

篦子三尖杉群落优势种群生态位和种间关系

杨宗慧¹, 郎学东², 李帅锋², 苏建荣^{2*}

(1. 云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要:通过对云南、贵州和江西3省天然分布的篦子三尖杉的野外调查,采用生态位宽度、生态位重叠和基于 2×2 联列表 χ^2 检验、联结系数和种间协变分析篦子三尖杉群落优势种群的种间关系。结果表明:篦子三尖杉是群落中重要值与生态位宽度最大的种群。群落中重要值与Levins指数的相关性分析表明,重要值越大,种群的生态位宽度越大。Schoener指数表明,有92.63%的种对不存在生态位重叠或生态位重叠较弱,其中,篦子三尖杉与其它优势种群之间存在较小的生态位重叠。 χ^2 -检验结果表明,中性联结的种对占64.74%,其中,篦子三尖杉与其它优势种群之间的种间联结均为中性联结;群落所有优势种群之间正负联结系数种对的比率为0.91,而负协变的种对也要多于正协变的种对,篦子三尖杉与杉木表现为显著的负协变,与其它种群之间则无显著地协变相关。群落中种群之间不存在较大的利用性竞争,这与篦子三尖杉长期适宜沟谷溪边较少受到外部干扰群落稳定性相对较高有关。

关键词:篦子三尖杉;种间联结;种间协变;生态位

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

Niche and Interspecific Interaction of Dominant Tree Population in *Cephalotaxus oliveri* Communities

YANG Zong-hui¹, LANG Xue-dong², LI Shuai-feng², SU Jian-rong²

(1. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, Yunnan, China; 2. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Based on investigation data of the naturally-distributed *Cephalotaxus oliveri* communities in Yunnan, Guizhou and Jiangxi provinces, the niche breadth, niche overlap, chi-square test, association coefficient (AC) and interspecific covariation based on 2×2 contingency table were used to analyze the interspecific relationship of dominant populations of *C. oliveri* communities. The results showed that the important value and the niche of breadth of *C. oliveri* in the communities were the highest. Relevant analysis results of important value and index of Levins showed the greater the important value, the greater the niche breadth of populations. The Schoener index showed that for 92.63% of the species, no or weak niche overlap were found, and the niche overlap was smaller between *C. oliveri* and other dominant populations. In chi-square test, species pairs of neutral connection were 64.74%, especially interspecific association between *C. oliveri* and other dominant populations. The ratio of species pairs of the positive and negative association coefficient between all dominant populations in community was 0.91. In the same way, the species pairs of negative interspecific covariation were more than that of positive interspecific covariation. *C. oliveri* and fir showed significant negative interspecific covariation, with the rest of the population, no significantly covariance correlation. The larger utilizing competition did not exist between populations in the community. Bbe-

收稿日期:2015-02-15

项目基金:国家林业局林业行业公益专项“濒危药用植物篦子三尖杉保护与种群恢复技术研究”(200804024)

作者简介:杨宗慧(1972—),女,白族,云南省大理人,高级工程师。研究方向:环境化学与生态学、环境监测。

* 通讯作者。

cause *C. oliveri* was appropriated valleys or stream sides and less external distractions, so its community stability was relative higher.

Key words: *Cephalotaxus oliveri*; interspecific association; interspecific covariation; niche

植物种群间的稳定共存和资源性竞争是种群生态研究的核心问题^[1-2],而生态位、种间联结和种间协变则是研究物种相互关系的重要方法。生态位分化是物种之间稳定共存的主要原因,可使种群对群落的空间、时间和资源的利用方面趋于相互补充而不是直接竞争^[3]。种间联结对特定物种的保护有重要的指导作用^[4],有利于理解植物种群间的相互作用关系以及环境差异对种群分布的影响^[5],能有效反映出植物邻近个体之间的竞争作用,从而对植物个体生长发育、种群动态、群落演替和生物多样性产生影响^[6]。珍稀濒危保护植物种群相对较小,易受人类活动影响,其种群生态位、种间联结与协变的研究日益受到重视,对云南红豆杉(*Taxus yunnanensis* (Pilger) Rehd)、南方红豆杉(*T. chinensis* (Pilger) Rehd. var. *mairi* (Lemee et Levl.) Cheng et L. K. Fu)、三尖杉(*Cephalotaxus fortunei* Hook. f.)及崖柏(*Thuja sutchuenensis* Franch)天然种群的研究发现,濒危种群存在着较大的资源利用性竞争,而必要的人工干扰是恢复濒危种群的必要措施^[1,7-9]。

