



## 毛竹-桫欏群丛的种间关系与群落稳定性

杨熋, 袁冬梅, 严令斌, 喻理飞, 安明态, 何琴琴, 穆君

### 引用本文:

杨熋,袁冬梅,严令斌,喻理飞,安明态,何琴琴,穆君. 毛竹-桫欏群丛的种间关系与群落稳定性[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(3): 349–356.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4830>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 广东翁源青云山自然保护区森林群落优势树种的生态位特征

Niche Characteristics of Dominant Species of Forest Community in Qingyunshan Natural Reserve, Wengyuan, Guangdong Province  
热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 565–573 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4214>

#### 滨海防护林木麻黄和花吊丝竹混交林群落的种间关联和生态位分析

Interspecific Association and Niche of Mixed Forest Communities of *Casuarina equisetifolia* and *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* in the Windbreak of Sandy Coast  
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 465–473 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4346>

#### 草海国家级自然保护区华山松群落特征及物种多样性研究

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 44–52 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4063>

#### 不同样方尺度下鄱阳湖湿地典型草洲植物种间关联性

Species Relationship among Typical Marshland Plants in Poyang Lake Region on Different Sample Scale  
热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 449–456 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3862>

#### 排序法在植物群落与环境关系研究中的应用述评

Overview of Ordination Methods Application in Relationship between Plant Community and Environment  
热带亚热带植物学报. 2017, 25(2): 202–208 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3670>

向下翻页, 浏览PDF全文

# 毛竹-桫欏群丛的种间关系与群落稳定性

杨熋<sup>1</sup>, 袁冬梅<sup>1</sup>, 严令斌<sup>1\*</sup>, 喻理飞<sup>1</sup>, 安明态<sup>2</sup>, 何琴琴<sup>3</sup>, 穆君<sup>3</sup>

(1. 贵州大学生命科学学院, 农业生物工程研究院, 山地植物资源保护与种质创新教育部重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 3. 赤水桫欏国家级自然保护区管理局, 贵州 赤水 5647000)

**摘要:** 种间关系是植物群落重要的数量与结构特征之一, 直接影响群落的稳定性, 探究种间关系与群落稳定性对于植物种群的保护和稳定性维持具有重要意义。以贵州省赤水桫欏国家级自然保护区内的桫欏群落为研究对象, 采用样方法对桫欏(*Alsophila spinulosa*)群落进行调查, 分析植物总体关联性、种间相关性并计算群落的稳定性系数。结果表明, 毛竹(*Phyllostachys edulis*)在群落中占绝对优势, 毛竹与桫欏的种间关系表现为显著正相关; 桫欏在发育前期受到物种间的影响较大, 而在发育的后期处于相对独立的状态, 与物种间的关系表现为弱相关或不相关, 受到物种间的影响较小; 贡献定律法分析表明毛竹-桫欏群落的稳定性系数为 21/79, 说明金沙沟区域的毛竹-桫欏群落处于稳定状态。

**关键词:** 毛竹-桫欏群丛; 种间关系; 群落稳定性

doi: 10.11926/jtsb.4830

## Interspecific Relationships and Community Stability of *Alsophila spinulosa*-*Phyllostachys edulis* Clusters

YANG Man<sup>1</sup>, YUAN Dongmei<sup>1</sup>, YAN Linbin<sup>1\*</sup>, YU Lifei<sup>1</sup>, AN Mingtai<sup>2</sup>, HE Qinqin<sup>3</sup>, MU Jun<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Germplasm Innovation in Mountainous Region (Ministry of Education), Institute of Agro-Bioengineering, College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Chishui *Alsophila* National Nature Reserve Administration, Chishui 564700, Guizhou, China)

**Abstract:** The interspecific relationship is one of the important quantitative and structural characteristics of plant communities, which directly affects the stability of communities, and it is of great significance to study the interspecific relationship and community stability for the protection and stability of plant population. *Alsophila spinulosa* community in Chishui National Nature Reserve of Guizhou Province was investigated by means of sample method, and the overall correlation and interspecific correlation of plants were analyzed and the stability coefficient of the community was calculated. The results showed that *Phyllostachys edulis* was dominant species in the community, and the interspecific relationship between *P. edulis* and *A. spinulosa* showed a significant positive correlation. *Alsophila spinulosa* was greatly affected by interspecies at the early development stage, but was relatively independent state at the late development stage, showing weak or no correlation with other species, and was less affected by interspecies. The contribution law analysis showed that the stability coefficient of *P. edulis*-*A. spinulosa* community was 21/79, indicating that the community was stable in Jinshagou area.

**Key words:** *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* community; Interspecific association; Community stability

收稿日期: 2023-08-13 接受日期: 2023-10-19

**基金项目:** 国家级自然保护区重点保护植物专项(202204); 贵州大学人才引进项目([2020]27); 贵州省生物学一流学科建设项目(GNYL[2017]009)资助  
This work was supported by the Special Project of Key Protected Plants in National Nature Reserve (Grant No. 202204), the Project for Talent Introduction of Guizhou University (Grant No. [2020]27), and the Program for Biology First-class Discipline Construction in Guizhou (Grant No. GNYL [2017]009).

