

◆植物科学◆

广西不同林龄马尾松人工林林下木本植物种间联结动态*

黎露^{1,2,3}, 马姜明^{1,2,3**}, 莫燕华^{2,3}, 王永琪^{2,3}, 黄柳欣^{2,3}, 陆绍浩⁴

(1. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西南宁 530002; 2. 广西漓江流域景观资源保育与可持续利用重点实验室, 广西桂林 541006; 3. 广西师范大学可持续发展创新研究院, 广西桂林 541006; 4. 横州市镇龙林场, 广西南宁 530327)

摘要:为了解广西不同林龄马尾松(*Pinus massoniana*)人工林林下主要木本植物间相互作用的变化规律,以空间代替时间的方法,在群落调查的基础上采用多物种间的总体关联显著性检验、 χ^2 统计量分析和 Spearman 秩相关检验对广西不同林龄马尾松人工林亚乔木层和灌木层木本植物种群进行种间联结分析。结果表明:(1)不同林龄阶段亚乔木层物种间的总体关联性均呈不显著正联结,从中林龄到成熟林再到过熟林,灌木层物种间的总体关联性变化趋势为不显著负联结→不显著正联结→不显著正联结;(2)随着林龄的增长,林下主要木本植物正联结种对比例增加,种间关系逐渐趋于正联结,群落稳定性逐渐增加,向顶级群落方向演替;(3)马尾松人工林林下主要木本植物中大多数种对间的相关性并不显著,物种间的关系较为松散,种对间的关联性较弱,所研究的马尾松人工林仍处于不稳定的演替阶段。充分利用种间关系研究的结果对马尾松人工林群落进行科学维护,可以加速马尾松人工林群落的恢复。

关键词:种间联结 种间相关性 优势种 林下植被 马尾松人工林

中图分类号:S718.54 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)06-1160-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230110.016

种间联结指的是不同物种之间在空间分布上的相互关联性^[1],量化表达了一定时期内群落中物种间相互关系的静态特征^[2]。植物群落中各种群间的关系既有相互促进,也有相互排斥,可以反映种群在群落中的重要程度^[3]。种间联结作为植物群落重要的数量和结构特征之一,是群落结构形成和演替的重要

基础,也是划分群落的依据及物种间相互关系的表现形式^[4]。通过群落种间联结的研究,可以确定植物种群之间的关系,预测种群动态以及群落植被更新替代机制,对植被的恢复与重建、退化生态系统防治及生物多样性保护具有重要的意义^[5]。随着群落演替的进行,森林群落结构趋于复杂稳定,生态位分化愈合

收稿日期:2022-04-12

修回日期:2022-06-10

*国家自然科学基金项目(32260387),广西重点研发计划项目(桂科 AB21220057),广西优良用材林资源培育重点实验室开放课题(2019-B-04-01)和广西研究生教育创新计划项目(XYCSZ2022016)资助。

【作者简介】

黎露(1999-),女,在读硕士研究生,主要从事恢复生态学研究。

【**通信作者】

马姜明(1976-),男,教授,博士生导师,主要从事退化生态系统的恢复与重建研究,E-mail:mjming03@163.com。

【引用本文】

黎露,马姜明,莫燕华,等.广西不同林龄马尾松人工林林下木本植物种间联结动态[J].广西科学,2022,29(6):1160-1168.

LI L, MA J M, MO Y H, et al. Interspecific Association Dynamics of Understory Woody Plants with Different Forest Ages of *Pinus massoniana* Plantation in Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(6): 1160-1168.

理, 种间关系趋于正联结^[6]。

马尾松(*Pinus massoniana*)属松科(Pinaceae)松属(*Pinus*), 是我国亚热带地区分布最广的人工林树种之一^[7]。马尾松因具有耐干旱、耐贫瘠、生长迅速、极强的生态适应性、易于进行天然更新和人工造林等特点, 被广泛应用于生态防护及生态治理, 在恢复森林生态系统中发挥了重要的作用^[8]。林下植被作为森林生态系统中重要的组成成分, 在系统中的物质循环与能量流动^[9]、维持生物多样性^[10]、调节小气候^[11]以及生态系统的稳定性^[12]等方面发挥着重要作用。目前, 关于马尾松人工林林下主要木本植物的研究较多, 主要集中于林下主要木本植物组成多样性^[13]、径级结构特征^[14]及生态位研究^[15], 针对马尾松人工林林下主要木本植物种间联结的研究鲜见报道。

因此, 本研究以不同林龄的马尾松人工林林下主要木本植物为研究对象, 对调查样地内不同林龄中亚乔木层和灌木层种间联结进行定量分析, 揭示它们在群落恢复过程中的种间关联性动态变化规律, 为加速马尾松人工林恢复进程提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西横州市镇龙林场, 地理坐标为