篦子三尖杉(*Cephalotaxus oliveri* Mast)是三尖杉科(Cephalotaxaceae)三尖杉属(*Cephalotaxus*)的中国特有的国家Ⅱ级珍稀濒危保护植物^[10],主要分布云南、四川、重庆、贵州、湖南、湖北、江西、广西和广东

等地区^[11],篦子三尖杉因其叶排列成紧密地二列,叶缘彼此接触,成篦形,而易与其它分类群区分^[12]。篦子三尖杉所含的三尖杉酯碱仅在同属植物中发现,在治疗白血病的抗癌潜能方面已经引起医学界高度重视^[13],同时由于篦子三尖杉木材可用于雕刻和做农具,导致其野生资源破坏严重,现存的多零星分布在常绿阔叶林中,数量稀少,急需进行保护,而对种群生物学的研究则是篦子三尖杉天然种群保护的重要组成部分。近年来,篦子三尖杉已展开繁育技术^[14]、群落特征^[15-16]、生物学特征与保护和化学成分^[17-19]等方面的研究,而对其生境地群落中种群间的相互作用研究较少。本文通过对天然分布的篦子三尖杉优势种群的生态位、种间联结和种间协变的研究,分析篦子三尖杉群落的种间相互关系,探讨影响篦子三尖杉野生种群濒危的因素,以期对其种群恢复和生物多样性保育提供科学研究基础。

1 研究地概况

群落野外调查地点分别位于云南省屏边县、新平县,江西省芦溪县,贵州省凯里市、镇远县、江口县、道真县、台江县等县市共11个群落,年平均气温为12.4~28.8℃,年平均降水量为869~1 801.7 mm。篦子三尖杉研究区域基本概况见表1。

表1 篦子三尖杉群落调查样地位置概况

样地号	地点	经度(E)/°	纬度(N)/°	海拔/m	年均气温/°C	年均降水/mm	植被类型	生境特征
1	屏边县	23.026	103.550	2 180	12.4	1 628.0	中山常绿阔叶林	竹类占优势
2	新平县	24.299	101.350	1 640	18.1	869.0	半湿润常绿阔叶林	沿溪边分布
3	道真县	29.082	107.415	660	16.4	1 400.0	湿润常绿阔叶林	河谷地带
4	江口县	27.767	108.631	950	16.2	1 369.6	湿润常绿阔叶林	沿溪边分布
5	镇远县	27.300	108.347	810	16.5	1 062.7	湿润常绿阔叶林	沿溪边分布
6	镇远县	27.315	108.354	760	16.5	1 062.7	湿润常绿阔叶林	沿溪边分布
7	凯里市	26.515	107.963	1 100	15.7	1 234.5	湿润常绿阔叶林	山坡中部
8	台江县	26.526	108.403	730	16.5	1 801.7	湿润常绿阔叶林	河谷地带
9	芦溪县	27.460	114.127	620	28.8	1 621.8	湿润常绿阔叶林	沿溪边分布
10	芦溪县	27.438	114.023	700	28.8	1 621.8	湿润常绿阔叶林	河谷地带
11	芦溪县	27.452	114.136	650	28.8	1 621.8	湿润常绿阔叶林	河谷地带