作者简介: 杨熋(1999年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为修复生态学。E-mail: mantou6542@16.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lbyan@gzu.edu.cn

种间关系是指不同种群之间相互影响形成的有机体联系,包括空间上和物种间的关联,是群落数量和结构的重要特征<sup>[1]</sup>。1943年 Fisher 运用卡方检验测定了植物群落中的种间联结关系<sup>[2]</sup>,我国学者则在 20 世纪 70 年代末开始利用联结系数对群落种间关系进行研究。物种间关系的研究可以揭示群落演替中植物替代关系的机制,对环境和物种多样性的保护等具有重要的理论意义和应用价值<sup>[3]</sup>。目前对环境胁迫以及外界干扰对群落种间关系以及群落稳定性的研究较为丰富<sup>[4-8]</sup>,但对保护区内原始森林群落研究较少。

桫欏(*Alsophila spinulosa*)为桫欏科(Cyatheaceae)桫欏属的木本蕨类植物,是在第四纪冰川劫难中幸存下来的孑遗植物,被称为研究古生物的“活化石”<sup>[9]</sup>,具有极高的科研价值以及观赏价值,被列入我国《国家二级重点保护野生植物名录》。现世界分布桫欏科植物约 600 余种,我国共有 14 种 2 变种<sup>[10]</sup>,其中贵州赤水地区是桫欏种群集中分布区<sup>[10]</sup>。目前对于贵州赤水地区桫欏群落的研究主要集中在桫欏群落内生真菌多样性<sup>[11]</sup>、植物区系<sup>[12-13]</sup>、种群特征及种群动态<sup>[14-16]</sup>等研究,然而对毛竹林扩张是否影响桫欏种群的生长发育鲜有研究。

贵州赤水桫欏国家级保护区是以桫欏及其生存环境为保护对象的自然保护区,由于当地大力发展竹林产业,致使赤水地区的大部分桫欏种群以毛竹-桫欏群丛的方式存在,而毛竹(*Phyllostachys edulis*)属于竹类植物,可利用其克隆整合的生长优势快速向森林群落扩张<sup>[17]</sup>,严重影响周围原有植被的生存环境,在华东地区被认为是入侵物种<sup>[18-19]</sup>。目前对于毛竹扩张的相关研究主要集中在被子植物,关于毛竹林扩张对桫欏种群是否有影响的研究较少。因此,本研究采用样方法对赤水桫欏保护区内金沙沟地区的毛竹-桫欏群落进行研究,探究桫欏种群与毛竹林构成的群落能否稳定共存以及毛竹是否会影响桫欏种群的生长发育,力求为该地区内桫欏的保护提供理论依据和数据支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于贵州省赤水中部葫市镇金沙沟一带,总面积约为 133 km<sup>2</sup>,地理位置为 109°45′~106°03′ N, 28°23′~28°27′ E,最低海拔为 331.5 m,最高

海拔为 1 730.1 m,属中亚热带湿润季风气候区,河谷具有类似南亚热带气候特征,年均气温 17.7 °C,降水量 1 200~1 300 mm,年均相对湿度大于 84%<sup>[12]</sup>,区域内的主要优势物种有:毛竹、桫欏、芭蕉(*Musa basjoo*)和罗伞(*Brassaiopsis glomerulata*)等。保护区内的主要特点是日照少,温度高湿度大,降水充沛云雾雨日多,垂直差异大<sup>[12]</sup>,土壤主要为非地带性紫色土,呈弱酸性<sup>[20]</sup>;植被类型主要是中亚热带常绿阔叶林;其次是具有南亚热带雨林层片的常绿阔叶林、亚热带常绿落叶阔叶混交林和竹林<sup>[21]</sup>。

### 1.2 样地设置与调查

于 2021 年 7 月采用样方法对研究区进行群落调查,研究区位于山谷区,面积为 1.12 hm<sup>2</sup>,样地内最低海拔为 436 m,最高海拔为 522 m,平均海拔为 477 m,涵盖了毛竹桫欏混交林和常绿落叶阔叶混交林 2 种天然植被类型。

研究区内共计 28 个 20 m×20 m 的样方,将每个样方划分为 10 个 4 m×10 m 的小样方,共计小样方 280 个。利用实时动态载波相位差分技术(real-time kinematic, RTK)测量系统(北斗海达 TS7)对样方内所有桫欏和胸径(diameter at breast height, DBH)≥1 cm 的木本植物进行投影坐标位置标定,并调查记录所定位植物的种名、胸径(DBH)、树高、枝下高、冠幅等基本信息。

### 1.3 物种重要值

研究区内 DBH≥1 cm 的植物共 5 540 株,隶属于 38 科 53 属 67 种。物种重要值参照张金屯<sup>[22]</sup>的方法计算。重要值=(相对密度+相对频度+相对显著度)/300,其中,相对密度=某种的个体数/总个体数×100,相对频度=某种的频度/所有种的频度总和×100,相对显著度=某种的基面积之和/所有种的基面积总和×100。表 1 为部分物种的重要值。

### 1.4 垂直结构划分

垂直结构是群落的主要形态特征,是在自然环境下群落中植物长期协同适应的结果,对群落垂直结构深入研究有助于了解不同高度级间的物种动态与种间关系<sup>[23]</sup>。研究基于树高绘出样地内植物的密度分布图,将毛竹-桫欏群落划分为 2 个层片(图 1):上层片为树高≥7.696 m 的林冠层植物,其植株高度集中分布在 13 m;下层片为树高<7.696 m 的林下植物,林下植物的植株高度集中分布在 2 m,由于毛竹-桫欏群落的分层明显,因而通过结合不同层片中优势物种间的关系来表征该群落的种间关系更具有说服力。