表 1 样地设置及林分状况

Table 1 Sample plot setting and stand status

林分类型 Stand types	坡向 Aspect	坡位 Slope position	海拔(m) Elevation (m)	平均胸径 ± 标准差 (cm) Mean DBH ± SD (cm)	平均树高 ± 标准差 (m) Average tree height ± SD (m)	密度(棵/hm ²) Density (trees/hm ²)	郁闭度 Canopy density
Middle-aged forest	SE	Middle-uphill	378	12.67 ± 4.45	10.79 ± 2.31	1 407 ± 212	0.8
Mature forest	N	Middle-uphill	262	28.23 ± 9.12	25.12 ± 3.58	598 ± 112	0.8
Overripe forest	SE	Uphill	258	41.27 ± 9.39	26.55 ± 5.55	197 ± 42	0.8

1.3 关联性检验

群落的总体联结性首先是根据物种在样方中存在与否, 将原始数据转化为(0, 1)二元数据矩阵, 然后使用方差比率法来检测方差比率(Variance ratio, VR)值, 并利用统计量 W 检验 VR 值偏离 1 是否显著。通过 χ^2 检验测定种间联结强度, 利用 Spearman 秩相关系数检验种间相关性。具体计算方法详见文献^[17-19]。

文中所有数据处理均在 Excel 2019, R 4.1.2 和

109°08' - 109°19' E, 23°02' - 23°08' N, 海拔 400 - 700 m。地处南亚热带季风气候区, 年平均气温 21.5℃, 极端高温 39.2℃, 极端低温 -1℃; 年平均日照时数 1 758.9 h, 光照充足; 年平均降水量 1 477.8 mm, 常年湿度在 80% 以上; 土壤多为赤红壤, 呈酸性或微酸性^[16]。研究区内常见林下木本植物有山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)、毛八角枫(*Alangium kurzii*)、海南冬青(*Ilex hainanensis*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)、三桠苦(*Melicope pteleifolia*)和草珊瑚(*Sarcandra glabra*)等。

1.2 样地设置

2018 年 7 - 9 月, 在对镇龙林场全面踏查的基础上, 选择中龄林(1999 年植)、成熟林(1986 年植)和过熟林(1960 年植) 3 种马尾松人工林进行研究。3 种马尾松人工林在种植第 1 - 3 年进行除杂草保育措施、第 8 - 9 年进行卫生伐抚育措施之后便不再进行人为干扰, 马尾松人工林进入近自然恢复状态。在各林龄人工林中选择立地条件大致相似的地段进行样方设置, 每个林龄设置 3 个 20 m × 20 m 的标准样方, 并将每个标准样方划分为 4 个 10 m × 10 m 的小样方。对样方中除马尾松以外胸径 ≥ 1 cm 的木本植物进行每木调查, 并记录所有调查个体的种名、胸径、高度、株数等信息(表 1), 其中高度 ≥ 5 m 的划分为亚乔木层, 高度 < 5 m 的划分为灌木层。

SPSS 26.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 群落主要木本植物

经调查统计, 中龄林林下木本植物有 62 种, 成熟林林下木本植物有 72 种, 过熟林林下木本植物有 67 种。选取各群落中亚乔木层重要值排前 10 的物种与灌木层重要值排前 20 的物种进行后续的种间联结分析, 见表 2。

表 2 不同林龄马尾松人工林主要木本植物种名及缩写

Table 2 Species names and abbreviations of main woody plants in *Pinus massoniana* plantations at different forest ages

种名 Species name	缩写 Abbreviation	种名 Species name	缩写 Abbreviation
<i>Aidia canthioides</i>	Ac	<i>Liquidambar formosana</i>	Lf
<i>Alyxia sinensis</i>	As	<i>Litsea cubeba</i>	Lc
<i>Ardisia polysticta</i>	Ap	<i>Machilus attenuata</i>	Ma
<i>Canarium subulatum</i>	Cs	<i>M. gamblei</i>	Mg
<i>Choerospondias axillaris</i>	Ca	<i>Maesa perlaris</i>	MaP
<i>Cinnamomum camphora</i>	CiC	<i>Mallotus barbatus</i>	Mb
<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	CiC	<i>Melicope pteleifolia</i>	MeP
<i>Cratoxylum cochinchinense</i>	CrC	<i>Michelia macclurei</i>	Mm
<i>Dalbergia hancei</i>	Dh	<i>Morinda parvifolia</i>	MoP
<i>Daphniphyllum calycinum</i>	Dc	<i>Mussaenda erosa</i>	Me
<i>Decaspermum gracilentum</i>	Dg	<i>Photinia kwangsiensis</i>	Pk
<i>Embelia ribes</i>	Er	<i>P. serratiifolia</i>	Ps
<i>Eurya acuminatissima</i>	Ea	<i>Pistacia chinensis</i>	Pc
<i>E. brevistyla</i>	Eb	<i>Psychotria asiatica</i>	Pr
<i>E. patentipila</i>	Ep	<i>Quercus griffithii</i>	Qg
<i>Ficus esquiroliana</i>	Fe	<i>Rhaphiolepis indica</i>	Ri
<i>F. formosana</i>	Ff	<i>Rubus cochinchinensis</i>	Re
<i>F. hirta</i>	Fh	<i>Sarcandra glabra</i>	Sg
<i>F. variolosa</i>	Fv	<i>Smilax china</i>	Sc
<i>Fissistigma oldhamii</i>	Fo	<i>Triadica cochinchinensis</i>	Tc
<i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	Hh	<i>T. sebiifera</i>	Ts
<i>Ilex hainanensis</i>	Ih	<i>Uncaria rhynchophylla</i>	Ur
<i>I. stewardii</i>	Is	<i>Vernicia montana</i>	Vm
<i>Itea chinensis</i>	Ic	<i>Wendlandia aberrans</i>	Wa

