3 Jaccard 相似系数 通过 Jaccard 相似系数可以看出 (图 3), PC 值在 [0.57, 1] 的物种种对共有 17 对, 占总对数的 12.5%, PC 值接近于 1, 说明种间关联性达到极显著; PC 值在 [0.29, 0.57) 的物种种对共有 12 对, 占总对数的 8.82%,

说明种间联结性达到显著; PC 值在 [0, 0.29) 的物种种对共有 107 对, 占总对数的 78.68%, 其中 PC=0 有 45 个种对, 说明物种种间联结性较差, 部分物种间相互独立。

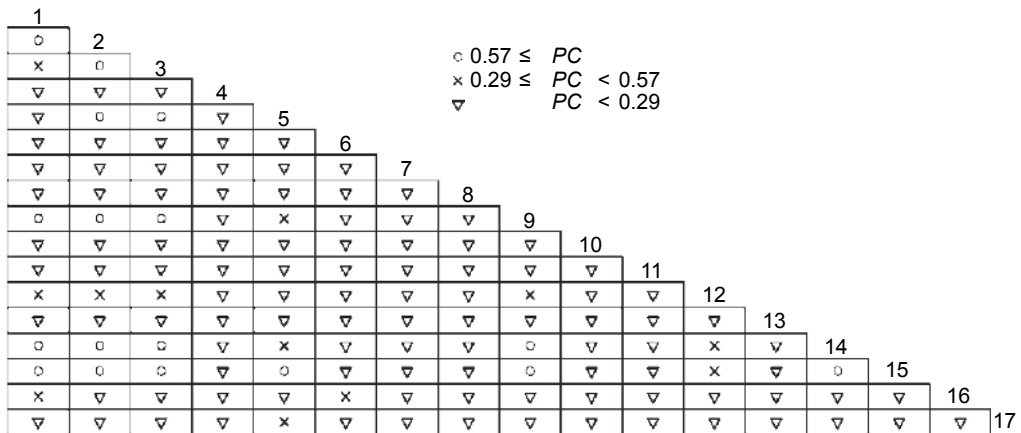


图 3 火烧迹地灌木群落 Jaccard 相似系数半矩阵

Fig. 3 Semi matrix of Jaccard similarity coefficient of shrub community in burned area

3 结论

总体连接性 VR 结果显示, 整个火烧迹地灌木群落物种间总体呈不显著负联结趋势, 采用 3 种检

验方法 (χ^2 检验、联结系数 AC、Jaccard 相似系数 PC) 分析各种对间的关联性得到结果基本一致, 达到显著和极显著的种对较少, 共同佐证并支持群

落物种间总体联结性不显著的研究结果,但各检验方法存在一定的差异。 χ^2 检验检果显示,9对达到极显著正联结,2对达到显著联结,125对呈不显著联结,分别占总对数的6.62%、1.47%和91.91%,进一步分析发现,119对呈不显著正联结,6对相互独立,分别占总对数的88.24%和4.41%;联结系数AC值在[-1, 0.2)种对对数达到100对,占总对数的73.53%。相较于 χ^2 检验,联结系数AC呈负联结的种对占比较大,原因主要有两个方面,第一, χ^2 检验是由树种在样方中的有-无数据得来,在一定程度上弱化了种间关联,不可避免地会损失信息量^[5-6, 21];第二,在联结系数AC中,当 $a=0$ 时,AC夸大了2个物种均不出现的联结性,导致负联结种对要多于正联结种对^[10],因此,采用Jaccard相似系数能对前2种方法进行相互补充,3种检验方法能更准确地检验火烧迹地灌木群落树种间的关联性。