表 1 部分物种的重要值

Table 1 Importance value of part species

植物 Species	缩写 Abbreviation	重要值 Importance value /%	变异系数 Variable coefficient
毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	Phy.edu	35.938±18.221	0.507
桫欏 <i>Alsophila spinulosa</i>	Als.spi	9.436±4.880	0.517
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	Mae.jap	7.539±9.685	1.285
大叶土蜜树 <i>Bridelia fordii</i>	Bri.for	7.126±3.418	0.480
罗伞 <i>Brassaiopsis glomerulata</i>	Bra.glo	6.586±3.663	0.556
绿叶黄葛树 <i>Ficus virens</i>	Fic.vir	3.711±3.288	0.886
粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	Mal.phi	3.151±4.686	1.487
狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i>	Dip.dub	2.876±3.676	1.278
越南山矾 <i>Symplocos cochinchinensis</i>	Sym.coc	2.711±4.315	1.592
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	Mal.bar	2.085±1.193	0.572
常山 <i>Dichroa febrifuga</i>	Dic.feb	2.062±2.061	1.000
云南樟 <i>Cinnamomum glanduliferum</i>	Cin.gla	1.997±5.061	2.534
贵州毛柃 <i>Eurya kweichowensis</i>	Eur.kue	1.607±0.999	0.622
芭蕉 <i>Musa basjoo</i>	Mus.bas	1.603±2.131	1.329
木蜡树 <i>Toxicodendron sylvestri</i>	Tox.syl	1.482±2.009	1.356
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	Eur.nit	1.393±2.019	1.449
黄心树 <i>Machilus bombycina</i>	Mac.bom	0.963±2.310	2.399
小果润楠 <i>M. microcarpa</i>	Mac.mic	0.641±1.850	2.886
华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	Syz.aus	0.549±0.790	1.439
白辛树 <i>Pterostyrax psilophyllus</i>	Pte.psi	0.402±1.259	3.132
中华野独活 <i>Milium sinensis</i>	Mil.sin	0.365±1.549	4.244
紫楠 <i>Phoebe sheareri</i>	Pho.she	0.269±1.046	3.888
滇新樟 <i>Neocinnamomum caudatum</i>	Neo.cau	0.255±1.327	5.204
水竹 <i>Phyllostachys heteroclada</i>	Phy.het	0.218±0.459	2.106
直角荚蒾 <i>Viburnum foetidum</i> var. <i>rectangulatum</i>	Vib.foe	0.200±0.956	4.780
紫果槭 <i>Acer cordatum</i>	Ace.cor	0.144±0.384	2.667
红枝柴 <i>Meliosma oldhamii</i>	Mel.old	0.110±0.572	5.200
山麻风树 <i>Turpinia pomifera</i> var. <i>minor</i>	Tur.pom	0.038±0.195	5.132

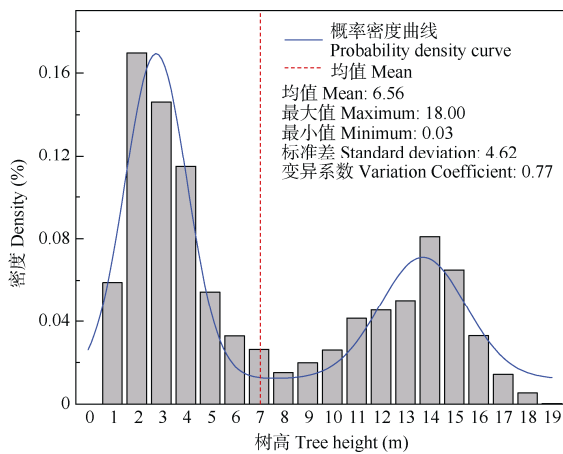


图 1 毛竹-桫欏群落植物树高密度分布直方图

Fig. 1 Histogram of high-density distribution of plants in *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* community

1.5 总体关联性检验与种间关系分析

参照张金屯<sup>[22]</sup>的方法, 采用方差比率(VR)分析

该群落的总体联结性; 应用定量数据(重要值)对物种间进行 Spearman 秩相关分析。

$$\text{方差比率(VR)} = S_T^2 / \delta_T^2, \text{ 式中, } \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i),$$

$S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$ ,  $P_i = n_i/N$ ,  $S$  为调查样地总物种数,  $N$  为总样方数,  $N_i$  为  $i$  物种出现的样方数,  $P_i$  为  $i$  物种出现的频度,  $T_j$  为样方内出现的  $j$  物种总数,  $t$  为全部样方物种的平均数。

$\chi^2$  检验是以物种是否存在二元数据作为判断依据, 属于定性检验; 而 Spearman 处理的是定量数据(重要值), 检验结果更具有说服力, 因此本研究采用 Spearman 相关检验方法做种间关系的分析<sup>[23]</sup>。Spearman 秩相关分析计算公式:  $r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N}$ , 式中,  $N$  为总样方数,  $d_j = (X_{ij} - X_{kj})$ ,  $X_{ij}$  和  $X_{kj}$  为物种  $i$  与物种  $k$  在样方  $j$  中的秩。

1.6 群落稳定性计算

采用贡献定律法<sup>[24]</sup>计算群落稳定性比值，稳定群落的比值一般为 20/80，计算出的稳定性比值越接近 20/80，表明群落就越稳定。平滑曲线模拟模型为  $y=ax^2+bx+c$ ，直线方程为  $y=100-x$ ，两式合并为  $ax^2+(b+1)x+c-100=0$ ，从而得出交点坐标为： $x=\left[-(b+1)\pm\sqrt{(b+1)^2-4a(c-100)}\right]/2a$ 。

1.7 数据处理

运用 Excel 计算毛竹-桫欏群落的物种重要值以及方差比率；用 R4.1.2 中的 spaa 包中的 sp.pair() 函数计算 Spearman 秩相关系数，通过 psych 包中的 corr.test() 函数对 Spearman 秩相关系数的显著性进