篦子三尖杉种群所在的群落为常绿阔叶林,多分布在沟谷和溪流旁边的群落中,乔木层高度17 m,盖度70%,主要组成物种有篦子三尖杉、八角枫

(*Alangium chinense* (Lour.) Harms)、伊桐(*Itoa orientalis* Hemsl.)、毛竹(*Phyllostachys heterocyclus* (Carr.) Mitford cv. *Pubescens*)、灯台树(*Bothro-*

caryum controversa (Hemsl.) Pojark)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、短梗大参(*Macropanax rosthornii* (Harms) C. Y. Wu ex Hoo)、宜昌润楠(*Machilus ichangensis* Rehd. et Wils)、木姜子(*Litsea pungens* Hemsl.)、云山青冈(*Cyclobalanopsis gilva* (Blume) Schott)、红果黄肉楠(*Actinodaphne cupularis* (Hemsl.) Gamble)、枫香树(*Liquidambar formosana* Hance)等物种组成;灌木层高度为2~5 m,平均盖度35%,主要组成物种有常山(*Dichroa febrifuga* Lour)、细齿叶柃(*Eurya nitida* Korthals)、西南菝葜(*Smilax bockii* Warb)、水麻(*Debregeasia orientalis* C. J. Chen)、米团花(*Leucosceptrum canum* Smith)、匙萼金丝桃(*Hypericum uralum* Buch. - Ham. ex D. Don)、黑面神(*Breynia fruticosa* (Linn.) Hook. f.)、多花野牡丹(*Melastoma affine* D. Don)等;草本层高度约50 cm,平均盖度35%,主要组成物种有头花蓼(*Polygonum capitatum* Buch. - Ham. ex D. Don)、穿鞘花(*Amischotolype hispida* (Less. et A. Rich.) Hong)、大芒萁(*Dicranopteris ampla* Ching et Chiu)、二型鳞毛蕨(*Dryopteris cochleata* (Buch. - Ham. ex D. Don) C. Chr)、裂叶秋海棠(*Begonia palmata* D. Don)、间型沿阶草(*Ophiopogon intermedius* D. Don)等;藤本植物主要由白花酸藤果(*Embelia ribes* Burm. f.)、飞龙掌血(*Toddalia asiatica* (L.) Lam.)、裂果金花(*Schizomussaenda dehiscens* (Craib) Li)、三裂蛇葡萄(*Ampelopsis delavayana* Planch)、藤榕(*Ficus hederacea* Roxb)等物种组成。

2 研究方法

2.1 样地设置

篦子三尖杉野外分布一般呈小面积斑块状分布^[15],因而,样地的设置采用典型取样原则。样地大小设为20 m×20 m,再将每个样地分成4个10 m×10 m小样方进行每木检尺,调查和记录样地中树高>1.3 m的所有乔木个体的物种名、胸径、树高及环境因子。

2.2 数据处理

根据野外调查数据,建立“样方—种类”二维数据库,以11个面积为400 m²的样方为群落综合环境梯度,用于生态位、种间联结和协变分析。

2.2.1 重要值计算及优势种确定 重要值(IV) = (相对多度 + 相对优势度 + 相对频度)/3。本文将重要值(按从大到小的顺序排列)之和大于所有种

重要值总和和80%的物种确定为群落的优势种^[8]。

2.2.2 生态位宽度与生态位重叠 采用 Levins 指数和 Shannon-Wiener 指数来测定种群的生态位宽度,采用 Schoener 指数测定优势种群间的生态位重叠^[1]。

2.2.3 种间联结 通过构建种间联结的2×2列联表,利用 χ^2 -检验和联结系数(AC)计算群落中种群间的种间联结^[1-2,4-5,7-9]。在 χ^2 -检验中,若 $\chi^2 \geq 3.841$ ($0.01 < P \leq 0.05$),表示种间联结显著; $\chi^2 \geq 6.635$ ($P < 0.01$),表示种间联结极显著; $\chi^2 < 3.841$ ($P > 0.05$)时,认为2个种相互独立,即中性联结。 $ad > bc$ 时为正联结, $ad < bc$ 为负联结。联结系数AC用来进一步检验由 χ^2 -检验所测出的结果及说明种间联结的强弱程度,AC值域为[-1,1],AC越接近1物种间正关联越强,反之,越接近-1物种间负关联越强,AC为0表明物种间完全独立。