植物种间关联性,不仅受自身生物学特性的影响,而且还与植物所生存的地形地貌、光照、水分、干扰等诸多因素的影响,种间联结性强弱能很好地反映火烧迹地灌木群落的稳定程度,植物种对间表现为正联结的,说明这2种植物具有相似的生物学特性和生态适应性,物种间的互补性越强,负联结则是由于植物种生物学特性不同,对生境具有不同的生态适应性或对资源和空间的激烈竞争所致^[5, 7, 22-23]。本研究结果表明,火烧迹地上灌木群落物种间总体的联结性不强,呈负联结趋势,各种对间的联结性大多呈相互独立或者负相关关系,形成这种种间关联性格局可能主要有5个方面原因:第一,森林发生重度火灾15 a后,植被正处于演替与恢复初期,在此过程中,群落的组成、结构等都发生着快速变化,大部分灌木树种都具有喜光的生态习性,种间关系不稳定^[24-26];第二,调查发现,火烧迹地植被在更新演替进程中,更新了大量的乔木先锋树种红桦幼苗,可能由于红桦对于水分、养分、光照等资源和空间竞争大于灌木,大部分灌木树种得不到充分的阳光和养分,加剧灌木群落物种间对资源竞争利用,致使物种间的互补性较弱,关联性不高^[27];第三,研究区植被曾受到砍柴、放牧等人为活动和梅花鹿、野猪等动物采食活动的影响,对植被的干扰较大,生境条件改变,导致种群生态适应性和生态位重叠值改变^[7, 28];第

四,重度林火过后,火烧迹地土壤理化性质发生改变,造成有机质含量和土壤持水特性降低,且火烧迹地的坡度较陡,火灾发生后,由于表面赤裸没有植被,下雨之后导致水土流失严重,导致土层变薄,土壤养分降低,从而加剧植被对养分资源的竞争和利用^[29-33];第五,植物产生化感作用,植物分泌出次生代谢产物,改变其周围的微生态环境,抑制其他植物的生长和发育^[34]。综上所述,火烧迹地灌木树种种间联结性主要受植物生物学特性、生态适应性和竞争、人为活动、土壤、气候以及化感作用等方面影响,物种种间的关联性不强,群落稳定性不高。

参考文献:

- [1] Wilson W G, Nisbet R M. Cooperation and competition along smooth environmental gradient[J]. Ecology, 1997, 78(7): 2004-2017.
- [2] 刘虹佑, 马燕, 吴其超, 等. 濒危植物泰山柳种内与种间的竞争关系[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(2): 178-183.
- [3] 叶万辉. 物种多样性与植物群落的维持机制[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 17-24.
- [4] 彭少麟, 周厚诚, 郭少聪, 等. 鼎湖山地带性植被种间联结变化研究[J]. 植物学报, 1999, 41(11): 1239-1244.
- [5] 罗清虎, 孙凡, 崔羽, 等. 泥石流频发流域失稳性坡面主要植物种间关联性[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(4): 689-696.
- [6] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [7] 简小枚, 税伟, 陈毅萍, 等. 云南中度退化的喀斯特天坑草地植物群落优势种种间关系[J]. 应用生态学报, 2018, 29(2): 492-500.
- [8] 朱桂林, 杨洪琴, 卫智军, 等. 短花针茅草原群落种间联结研究[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 33-38.
- [9] 张悦, 郭利平, 易雪梅, 等. 长白山北坡3个森林群落主要树种种间联结性[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 106-115.
- [10] 郭泉水, 包奋强, 王祥福, 等. 三尖杉所属群落优势乔木树种种间关系[J]. 林业科学研究, 2008, 21(5): 662-668.
- [11] 刘红梅, 吕世杰, 刘青泉, 等. 巴丹吉林沙漠东缘主要植物种群空间分布关系[J/OL]. 生态学杂志, 2021: 1-13.
- [12] 史利莎, 严力蛟, 黄璐, 等. 基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例[J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6305-6316.
- [13] 赵安, 周晓雷, 田青, 等. 迭山北坡云杉林火烧迹地灌木群落特征和物种多样性研究[J]. 西部林业科学, 2021, 50(5): 90-100.