行检验，并利用 corrplot() 构建物种关系网络图<sup>[25]</sup>；使用 ggplot2 包内置的 ggplot 进行群落稳定性图的绘制<sup>[26]</sup>。

2 结果和分析

2.1 总体关联性

由表 2 可知，毛竹-桫欏群落的方差比率  $VR=3.54$  ( $VR>1$ )，说明样地内 67 种植物总体呈现正联结， $W=99.24$ ，未落入卡方分布给出的区间( $X^2_{0.99, 28}, X^2_{0.01, 28}$ )之内，说明毛竹-桫欏群落各物种间呈现极显著正联结。同理，上层片的 24 种植物与下层片的 66 种植物间均呈现极显著正联结。

表 2 毛竹-桫欏群落总体关联性分析

Table 2 Overall association analysis of *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* communities

类型 Type	物种数 (S) Number of species	方差比率 (VR) Ratio of variance	检验统计量 (W) Test statistics	( $X^2_{0.99, 28}, X^2_{0.01, 28}$ )	结果 Result
群落 Community	67	3.54	99.24	(13.565, 48.278)	极显著正联结
上层片 Upper layer	24	1.99	55.69	(13.565, 48.278)	极显著正联结
下层片 Lower layer	66	3.49	97.72	(13.565, 48.278)	极显著正联结

2.2 种间关系

2.2.1 总体植物群落的种间关系

应用物种重要值这一定量数据进行种间 Spearman 秩相关分析(图 2)。桫欏-毛竹-罗伞间存在

显著正相关；杜茎山(*Maesa japonica*)-粗糠柴(*Mallotus philippensis*)-狗骨柴(*Diplospora dubia*)-云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)-黄心树(*Machilus bombycina*)间呈现显著正相关，而它们与桫欏-毛竹-

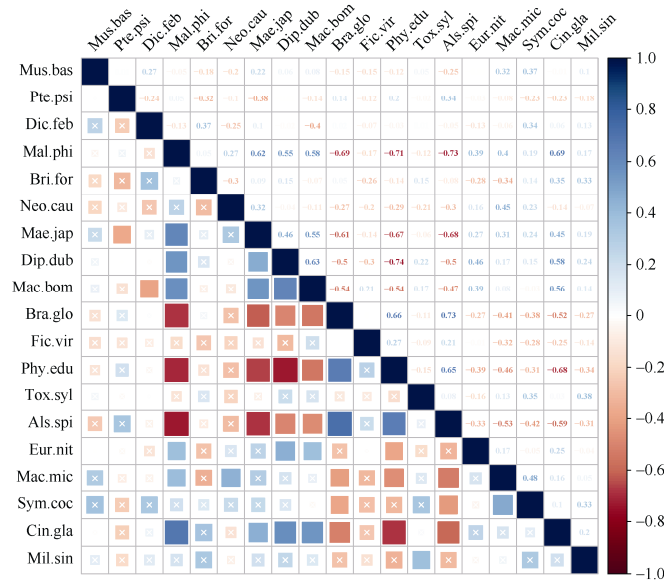


图 2 毛竹-桫欏群落物种 Spearman 秩相关矩阵图。红色：负相关；蓝色：正相关；物种缩写见表 1。下同

Fig. 2 Spearman rank correlation analysis of species in *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* community. Red: Negative correlation; Blue: Positive correlation. The species abbreviations see Table 1. The same below

罗伞之间呈现显著负相关; 其余物种之间的相关性不显著或者无相关性。

2.2.2 不同层片植物的种间关系

相较于下层片(图 3: B)而言, 在上层片(图 3: A)中的各物种间相关性并不显著。在上层片中, 毛竹与所有的物种都呈现出负相关关系, 其中毛竹与绿叶黄葛树(*Ficus virens*)-杜荃山之间呈显著负相关( $P < 0.01$ ); 桫欏与毛竹之间呈现负相关, 与毛桐(*Mallotus*

*barbatus*)-小果润楠(*Machilus microcarpa*)之间呈现显著正相关( $P < 0.01$ )。与上层片中植物相比, 下层片植物的种间相关性更为显著, 且负种对数更多。桫欏与粗糠柴、杜荃山和云南樟呈现显著负相关( $P < 0.01$ ), 与狗骨柴-黄心树呈现负相关, 桫欏-罗伞之间呈现显著正相关( $P < 0.01$ )。上层片中显著正相关种对数为 9 对, 显著负相关种对数为 2 对; 下层片中显著正相关种对数为 8 对, 显著负相关种对数为 10 对。