2.2 群落物种间总体联结性分析

由表 3 可知,随着马尾松人工林群落的恢复,中龄林亚乔木层、成熟林亚乔木层、过熟林亚乔木层方差比率值均大于 1,且检验值落入效应区间[5.23, 21.03]中,表明其群落呈不显著正联结。中龄林灌木层方差比率值小于 1,且其检验值落入效应区间中,表明中龄林灌木层群落呈不显著负联结。成熟林灌木层、过熟林灌木层方差比率值大于 1,其检验值落入效应区间中,故其群落呈不显著正联结。随着演替的进行,亚乔木层主要木本植物方差比率值总体上呈增加的趋势(1.55→1.49→1.74),灌木层方差比率值呈增加的趋势(0.71→1.16→1.53),表明随着群落近自然恢复的进行,亚乔木层和灌木层物种间关系趋于

正联结。

2.3 χ^2 统计量分析

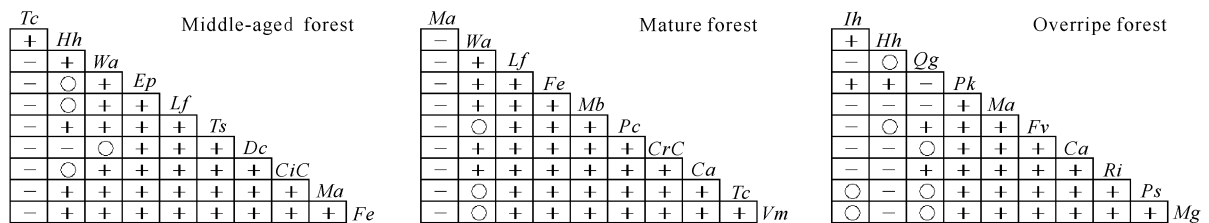
2.3.1 亚乔木层 χ^2 统计量分析

从图 1 可知,亚乔木层重要值排前 10 的主要物种组成 45 个种对,中龄林阶段,正联结的有 32 对,负联结的有 9 对,正负联结比为 3.56,无联结 4 对;成熟林阶段,正联结的有 33 对,负联结 9 对,正负联结比为 3.67,无联结 3 对;过熟林阶段,正联结的有 26 对,负联结 12 对,正负联结比为 2.17,无联结 7 对。 χ^2 统计量分析结果显示,随着马尾松人工林群落的恢复,亚乔木层物种间正负联结比例呈先增加后减少的趋势。

表 3 不同林龄马尾松人工林植物群落总体联结性

Table 3 Overall association of plant community in *Pinus massoniana* plantations at different forest ages

林分类型 Stand types	群落层次 Layers of community	方差比率 Variance ratio	检验统计量 W Test statistics W	χ^2 临界值 χ^2 threshold ($\chi^2_{0.95}, \chi^2_{0.05}$)	检验结果 Test results
Middle-aged forest	Sub-tree layer	1.55	18.62	(5.23, 21.03)	No significant positive correlation
	Shrub layer	0.71	8.58	(5.23, 21.03)	No significant negative correlation
Mature forest	Sub-tree layer	1.49	17.86	(5.23, 21.03)	No significant positive correlation
	Shrub layer	1.16	13.89	(5.23, 21.03)	No significant positive correlation
Overripe forest	Sub-tree layer	1.74	20.86	(5.23, 21.03)	No significant positive correlation
	Shrub layer	1.53	18.31	(5.23, 21.03)	No significant positive correlation



+ : Nonsignificant positive association, - : Nonsignificant negative association, O : No association