2.2.4 种间协变 选用 Pearson 积矩相关系数计算种群间的种间协变^[8,20]。Pearson 积矩相关系数计算公式如下:

$$r(i, k) = \left\{ \sum_{j=1}^N y_{ij}y_{kj} - \left[\left(\sum_{j=1}^N y_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^N y_{kj} \right) / N \right] \right\} / \left\{ \sqrt{ \sum_{j=1}^N y_{ij}^2 - \left[\left(\sum_{j=1}^N y_{ij} \right)^2 / N \right] } \sqrt{ \sum_{j=1}^N y_{kj}^2 - \left[\left(\sum_{j=1}^N y_{kj} \right)^2 / N \right] } \right\}$$

式中: $r(i, k)$ 为相关系数,值域为[-1,1], y_{ij} 为第j个样方中第i种的多度, y_{kj} 为第j个样方中第k种的多度, N 为总样方数。显著性检验:查 r 界值表中自由度 $df = N - 2$,概率水平 $P = 0.05$ 和 $P = 0.01$ 的临界值 $r_{0.01}$ 和 $r_{0.05}$ 与相关系数 $r(i, k)$ 的绝对值进行比较,若 $r_{0.01} > |r(i, k)| > r_{0.05}$,则在 $P < 0.05$ 水平上显著相关;若 $|r(i, k)| > 0.01$,则在 $P < 0.01$ 水平上显著相关。

2.2.5 数据统计分析 将群落中物种的重要值与生态位宽度进行 Pearson 相关分析。数据处理在 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件中完成,显著度水平 $P < 0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 重要值及生态位

3.1.1 篦子三尖杉群落优势种群重要值与生态位宽度 篦子三尖杉群落中有20个种的重要值之和占有所有物种重要值之和的80.29%,基本代表了群落的优势物种的组成,可以反映群落中种群间的相互关系,其重要值与生态位宽度见表2。群落优势物种的重要值与 Levins 指数之间存在显著正相关

($F = 0.452, P < 0.05$), 而与 Shannon-Wiener 指数之间相关不显著 ($F = 0.162, P = 0.495$)。篦子三尖杉是群落中重要值和生态位宽度最大的种群, 八角枫和杉木在生态位宽度中共列第二, 对应的重要值也较高, 分别为 33.3% 和 22%; 生态位宽度排第三的种群有灯台树、云山青冈、枫香树、构树 (*Broussonetia papyrifera* (Linn.) L'Hert. ex Vent) 和黄心夜合 (*Michelia martinii* (Levl.) Levl.); 尽管大叶方竹 (*Chimonobambusa grandifolia* Hsueh) 重要值仅次于篦子三尖杉, 但是其生态位宽度则最低。

表 2 篦子三尖杉群落优势种群重要值及生态位宽度

种名	重要值/%	Levins 指数	Shannon-Wiener 指数
篦子三尖杉	48.3	11	2.40
大叶方竹	39.6	1	0.00
八角枫	33.3	4	1.39
伊桐	31.2	1	0.00
毛竹	29.0	1	0.00
灯台树	23.7	3	1.10
杉木	22.0	4	1.39
短梗大参	21.2	1	0.00
宜昌润楠	17.7	1	0.00
木姜子	16.0	2	0.69
云山青冈	15.2	3	1.10
红果黄肉楠	11.1	1	0.00
枫香	9.6	3	1.10
石岩枫	9.6	2	0.69
赤杨叶	9.6	2	0.69
构树	8.5	2	0.69
紫楠	7.3	2	0.69
华中樱桃	6.2	3	1.10
大叶桂樱	6.2	2	0.69
黄心夜合	5.9	3	1.10

注: 赤杨叶 (*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino), 构树 (*Broussonetia papyrifera*), 紫楠 (*Phoebe shearerii* (Hemsl.) Gamble), 华中樱桃 (*Cerasus conradinae* (Koehne) Yu et Li), 大叶桂樱 (*Laurocerasus zippenliana* (Miq.) Yü et Lu)。