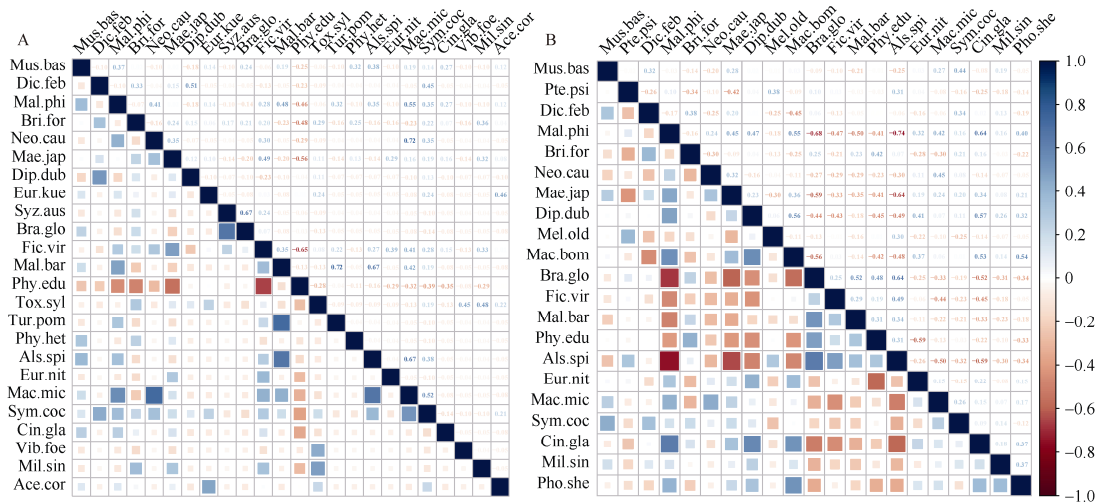


图 3 毛竹-桫欏群落中上层片(A)、下层片(B)种间相关性矩阵图

Fig. 3 Matrix diagram of interspecific correlation of upper (A) and lower (B) in *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* community

2.2.3 群落稳定性

利用贡献定律法对毛竹-桫欏群落稳定性进行分析(图 4)。拟合方程  $y = -1.4012x^2 + 1.9284x + 0.3801$  与直线  $y = 100 - x$  交点的比值即毛竹-桫欏群落的稳定性系数为 21/79, 决定系数  $R^2$  为 0.8735;  $P < 0.0001$  表明结果具有统计学意义。

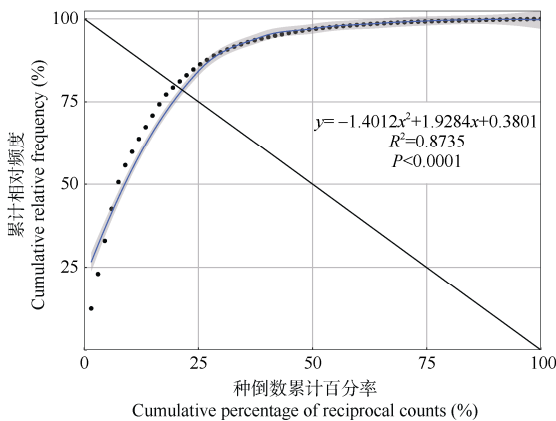


图 4 毛竹-桫欏群落稳定性

Fig. 4 Stability of *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* community

3 讨论和结论

3.1 群落总体种间联结性与种间关系

本次共计调查 67 种植物, 隶属于 38 科 53 属。按照树高将毛竹-桫欏群落分层后的结果显示下层片物种数为 66, 而上层片内的物种数仅有 24, 表明下层片的物种丰富度高于上层片, 间接证明林下植物在维持构建森林物种多样性中具有决定作用<sup>[27]</sup>。总体的种间联结性可以反映群落的稳定性, 检验结果说明无论是在毛竹-桫欏群落中还是不同层片中, 物种间都表现出极显著的正关联, 表明该群落种间联结较为紧密, 群落结构比较稳定, 群落受干扰程度较低<sup>[28]</sup>, 与贡献定律法得到的结果一致。

Spearman 秩相关矩阵图结果表明毛竹-桫欏群落中物种种对间大多数呈现负相关, 表明优势物种对生境具有趋异的生态适应, 这种较强的负相关性说明群落内优势物种对于资源环境利用率较高, 物种间的资源竞争较小<sup>[29]</sup>, 群落的稳定性较高。其中桫欏-毛竹-罗伞分别与杜荃山-粗糠柴-狗骨柴-云南



樟-黄心树呈现显著负相关,说明杜茎山-粗糠柴-狗骨柴-云南樟-黄心树与桫欏-毛竹-罗伞对环境的要求不同,呈现出相互排斥,生态位出现分离的状况<sup>[30]</sup>,在群落中同时出现的概率极小。而桫欏、毛竹与罗伞之间呈现显著正相关,说明它们三者表现出趋同适应,在同一空间内会因利用相同的自然资源而产生资源竞争;同理,杜茎山、粗糠柴、狗骨柴、云南樟和黄心树之间也表现为趋同适应。根据相关矩阵图分析,毛竹与桫欏在环境资源的选择方面趋同存在竞争,但由于毛竹普遍位于林冠层,可为桫欏提供适宜的荫蔽条件,垂直结构上的空间差异性使得毛竹与桫欏在空间生态位上表现出互补性,在长期的协同进化下相互依存<sup>[20]</sup>。

### 3.2 不同群落层片的种间关系

与林下植物相比,处于森林群落林冠层中的植物物种间正相关种对数较多,负相关种对数较少,毛竹几乎与所有物种的种间关系呈现出负相关,而其余物种间相关性均表现为弱的正相关或不相关,原因可能是群落内毛竹平均高度在 12 m,与其他植物在空间上产生生态位分化而表现出负相关。

桫欏在上层片中仅与毛桐表现出较强的正相关,表明处于成熟阶段的桫欏种群与毛桐在生态习性上趋同,他们在相似的环境中采取的生存策略相似<sup>[31]</sup>,从而竞争同种资源;而桫欏在下层片中与杜茎山、粗糠柴、狗骨柴、云南樟以及黄心树呈显著负相关,与罗伞和绿叶黄葛树均表现为显著正相关,表明桫欏与罗伞和绿叶黄葛树生态习性趋同,与粗糠柴、杜茎山、狗骨柴和黄心树的生态习性趋异<sup>[32]</sup>。本研究推测桫欏在幼苗期或者小灌木期间可能更容易受到其他物种的影响,随着植物群落演替的进行,处于演替后期发育成熟的桫欏在群落中则表现出较为独立的生存状态,成熟桫欏植株受到其它物种的影响逐渐降低,与各物种间表现为弱相关或不相关,表明成年个体的桫欏种群的稳定性较强烈于幼年个体。