图 1 不同林龄亚乔木层 χ^2 统计量半矩阵图Fig. 1 Semi-matrix diagram of χ^2 statistics of sub-tree layers at different forest ages

2.3.2 灌木层 χ^2 统计量分析

灌木层 χ^2 统计量分析结果如图 2 所示, 在灌木层重要值排前 20 的主要物种构成的 190 个种对中, 中龄林阶段呈现正联结的种对有 98 对、负联结种对有 69 对、无联结种对有 23 对, 分别占总种对数的 51.57%、36.31% 和 12.11%; 正负关联比为 1.42。成熟林阶段呈现正联结的种对有 104 对, 占总种对数的 54.74%, 其中显著联结种对有 2 对, 包括粗叶榕与楠藤 (*Mussaenda erosa*)、粗叶榕与越南悬钩子 (*Rubus cochinchinensis*), 占总种对数的 1.05%; 负联结种对 50 对、无联结种对 36 对, 分别占总种对数的 26.32% 和 18.95%; 正负关联比为 2.08。过熟林阶段正联结种对 108 对、负联结种对 33 对、无联结种对 49 对, 分别占总种对数的 56.84%、17.37% 和 25.79%; 正负关联比为 3.27。随着群落的恢复, 灌木层种对间正负关联比例明显增加。

2.4 Spearman 秩相关系数检验分析

2.4.1 亚乔木层 Spearman 秩相关系数检验分析

如图 3 所示, 在亚乔木层重要值排前 10 的物种组成的 45 个种对中, 中龄林阶段, 呈极显著正相关的种对有 1 对, 呈显著正相关的种对有 2 对, 总共有 3 对, 占总种对数的 6.67%; 无显著负相关和极显著负相关种对出现, 检验显著率为 6.67%。成熟林阶段,

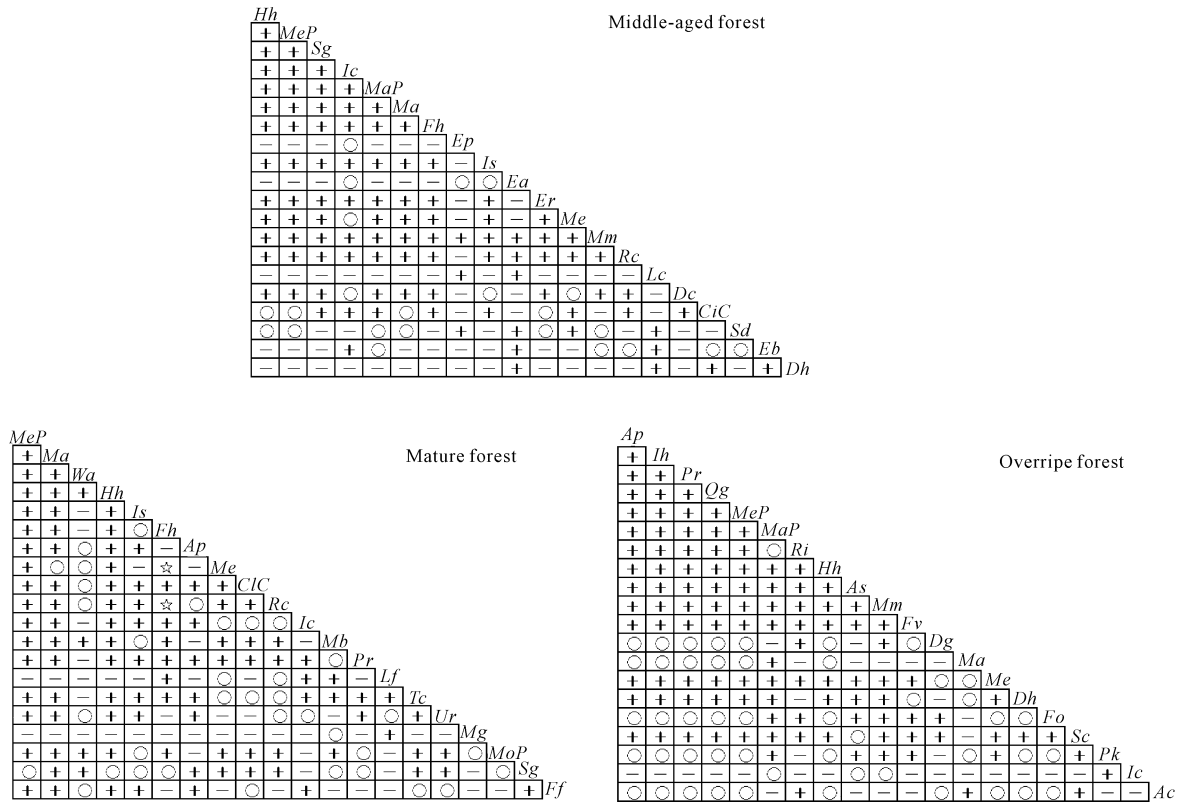
有 2 对呈极显著正相关, 占总种对数的 4.44%, 无显著正相关、显著负相关和极显著负相关种对, 检验显著率为 4.44%。过熟林阶段呈显著正相关的种对有 1 对, 占总种对数的 2.22%, 无极显著正相关、极显著负相关和显著负相关种对, 检验显著率为 2.22%。大部分物种种对间均未达到显著相关, 种间联结较为松散, 各物种独立性较强。马尾松人工林亚乔木层植物在恢复的过程中, 正联结比例从中龄林到过熟林总体上呈增加的趋势。