3.1.2 生态位重叠 Schoener 指数计算的生态位重叠值见表 3, 指数在 0.0 ~ 0.5 之间的种对有 176 对, 占总种对数的 92.63%, 其中, 生态位不重叠的种对有 84 个, 占总种对数的 44.21%。生态位完全重叠的种对有 5 个, 分别是红果黄肉楠-大叶方竹、紫楠-大叶桂樱、紫楠-赤杨叶、大叶桂樱-赤杨叶和宜昌润楠-短梗大参。篦子三尖杉与其它种群之间的生态位重叠值为 0.091 ~ 0.364, 与杉木和华中樱桃的生态位重叠值最大, 同为 0.364, 反映了篦子三尖杉与其它种群之间对于资源的利用性竞争偏低。

表 3 篦子三尖杉群落优势种生态位重叠

数值范围	种对数/个	百分比/%
0.0	84	44.21
0.0 < A ≤ 0.25	28	14.74
0.25 < A ≤ 0.5	64	33.68
0.50 < A ≤ 0.75	9	4.74
0.75 < A < 1	0	0.00
1	5	2.63
合计	190	100

注: A 为 Schoener 指数

3.2 种间联结

篦子三尖杉群落优势种 χ^2 -检验和种间联结系数 (AC) 结果见表 4、5。在 χ^2 -检验中, 群落中优势种群之间中性联结 ($P > 0.05$) 的种对有 123 对 (64.74%); 极显著正联结的种对有 0 对, 显著正联结的种对有 3 对 (1.58%), 分别是: 紫楠-大叶桂樱、紫楠-赤杨叶、大叶桂樱-赤杨叶; 极显著负联结的种对有 41 对 (21.58%), 显著负联结的种对有 23 对 (12.11%)。篦子三尖杉群落优势种联结系数 (AC) 统计结果 (表 5) 显示: 篦子三尖杉群落中正负联结的种对分别是 81 对 (42.63%) 和 89 对 (46.85%), 正负联结系数种对的比率为 0.91。此外, 中性联结的种对有 20 对 (10.53%); 极显著负联结的种对最多有 84 对 (44.21%)。在 χ^2 -检验和种间联结系数中都发现, 篦子三尖杉与其它种群之间表现为中性联结或无联结。

表 4 篦子三尖杉群落优势种群 χ^2 -检验

数值范围	种对数/个	百分比/%
$P > 0.05$	123	64.74
$P < 0.01$	0	0.00
$0.01 < P \leq 0.05$	3	1.58
$P < 0.01$	41	21.58
$0.01 < P \leq 0.05$	23	12.11
合计	190	100

表 5 篦子三尖杉群落优势种群种间联结系数 (AC)

数值范围	种对数/个	百分比/%
$AC \geq 0.6$	8	4.21
$0.2 \leq AC < 0.6$	38	20.00
$0.0 < AC < 0.2$	35	18.42
$AC = 0.0$	20	10.53
$-0.2 \leq AC < 0.0$	4	2.11
$-0.6 \leq AC < -0.2$	1	0.53
$AC \leq -0.6$	84	44.21
合计	190	100

3.3 种间协变

种间协变是以树种的数量特征为依据 (多度或密度、盖度及生物量等) 来分析种对间相对数量变化

的趋势和程度^[8]。通过对 Pearson 积矩相关系数分析可知:正协变种对有 66 个(34.7%),负协变种对有 124 个(65.3%);显著正协变的种对有 14 个(7.4%),分别是:红果黄肉楠-大叶方竹、云山青冈-杉木、云山青冈-毛竹、云山青冈-华中樱桃、杉木-毛竹、八角枫-构树、华中樱桃-枫香树、黄心夜合-石岩枫、紫楠-大叶桂樱、紫楠-赤杨叶、大叶桂樱-赤杨叶、大叶桂樱-宜昌润楠、大叶桂樱-短梗大参和宜昌润楠-短梗大参。没有显著正协变的种对有 52 个(27.4%);显著负协变的种对有 1 个(0.5%),即:篦子三尖杉-杉木,而篦子三尖杉与其它种群之间则无显著的正协变或负协变。