### 3.3 对金沙沟毛竹-桫欏群丛的保护建议

桫欏属于半荫性树种,喜温暖潮湿气候,一般生长在山沟的潮湿坡地和溪边阳光充足的地方<sup>[33]</sup>,竹林高度一般为 13~16 m,高大茂密的竹林一方面能为桫欏提供荫蔽的生长环境,有助于桫欏的生长发育;但另一方面,也有研究表明毛竹在向桫欏林扩张的过程中,可以改变根系生物量密度、细根比根长、相邻同级侧根节间距等形态可塑性特征来占据优势<sup>[34]</sup>;且毛竹拥有繁殖方式简单易行以及生长

速度快等优势,导致其在阔叶林中能快速占据主要生态位而被认定为入侵植物<sup>[35]</sup>,因此定时定量的对毛竹进行砍伐既有助于通过控制毛竹的密度,防止毛竹的过度扩张而侵占桫欏植株的生存空间,为桫欏提供良好的荫蔽条件;又能将砍伐处理后的毛竹进行加工后销售从而提高经济效益。目前,对桫欏的保护主要以就地保护的方式为主,桫欏幼苗移栽的成功率并不乐观<sup>[36]</sup>,本研究结果也表明桫欏主要在生长发育的前期受到物种间的影响较大,因此应当着重对桫欏幼苗进行就地保护。

综上,毛竹-桫欏群落的种间关系分析表明,由于毛竹与桫欏在垂直结构上具有差异性和互补性,处于林冠层的毛竹为桫欏提供良好的荫蔽环境,二者间为显著正相关的种间关系,表现出趋同适应;通过不同层片的种间相关性分析表明桫欏的生长发育在前期受到物种间的影响较大,而后期受到的影响相对较小;通过贡献定律法对毛竹-桫欏群丛的群落稳定性进行分析表明该群落结构处于相对稳定的状态,这说明赤水金沙沟附近的毛竹-桫欏群落处于相对稳定的状态,桫欏种群的生长发育目前未受到毛竹林扩张的影响,这为该地区管理和保护桫欏种群提供了科学依据。

### 参考文献

- [1] CHEN Y K, YANG X B, LI D H, et al. Interspecific associations among dominant plant populations in *Keteleeria hainanensis* communities in Bawangling, Hainan Island [J]. *Plant Sci J*, 2011, 29(3): 278-287. [陈玉凯, 杨小波, 李东海, 等. 海南霸王岭海南油杉群落优势种群的种间联结性研究 [J]. *植物科学学报*, 2011, 29(3): 278-287. doi: 10.3724/SP.J.1142.2011.30278.]
- [2] JIANG X Q. Studies on structure and interspecific correlation of dominant species of *Abies fargesii* population in Shengnongjia Nature Reserve [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009. [蒋雪琴. 湖北神农架地区巴山冷杉(*Abies fargesii*)种群结构特征及其优势种种间关系分析 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.]
- [3] XU M H, LIU M, ZHAI D T, et al. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(24): 8224-8233. [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. doi: 10.5846/stxb201505311092.]
- [4] LIU R X, CHEN L Q. Effect of flooding disturbance on plant community stability and interspecific relationship in the riparian zone of reservoir [J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, 41(16) 6566-6579. [刘瑞雪, 陈龙清. 水淹干扰对水库水滨带植物群落稳定性与种间关系的影响 [J]. *生态*