2.4.2 灌木层 Spearman 秩相关系数检验分析

灌木层 Spearman 秩相关系数检验分析结果如图 4 所示, 中龄林阶段, 在总种对 (190 对) 中, 呈极显著正相关的种对有 2 对, 呈显著正相关的种对有 5 对, 总共有 7 对, 占总种对数的 3.68%; 无极显著负相关种对, 呈显著负相关的种对 4 对, 检验显著率为 5.79%。成熟林阶段, 呈极显著正相关的种对有 3 对, 呈显著正相关的种对有 5 对, 总共有 8 对, 占总种对数的 4.21%; 无极显著负相关种对, 显著负相关种对有 2 对, 占总种对数的 1.05%, 检验显著率为 5.26%。过熟林阶段呈极显著正相关种对 6 对, 呈显著正相关种对 8 对, 共 14 对, 占总种对数的 7.37%; 呈极显著负相关种对有 2 对, 无显著负相关种对, 检验显著率为 8.42%。根据结果可以看出, 种间相关

性不显著的种对占绝大部分, 种间相关性不强, 随着马尾松人工林的恢复, 灌木层中正联结种对比例从

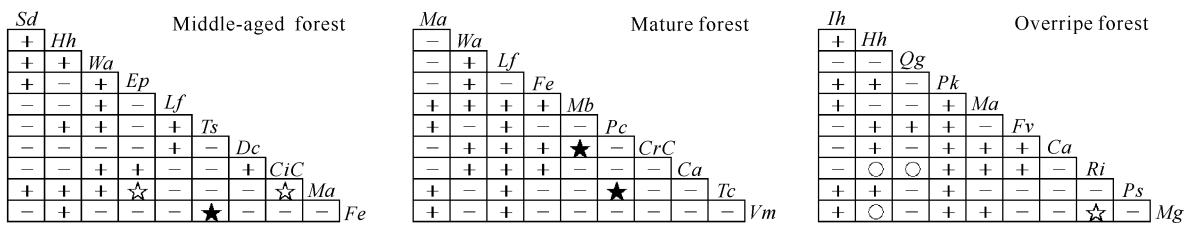
50%(中龄林)增加到 55.26%(过熟林)再增加到 61.05%(过熟林), 这与 χ^2 检验的结果相一致。



☆: Significant positive association, + : Nonsignificant positive association, - : Nonsignificant negative association, O : No association

图2 不同林龄灌木层 χ^2 统计量半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of χ^2 statistics of shrub layers at different forest ages



★: Extremely significant positive association, ☆: Significant positive association, + : Nonsignificant positive association, - : Nonsignificant negative association, O : No association

图3 不同林龄亚乔木层 Spearman 秩相关系数半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix diagram of the Spearman rank correlation coefficient of sub-tree layers at different forest ages