4 结论与讨论

篦子三尖杉是群落中重要值和生态位宽度最大的种群,生态位越大,则说明物种对环境的适应能力在群落中越强,对各种资源的利用能力越充分^[21]。篦子三尖杉野外主要分布在湿润常绿阔叶林、中山湿性常绿阔叶林和半湿润常绿阔叶林中,且局限在群落中沟谷和溪边等较为湿润的区域^[15],其生物学特性表明篦子三尖杉群体中纯合体过多,存在内繁育现象,导致对环境的适应能力和生存能力较弱,同时种子结实量少且有休眠的特性,自然条件下种子的萌发率较低,由种子形成的实生苗极少,天然更新困难^[17],种群数量较少;然而调查发现,篦子三尖杉群落主要分布在其长期适应生存的区域。由于珍稀濒危植物的空间分布在小尺度往往具有聚集分布的特征^[22],因而,在其生境地具有优势地位。篦子三尖杉生长缓慢,种子萌发和幼苗、幼树生长必需依赖较阴湿的环境^[14],在本研究的群落为常绿阔叶林的沟谷溪边区域,正是适合篦子三尖杉分布的温暖湿润的生境。研究表明,耐阴树种往往具有较大的生态位宽度^[23],因而篦子三尖杉在群落中生态位宽度较大。

群落中大部分种群之间的生态重叠程度不高,尤其是篦子三尖杉与其它种群之间生态位重叠程度不高。生态位重叠表现的是 2 个物种利用同一资源或共同占用某一资源(如营养成分、空间等)出现的现象,通常来说生态位重叠值较大的物种之间常常有着相似的生态习性或有互补性要求^[1],群落中大多数种群间生态位重叠较小,说明群落保持一定的稳定性,云南红豆杉的生态位研究也证实了这一结论^[1];然而,群落中生态位宽度较小的物种之间则往

往具有较大的生态位重叠值,如红果黄肉楠-大叶方竹和宜昌润楠-短梗大参,这是因为篦子三尖杉的生境地分布较为狭窄,常常是物种具有较高的聚集度,导致较小的生态位宽度的物种出现生态位重叠较高的现象^[24]。篦子三尖杉群落的稳定性还表现在种间联结上,中性联结占总种对数的 64.74%,篦子三尖杉与其它优势种群间也表现为无联结,表明篦子三尖杉与其它物种之间的独立性较强,不存在资源利用性竞争,这与生态位重叠的研究结论一致。导致这一现象的原因可能是由于植物群落目前是成熟阶段^[9],而种间联结系数则显示出群落中出现较多的极显著负联结,与群落目前受到较大的人为干扰导致阳生树种的大量定居生长有关。

种间联结反映物种能否共存及其共存的几率,是以样地内物种出现与否即有或无二元数据作为联结性的判断标准,而种间协变可以弥补种间联结二元数据的不足^[25]。群落中显著正协变的种对多于显著负协变的种对数,这进一步证实了生态位重叠和种间联结的结论,即群落较为稳定,多数乔木种群在群落中可以共同利用资源。篦子三尖杉与杉木之间存在显著的负协变,而与其它物种种间协变均不显著,原因可能在于篦子三尖杉的生态位较宽,对温暖湿润的环境适应能力较强,而杉木是速生树种,对光热依赖较强,当 2 个物种在群落中大量出现时,就会产生资源利用性竞争。

生态环境遭到破坏是导致篦子三尖杉濒危的重要原因之一^[17],而篦子三尖杉种间关系的研究也从侧面证明了这一点。在篦子三尖杉的保护过程中,首先应进行生境地的保护,篦子三尖杉的生境地较狭窄,因而应重点保护沟谷溪边的常绿阔叶林,避免人为干扰,群落稳定,则物种之间的资源性竞争就弱;其次,应对篦子三尖杉群落的伴生优势物种的数量进行限制,种间协变的结论表明杉木数量的增加会对篦子三尖杉的生长造成竞争压力,未来则应进一步观测与篦子三尖杉产生负协变的种对,适当进行清除措施,增加目标树种的生存空间;最后,针对篦子三尖杉自然更新较弱的现状,应积极开展引种驯化工作,可适当在不同区域发展人工林,增加篦子三尖杉的种群数量,提高它对环境的适应能力,并进行篦子三尖杉群落的恢复工作。

参考文献:

- [1] 李帅锋,刘万德,苏建荣,等.滇西北云南红豆杉群落物种生态位与种间联结[J].植物科学学报,2012,30(6):568-576.