- 学报, 2021, 41(16): 6566–6579. doi: 10.5846/stxb201908011629.]
- [5] JIANG S S, SUN Z J, YANG J, et al. Effect of exclusion duration on the plant interspecific relationship and community stability in *Seriphidium transiliense* desert grassland [J]. *Chin J Grassland*, 2018, 40(3): 68–75. [江沙沙, 孙宗玖, 杨静, 等. 封育年限对伊犁绢蒿荒漠草地群落种间关系及稳定性的影响 [J]. *中国草地学报*, 2018, 40(3): 68–75. doi: 10.16742/j.zgcdxb.2018-03-11.]
- [6] LIU J H, WANG Z W, HAN G D. Effects of heavy grazing on the interspecific relationship of main plant species and community stability in a desert steppe [J]. *Chin J Ecol*, 2019, 38(9): 2595–2602. [刘菊红, 王忠武, 韩国栋. 重度放牧对荒漠草原主要植物种间关系及群落稳定性的影响 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38(9): 2595–2602. doi: 10.13292/j.1000-4890.201909.012.]
- [7] JIA C X Z, LI S F, SU J R, et al. Effects of selective logging on inter- and intra-specific interactions of trees in a natural *Pinus kesiya* forest [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2014, 38(12): 1296–1306. [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. doi: 10.3724/SP.J.1258.2014.00124.]
- [8] DU Z Y. Effects of water and nitrogen addition on the plant interspecific association and community stability in the desert grassland [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021. [杜忠毓. 水氮添加对荒漠草原植物种间关系及群落稳定性的影响 [D]. 银川: 宁夏大学, 2021.]
- [9] WU J G. Potential effects of climate change on the distribution of seven protected plants in China [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2010, 28(4): 437–452. [吴建国. 气候变化对7种保护植物分布的潜在影响 [J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(4): 437–452. doi: 10.3724/SP.J.1142.2010.40437.]
- [10] HE Q Q. The current situation and protection strategies of the distribution of *Alsophila spinulosa* population in the Chishui *Alsophila spinulosa* Nature Reserve [J]. *J Green Sci Technol*, 2011(5): 40–41. [何琴琴. 赤水桫欏保护区桫欏种群分布的现状 & 保护对策 [J]. *绿色科技*, 2011(5): 40–41. doi: 10.3969/j.issn.1674-9944.2011.05.016.]
- [11] LIU Y L, ZHANG L N, LIANG L, et al. Diversity of endophytic fungi from *Alsophila spinulosa* in Chishui *Alsophila* National Nature Reserve, Guizhou Province, southwest China [J]. *Mycosystema*, 2021, 40(10): 2673–2684. [刘永兰, 张丽娜, 梁路, 等. 贵州赤水桫欏自然保护区桫欏内生真菌多样性研究 [J]. *菌物学报*, 2021, 40(10): 2673–2684. doi: 10.13346/j.mycosystema.210177.]
- [12] HUA B, MA J L, DENG H P, et al. Floristic analysis of seed plants in Chishui *Alsophila* National Nature Reserve [J]. *J SW China Norm Univ (Nat Sci)*, 2010, 35(5): 167–172. [华波, 马建伦, 邓洪平, 等. 赤水桫欏自然保护区种子植物区系特征分析 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 35(5): 167–172. doi: 10.13718/j.cnki.xsxb.2010.05.021.]
- [13] ZHANG Y B, AO L, ZHANG Z N. Analysis of common seed plant flora in Guizhou Chishui *Alsophila* Nature Reserve [J]. *Mol Plant Breed*, 2019, 17(5): 1723–1730. [张宇斌, 敖丽, 张子楠. 贵州赤水桫欏自然保护区常见种子植物区系分析 [J]. *分子植物育种*, 2019, 17(5): 1723–1730. doi: 10.13271/j.mpb.017.001723.]
- [14] ZONG X H, ZHANG H Y, WANG X, et al. Community characteristics and species diversity of *Alsophila spinulosa* in Chishui *Alsophila* National Nature Reserve [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2016, 36(6): 1225–1232. [宗秀虹, 张华雨, 王鑫, 等. 赤水桫欏国家级自然保护区桫欏群落特征及物种多样性研究 [J]. *西北植物学报*, 2016, 36(6): 1225–1232. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.06.1225.]
- [15] LIU Q. The characteristics study of plant community in the Guizhou Chishui *Alsophila spinulata* National Nature Reserve [D]. Chongqing: Southwest University, 2018. [刘钦. 贵州赤水桫欏国家级自然保护区植物群落特征研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.]
- [16] HE Q Q, MU J, YUAN D M, et al. Population structure and dynamics of *Alsophila spinulosa*, a rare and endangered plant [J]. *Guizhou Sci*, 2023, 41(2): 1–6. [何琴琴, 穆君, 袁冬梅, 等. 珍稀濒危植物桫欏种群结构与动态特征 [J]. *贵州科学*, 2023, 41(2): 1–6. doi: 10.3969/j.issn.1003-6563.2023.02.001.]
- [17] CHENG M S, ZOU N. Research progress on impacts of *Phyllostachys edulis* expansion on forest ecology and its control [J]. *J Jiangnan Univ (Nat Sci)*, 2021, 49(3): 49–55. [程明圣, 邹娜. 毛竹扩张对森林生态的影响及其管控研究进展 [J]. *江汉大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(3): 49–55. doi: 10.16389/j.cnki.cn42-1737/n.2021.03.007.]
- [18] CHEN J, ZHANG Q X, GU J, et al. Initial effects of *Phyllostachys edulis* invasion on stand structure and species composition of Chinese fir forest [J]. *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci)*, 2021, 50(4): 517–523. [陈珺, 张庆晓, 顾娇, 等. 毛竹入侵对杉木林生长和植被组成的初期影响 [J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2021, 50(4): 517–523. doi: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2021.04.012.]
- [19] WANG Y F, LIU Z Y, ZHANG B G, et al. Effects of the removal of invasive moso bamboo on soil microbial biomass and enzyme activities in subtropical forests [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2022, 33(5): 1233–1239. [汪亚芳, 刘宗悦, 张宝刚, 等. 入侵毛竹皆伐对亚热带森林土壤微生物生物量和酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2022, 33(5): 1233–1239. doi: 10.13287/j.1001-9332.202205.015.]
- [20] LI Q L, ZONG X H, DENG H P. Niche and interspecific association of dominant species in tree layer of Chishui *Alsophila spinulosa* community [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2017, 37(7): 1422–1428. [李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 等. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究 [J]. *西北植物学报*, 2017, 37(7): 1422–1428. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.07.1422]
- [21] WANG M, TU Y L, HE M J. The present status and characteristics analysis of the plants and vegetation diversity in the Chishui *Alsophila spinulosa* Nature Reserve [J]. *J Guizhou Norm Univ (Nat Sci)*, 2005, 23(1): 19–22. [王密, 屠玉麟, 何谋军. 赤水桫欏自然保护区植物和