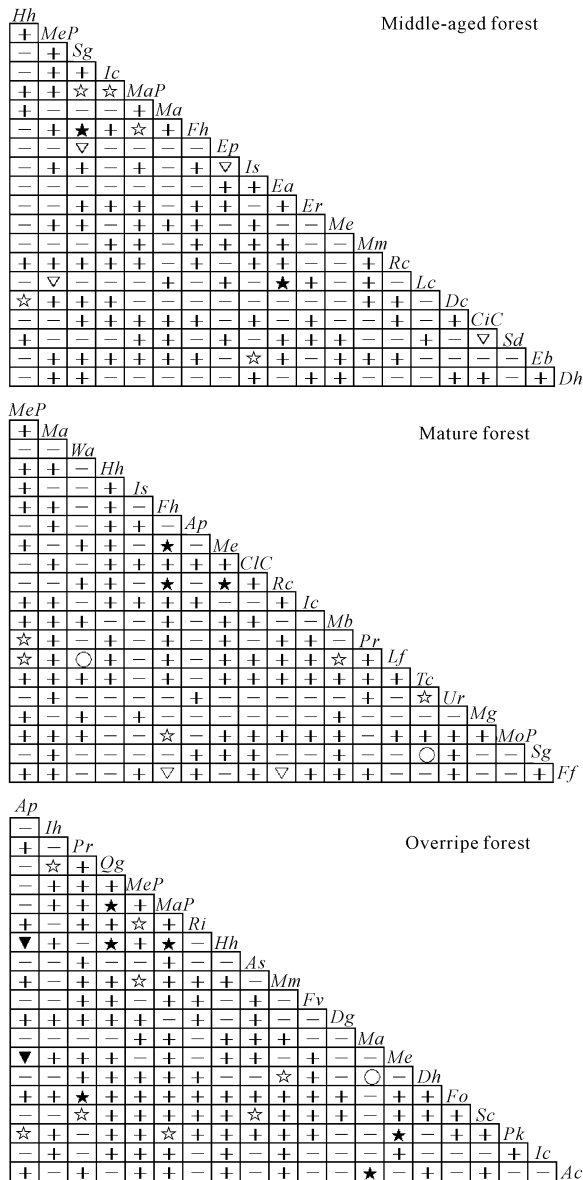


图4 不同林龄灌木层 Spearman 秩相关系数半矩阵图

Fig. 4 Semi-matrix diagram of the Spearman rank correlation coefficient of shrub layers at different forest ages

3 讨论

3.1 种间联结与群落演替

种间联结性与群落演替是相互贯连的, 群落种间总体联结性及其变化规律在一定程度上可以反映出该群落演替的阶段及其稳定性, 群落稳定性是种间联结性的表达形式^[2]。种间联结性是对一定时期内植

物群落组成物种相互关系的静态描述, 这种关系不仅包括空间分布关系, 同时也隐含着物种之间的功能, 在一定程度上反映物种间的相互关系及其与环境的关系^[20]。目前, 有关种间联结随着群落演替的变化规律, 学者们所持观点不一致, 如蒋长洪等^[21]认为, 随着群落演替的进行, 群落中物种间趋于独立; 而于瀛等^[22]则认为, 随着群落演替的进行, 种群间正关联种对比增加, 使得物种间能够相对稳定共存。本研究发现, 随着马尾松人工林林龄的增长, 亚乔木层总体关联性均呈不显著正联结, 灌木层总体关联性呈“不显著负联结→不显著正联结→不显著正联结”。随着马尾松人工林群落恢复的进行, 亚乔木层与灌木层总体上正联结种对比比例呈增加的趋势, 但还未达到显著水平, 说明群落还处于恢复阶段, 在向稳定方向演替。在排除人为干扰的情况下, 亚热带区域森林的一般演替过程为针叶林-针阔混交林-常绿阔叶林, 最终趋向演替顶级^[23]。而在自然干扰下马尾松群落演替到顶级群落的过程非常漫长^[24], 虽然本研究中已有马尾松过熟林阶段, 但该阶段仍是以马尾松为主要优势种的群落, 距离形成区域顶级群落仍需要很长的一段时间, 所以本研究中马尾松人工林林下亚乔木层与灌木层物种间的联结程度并不显著, 各物种间独立性较强, 大多数物种间联结性不强, 相互竞争、相互依赖弱, 群落间关系较为松散。

3.2 两种检验方法比较

χ^2 统计量分析是将物种在样方中存在与否(0, 1)的二元数据矩阵作为衡量的标准, 缺少了相对多度等信息, 只能判断物种间是否存在关联, 无法精确地反映种间关系的差异性。而 Spearman 秩相关系数检验是基于多度数据的一种非参数方法, 对种间的关系能够进行定量分析。 χ^2 统计量分析和 Spearman 秩相关系数检验结果具有一致性, 绝大部分种对呈现不显著关联, 但也存在一定的区别。Spearman 秩相关系数检验结果更为灵敏, 这与大多学者结论一致。

3.3 主要物种种间联结性特征

种间联结作为反映群落结构和种群空间分布的主要指标, 可直接体现出不同物种间的功能依赖关系, 是种间相互竞争、共存或独立状态的集中体现^[25]。种间联结理论认为, 正联结是由于在异质环境中, 物种间对环境条件具有相同或者相似的适应策略, 或者是物种之间相互依赖, 导致各物种间相互兼容, 相互促进生长, 通常相伴出现^[17]。在相同的环境条件下, 植物种对的正联结可能在一定程度上表明相