- [2] 贾呈鑫卓,李帅锋,苏建荣,等. 择伐对思茅松天然林乔木种间与种内关系的影响[J]. 植物生态学报,2014,38(12):1296-1306.
- [3] Levine J M, HilleRisLambers J. The importance of niches for the maintenance of species diversity[J]. Nature,2009,461(7261):254-258.
- [4] 胡理乐,李 新,江明喜,等. 宣恩七姊妹山共同群落种间联结分析[J]. 武汉植物学研究,2003,21(3):203-208.
- [5] 史作民,刘世荣,程瑞梅,等. 宝天曼落叶阔叶林种间联结性研究[J]. 林业科学,2001,37(2):29-35.
- [6] 马世荣,张希彪,郭小强,等. 子午岭天然油松林乔木层种内与种间竞争关系研究[J]. 西北植物学报,2012,32(9):1882-1887.
- [7] 王祥福,郭泉水,巴哈尔古丽,等. 崖柏群落优势乔木种群生态位[J]. 林业科学,2008,44(4):6-13.
- [8] 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.
- [9] 李先琨,黄玉清,苏宗明. 南方红豆杉群落主要树木种群联结关系初步研究[J]. 生态学杂志,1999,18(3):10-14.
- [10] Fu L G, Li N, Robert R M. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1999:85-88.
- [11] Lang X D, Su J R, Lu S G, et al. A taxonomic revision of the genus *Cephalotaxus* (Taxaceae)[J]. Phytotaxa, 2013, 84(1):1-24.
- [12] 郎学东. 三尖杉属系统分类学研究[D]. 昆明:云南大学,2013.
- [13] Abdelkafi H, Nay B. Natural products from *Cephalotaxus* ssp., chemical diversity and synthetic aspects[J]. Natural Product Reports, 2012, 29(8):845-869.
- [14] 戴晓勇,林泽信,张贵云,等. 篦子三尖杉种子育苗技术研究[J]. 种子,2012,31(8):122-125.
- [15] 郎学东,苏建荣,张志钧,等. 濒危植物篦子三尖杉的群落特征[J]. 林业科学研究,2011,24(6):727-735.
- [16] 缪绅裕,曾庆昌,王厚麟,等. 广东仁化篦子三尖杉种群及其生境特征研究[J]. 林业资源管理,2014,(2):98-104.
- [17] 陈少瑜,司马永康,方 波. 篦子三尖杉的遗传多样性及濒危原因[J]. 西北林学院学报,2003,18(2):29-32.
- [18] 周 煜,胡玉熹,林金星,等. 中国特有植物篦子三尖杉的生物学特性及其保护[J]. 广西植物,1997,17(3):249-254.
- [19] 马忠武,保关福. 三尖杉属植物的双黄酮成分及其化学分类的研究[J]. 植物分类学报,1990,28(2):48-53.
- [20] Ludwin J A, Reynolds J F. Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing[M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1988:145-155.
- [21] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,1995:21.
- [22] 李帅锋,刘万德,苏建荣,等. 云南兰坪云南红豆杉种群年龄结构与空间分布格局分析[J]. 西北植物学报,2013,33(4):792-799.
- [23] 苏志尧,吴大荣,陈北光. 粤北天然林优势种群生态位研究[J]. 应用生态学报,2003,24(1):25-29.
- [24] 高俊香,鲁小珍,马 力,等. 凤阳山常绿阔叶林乔木层优势种群生态位分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2010,34(4):157-160.
- [25] 郭泉水,王祥福,巴哈尔古丽,等. 崖柏群落优势乔木树种种间关系[J]. 生态学杂志,2007,26(12):1911-1917.