- [14] Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [15] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 332-339.
- [16] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究——I. 种间联结测式的探讨与修正[J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985(4): 274-285.
- [17] 白玉宏, 毕润成, 张钦弟. 山西五鹿山自然保护区辽东栎群落木本植物种间数量关系[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(8): 1942-1948.
- [18] 张金屯. 数量生态学[M]. 第1版. 北京: 科学出版社, 2004.
- [19] Hurlbert S H. A coefficient of interspecific association[J]. *Ecology*, 1969, 50(1): 1-9.
- [20] 宋春武, 蒋进, 范敬龙, 等. 从植物种间联结性探讨白梭梭种群生态种组分类——以古尔班通古特沙漠为例[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 77-85.
- [21] 简敏菲, 刘琪, 朱笃, 等. 九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 672-680.
- [22] 邹顺, 周国逸, 张倩媚, 等. 1992—2015年鼎湖山季风常绿阔叶林群落种间关联动态[J]. *生态学报*, 2019, 39(17): 6362-6371.
- [23] 尹林克, 李涛. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 226-234.
- [24] 李静, 宫阿都, 陈艳玲, 等. 森林过火区植被遥感参数的变化与恢复特征分析[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(3): 368-376.
- [25] 张玉双, 段文标, 杜珊, 等. 阔叶红松林主要种群及林隙形成木的空间格局分析[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(3): 395-401.
- [26] 杨宗慧, 郎学东, 李帅锋, 等. 篦子三尖杉群落优势种群生态位和种间关系[J]. *林业科学研究*, 2015, 28(4): 473-478.
- [27] 冯宜明, 陈学龙, 齐瑞, 等. 甘肃亚高山云杉人工林下植物种群生态位特征[J]. *草业科学*, 2018, 35(4): 807-815.
- [28] 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.
- [29] 罗斯生, 罗碧珍, 魏书精, 等. 森林火灾对马尾松次生林土壤理化性质的影响[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(11): 2141-2152.
- [30] 赵志霞, 李正才, 周君刚, 等. 火烧对北亚热带杉木林土壤有机碳的影响[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(2): 301-305.
- [31] 胡海清, 罗斯生, 罗碧珍, 等. 林火干扰对广东省2种典型针叶林森林生物碳密度的影响[J]. *林业科学研究*, 2020, 33(1): 19-27.
- [32] 赵凤君, 王立中, 陈鹏宇, 等. 大兴安岭特大火灾后火烧迹地恢复的研究进展[J]. *林业资源管理*, 2013(2): 125-129 + 140.
- [33] 王秋华, 徐伟恒, 李伟, 等. 滇中地区地松林地表凋落物的潜在能量研究[J]. *林业调查规划*, 2014, 39(6): 16-20.
- [34] 董芳瑾, 金鑫麟, 李华清, 等. 火炬树水浸液对苏丹草和狗尾草的化感作用[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(4): 119-120, 140.

Interspecific Association of Shrub Species in Burned Site of *Picea asperata*-*Abies fabri* Forest on the Northern Slope of Dieshan Mountains

ZHAO An¹, TIAN Qing¹, ZHOU Xiao-lei¹, SHI Rui-jin², HUANG Hai-xia¹,
CAO Xue-ping¹, LU Gang¹, ZHOU Xu-jiao³

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530000, Guangxi, China; 3. Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: [Objective] To reveal the interspecific association of shrub species in the burned area of *Picea asperata*-*Abies fabri* forest on the north slope of Dieshan mountains, the northeastern margin of Qinghai - Tibetan Plateau. [Method] Based on the field survey data, the interspecific association of 17 shrub species in the burned area was studied by using variance ratio method (*VR*), chi-square (χ^2) test, association coefficient (*AC*) and Jaccard similarity coefficient (*PC*) with 2×2 contingency table. [Result] The *VR* value of overall association was equal to 0.93; χ^2 test showed that 9 species pairs reached extremely significant positive association, 2 species pairs reached significant association, 125 species pairs showed no significant association; there were 27 species pairs with the *AC* value of [0.6, 1], 9 species pairs with the *AC* value of [0.2, 0.6), 40 species pairs with the *AC* value of [-0.2, 0.2), 13 species pairs with the *AC* value of [-0.6, -0.2), and 47 species pairs with the *AC* value of [-1, -0.6); the value of Jaccard was similar, there were 17 pairs with *PC* value of [0.57, 1], 12 pairs with *PC* value of [0.29, 0.57) and 107 pairs with *PC* value of [0, 0.29). The results obtained by each research method were basically similar, but there were some differences among the test methods. [Conclusion] The correlation among the pairs is not strong, few species pairs are significant or extremely significant, and the overall association among species in the community shows no significantly negative trends. The results show that the interspecific association of shrub species is not strong and the community stability is not high. The interspecific association of shrub species is mainly affected by plant biological characteristics, ecological adaptability and human activities, soil, climate, competition and allelopathy.

Keywords: northeastern margin of Qinghai-Tibetan Plateau; northern slope of Dieshan Mountains; shrub species; interspecific association

(责任编辑: 彭南轩)