相互作用的存在对一方或双方都是有利的,体现了植物资源利用方式的相似性和生态位的重叠性。例如,在亚乔木层中,呈极显著正相关的种对有中龄林阶段的乌桕(*Triadica sebifera*)与黄毛榕(*Ficus esquiroliana*),成熟林阶段的毛桐(*Mallotus barbatus*)与黄牛木(*Cratoxylum cochinchinense*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)与山乌桕;呈显著正相关的种对有中龄林阶段的狭基润楠(*Machilus attenuata*)与长毛柃(*Eurya patentipila*)、狭基润楠与樟(*Cinnamomum camphora*),过熟林阶段的芳槁润楠(*Machilus gamblei*)与石斑木(*Raphirolepis indica*),表明这些物种在一定程度上相互依赖,相互促进生长,并且随着马尾松林龄的增加,狭基润楠和芳槁润楠等耐阴性物种逐渐占据优势。这与盘金文等^[26]研究不同林龄马尾松人工林优势种径级结构及物种多样性分析结论一致。

种对间的负联结是由于生物学特性的不同以及种群间对环境需求的差异性或者在竞争资源时发生相互排斥,可能只是不利于一方或双方的相互作用,如种间竞争、干扰等,体现了物种间的排斥性和生态位分离,能够反映各种群对环境异质性的适应性^[27]。例如,中龄林阶段灌木层中的三桠苦与山鸡椒(*Litsea cubeba*)均为阳性树种,对环境资源的需求一致,可能由于对光照资源的竞争而种间关系呈显著负相关;成熟林阶段台湾榕(*Ficus formosana*)与粗叶榕、台湾榕与越南悬钩子呈显著负相关;过熟林阶段的纽子果(*Ardisia polysticta*)与鹅掌柴(*Heptapleurum heptaphyllum*)、纽子果与楠藤呈极显著负相关,造成这种现象的原因可能是马尾松林下生境异质性较高,资源环境有限,物种为了争夺共有资源而产生竞争,导致了种对间的负联结。Spearman秩相关检验结果表明,从中龄林到成熟林阶段,粗叶榕与楠藤、粗叶榕与越南悬钩子的种间关系由不显著正相关变为极显著正相关,这可能是由于群落生境的异质性和微环境的变化,使得同一种植物在不同的林龄阶段具有不同的生态位,从而影响物种之间的关系。这与郭连金^[28]研究苏门白酒草对乡土植物群落种间联结性及稳定性的影响结果相似。

4 结论

利用总体联结性分析、 x^2 统计量分析和Spearman秩相关系数检验对不同林龄马尾松人工林复杂的种间关系进行科学阐释,对揭示群落的功能结

构和系统发育等方面具有重要的作用,同时对加速马尾松人工林群落的恢复具有重要的指导意义。其中总体联结性分析结果表明,随着林龄的增长,马尾松群落亚乔木层物种总体上呈不显著正联结,灌木层物种间的关系由不显著负联结转变为不显著正联结。随着马尾松林龄的增长,群落中正联结种对比比例增加,群落稳定性逐渐增加, x^2 统计量分析和Spearman秩相关系数检验结果表明仅有少数物种种间关联呈显著性,绝大多数种对无显著性。综上所述,研究区马尾松人工林林下主要木本植物种间关系较为松散,种对间的关联性较弱,所研究的马尾松群落目前仍处于不稳定的演替阶段;该群落的物种组成、结构功能均还处于动态调节的过程中。因此,可以利用种间关系研究的结果对马尾松人工林群落进行科学维护,以加速马尾松人工林群落的恢复。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 徐满厚,刘敏,翟大彤,等.植物种间联结研究内容与评述[J].生态学报,2016,36(24):8224-8233.
- [3] SU S J, LIU J F, HE Z S, et al. Ecological species groups and interspecific association of dominant tree species in Daiyun Mountain National Nature Reserve [J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(3): 637-646.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 彭舜磊,闫小婷,齐光,等.伏牛山栓皮栎群落优势种群种间关联动态分析[J].森林与环境学报,2018,38(3):326-333.
- [7] 顾洪亮,王建,商志远,等.马尾松树轮早材、晚材年表对气候因子响应的敏感性分析[J].长江流域资源与环境,2020,29(5):1150-1162.
- [8] 罗应华,孙冬婧,林建勇,等.马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响[J].生态学报,2013,33(19):6154-6162.
- [9] 李媛良,汪思龙,颜绍旭.杉木人工林剔除林下植被对凋落层养分循环的短期影响[J].应用生态学报,2011,22(10):2560-2566.
- [10] 刘磊,温远光,卢立华,等.不同林龄杉木人工林林下植物组成及其生物量变化[J].广西科学,2007(2):172-176.
- [11] 吕浩荣,刘颂颂,朱剑云,等.人为干扰对风水林群落林