- 植被多样性现状及特点分析 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(1): 19–22. doi: 10.3969/j.issn.1004-5570.2005.01.004.]
- [22] ZHANG J T. Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2011. [张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [23] ZHOU L L, ZHANG Q Q, ZHAO Y T, et al. Species association and correlation between vertical layers in the *Liquidambar formosana* community in Tiantong Region, Zhejiang Province [J]. Chin J Plant Ecol, 2015, 39(12): 1136–1145. [周刘丽, 张晴晴, 赵延涛, 等. 浙江天童枫香树群落不同垂直层次物种间的联结性与相关性 [J]. 植物生态学报, 2015, 39(12): 1136–1145. doi: 10.17521/cjpe.2015.0110.]
- [24] HUANG X T, WANG S X, HUANG B J, et al. Analyses of community stability and inter-specific associations between the rare plant *Phyllitis scolopendrium* and its associated species [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(1): 80–90. [黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 等. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性 [J]. 生态学报, 2015, 35(1): 80–90.]
- [25] LIU R H, JIANG Y, CHANG B, et al. Interspecific associations and correlations among the main woody plants in a *Pterocarya stenoptera* community in a riparian zone of Lijiang River, Guilin, southwest China [J]. Acta Ecol Sin, 2018, 38(19): 6881–6893. [刘润红, 姜勇, 常斌, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种间联结与相关分析 [J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6881–6893. doi: 10.5846/stxb201802270396.]
- [26] WU D M. Research on the application of how to realize data visualization in computer R language teaching [J]. Digital World, 2017(5): 191. [吴冬梅. 如何在计算机 R 语言教学中实现数据可视化的应用研究 [J]. 数码世界, 2017(5): 191. doi: 10.3969/j.issn.1671-8313.2017.05.159.]
- [27] GUI X J, LIAN J Y, ZHANG R Y, et al. Vertical structure and its biodiversity in a subtropical evergreen broad-leaved forest at Dinghushan in Guangdong Province, China [J]. Biodiv Sci, 2019, 27(6): 619–629. [桂旭君, 练琰愉, 张入匀, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林群落垂直结构及其物种多样性特征 [J]. 生物多样性, 2019, 27(6): 619–629. doi: 10.17520/biods.2019107.]
- [28] HE L J, ZHANG L, SU Z Y. Interspecific associations of dominant plant populations under different protection regimes in Nanling National Nature Reserve, Guangdong Province [J]. J S China Agric Univ, 2011, 32(1): 73–77. [贺立静, 张璐, 苏志尧. 南岭国家级自然保护区不同保护条件下优势种群的种间联结性分析 [J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(1): 73–77. doi: 10.3969/j.issn.1001-411X.2011.01.016.]
- [29] ZHAN X H, WANG X H, YE N N, et al. Spatial distribution patterns and interspecific relationship of dominant tree species in the tree layer of typical natural secondary forest communities in Jiande, Zhejiang Province [J]. J Zhejiang A&F Univ, 2021, 38(4): 659–670. [詹小豪, 王旭航, 叶诺楠, 等. 浙江建德典型天然次生林群落主要乔木树种空间分布格局及种间关系 [J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(4): 659–670. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.20200586.]
- [30] ZHANG G G, WANG D X, ZHANG M X, et al. Interspecific association and correlation of main species in the succession process of pine oak forest community on the south-facing slopes in Qinling Mountain [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2015, 35(8): 1657–1668. [张岗岗, 王得祥, 张明霞, 等. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中种间联结性和相关性研究 [J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1657–1668. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2015.08.1657.]
- [31] ZHANG M X, WANG D X, KANG B, et al. Interspecific associations of dominant plant populations in secondary forest of *Pinus armandii* in Qinling Mountains [J]. Sci Silv Sin, 2015, 51(1): 12–21. [张明霞, 王得祥, 康冰, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性 [J]. 林业科学, 2015, 51(1): 12–21. doi: 10.11707/j.1001-7488.20150102.]
- [32] ZHANG Y, GUO L P, YI X M, et al. Analysis of interspecific associations among major tree species in three forest communities on the north slope of Changbai Mountain [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(1): 106–115. [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. doi: 10.5846/stxb201403250548.]
- [33] XIE C P, WANG C L, WANG H H, et al. Population structure and dynamic characteristics of *Alsophila spinulosa* in Diaoluo Mountain tropic rain forest of Hainan [J]. J Xinyang Norm Univ (Nat Sci), 2022, 35(4): 566–575. [谢春平, 王常玲, 王候河, 等. 海南吊罗山热带雨林桫欏种群结构与动态特征 [J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2022, 35(4): 566–575. doi: 10.3969/j.issn.1003-0972.2022.04.008.]
- [34] QU H H, DENG H P, LIANG S, et al. Effects of *Phyllostachys heterocycla* expansion on morphological plasticity of endangered plant *Alsophila spinulosa* root system [J]. Acta Ecol Sin, 2020, 40(4): 1219–1227. [瞿欢欢, 邓洪平, 梁盛, 等. 毛竹扩张对濒危植物桫欏根系形态可塑性的影响 [J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1219–1227. doi: 10.5846/stxb201812172745.]
- [35] TONG R, ZHOU B Z, JIANG L N, et al. Influence of moso bamboo invasion on forest plants and soil: A review [J]. Acta Ecol Sin, 2019, 39(11): 3808–3815. [童冉, 周本智, 姜丽娜, 等. 毛竹入侵对森林植物和土壤的影响研究进展 [J]. 生态学报, 2019, 39(11): 3808–3815. doi: 10.5846/stxb201806131319.]
- [36] HE Q Q, WENG T, LIU B Y, et al. Research advance in conservation strategies of Cyatheaceae plant communities based on interspecific relationships [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(5): 753–762. [何琴琴, 翁涛, 刘邦友, 等. 基于群落种间关系的桫欏植物保护策略研究进展 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(5): 753–762. doi: 10.11926/jtsb.4513.]