- 下木本植物组成和多样性的影响[J]. 生物多样性, 2009, 17(5): 458-467.
- [12] 温远光, 周晓果, 朱宏光, 等. 桉树生态营林的理论探索与实践[J]. 广西科学, 2019, 26(2): 159-175, 252.
- [13] 王永琪, 秦佳双, 马姜明, 等. 南亚热带马尾松人工林林下木本植物的物种多样性[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2020, 38(6): 131-139.
- [14] 王永琪, 秦佳双, 马姜明, 等. 广西马尾松人工林林下木本植物径级结构特征[J]. 广西科学, 2020, 27(6): 630-637.
- [15] 黎露, 王永琪, 马姜明, 等. 南亚热带马尾松人工林近自然恢复过程中林下木本植物生态位动态[J]. 广西科学, 2021, 28(5): 499-510.
- [16] 秦佳双, 李明金, 宋尊荣, 等. 不同年龄阶段马尾松人工林土壤水分-物理性质[J]. 广西科学, 2019, 26(2): 245-251.
- [17] 温鑫鸿, 王其炳, 潘辉, 等. 天宝岩柳杉群落主要乔木种群的种间联结性[J]. 森林与环境学报, 2022, 42(1): 1-10.
- [18] ROUSSET O, LEPART J. Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*) [J]. Journal of Ecology, 2000, 88: 401-412.
- [19] BISHARA A J, HITNER J B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: comparison of Pearson, Spearman, transformation and resampling approaches [J]. Psychological Methods, 2012, 17(3): 399-417.
- [20] 马丰丰, 潘高, 李锡泉, 等. 桂西南喀斯特山地木本植物群落种间关系及 CCA 排序[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(6): 32-44.
- [21] 蒋长洪, 陈茗杨, 漆基海, 等. 黔北丹霞地貌桫欏群落优势木本植物的种间联结性[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 114-120.
- [22] 于瀛, 罗应华, 刘朝阳, 等. 岑王老山常绿落叶阔叶混交林群落优势种种间联结性与种间相关性分析[J]. 广西科学, 2020, 27(2): 145-153.
- [23] 王韦韦, 熊德成, 黄锦学, 等. 亚热带不同演替树种米楮和马尾松细根性状对比研究[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5813-5821.
- [24] 王秀云, 朱汤军, 陆超, 等. 千岛湖马尾松林抚育改造后主要种群生态位研究[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(3): 1-7.
- [25] 张滋芳, 毕润成, 张钦弟, 等. 珍稀濒危植物矮牡丹生存群落优势种种间联结性及群落稳定性[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(2): 291-299.
- [26] 盘金文, 郭其强, 余大龙, 等. 不同林龄马尾松人工林优势种径级结构及物种多样性分析[J]. 西北植物学报, 2019, 39(4): 722-728.
- [27] 刘亚琦, 刘加珍, 陈永金, 等. 孔雀河下游断流河道的环境特征及物种间关系[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2706-2718.
- [28] 郭连金. 苏门白酒草对乡土植物群落种间联结性及稳定性的影响[J]. 亚热带植物科学, 2011, 40(2): 18-23.

Interspecific Association Dynamics of Understory Woody Plants with Different Forest Ages of *Pinus massoniana* Plantation in Guangxi

LI Lu^{1,2,3}, MA Jiangming^{1,2,3**}, MO Yanhua^{2,3}, WANG Yongqi^{2,3}, HUANG Liuxin^{2,3}, LU Shaohao⁴

(1. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning, Guangxi, 530002, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Landscape Resources Conservation and Sustainable Utilization in Lijiang River Basin, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 3. Institute for Sustainable Development and Innovation, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 4. Zhenlong Forest Farm of Hengzhou City, Nanning, Guangxi, 530327, China)

Abstract: In order to understand the variation of the interaction among the main woody plants in *Pinus massoniana* plantations of different ages in Guangxi, the method of space instead of time was used to analyze the

interspecific association of woody plant populations in sub-tree layer and shrub layer of *P. massoniana* plantations of different ages in Guangxi by using the overall association significance test, χ^2 statistics analysis and Spearman's rank correlation test on the basis of community investigation. The results showed that: (1) the overall association among species in sub-tree layer at different forest age stages showed no significant positive association. From middle forest age to mature forest and then to over-mature forest, the change trend of the overall association among species in shrub layer showed non-significant negative association \rightarrow non-significant positive association \rightarrow non-significant positive association. (2) With the increase of forest age, the proportion of positive association species pairs of main woody plants under the forest increased, the interspecific relationship gradually tended to be positive association, the community stability gradually increased, and the community succeeds to the top community. (3) The correlation between most species pairs in the main woody plants of *P. massoniana* plantation was not significant. The relationship between species was relatively loose, and the correlation between species pairs was weak. And the studied *P. massoniana* plantation was still in unstable succession stage. Making full use of the results of interspecific relationship research to maintain the *P. massoniana* plantation community scientifically can accelerate the recovery of *P. massoniana* plantation community.

Key words: interspecific association; interspecific correlation; dominant species; understory vegetation; *Pinus massoniana* plantations

责任编辑: 陆媛峰



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxk@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>