

肇庆新岗国有林场 1 hm² 样地乔木层植物空间分布格局及种间关联研究^{*}

邓海亮¹ 宋玉龙² 邓启好¹

(1. 肇庆市国有新岗林场, 广东 肇庆 526400; 2. 广东怀集大稠顶省级自然保护区管理处, 广东 肇庆 526400)

摘要 乔木在森林生态系统中发挥至关重要的作用。研究以肇庆新岗国有林场 1 hm² 样地为研究对象, 对样地内乔木植物的调查统计结果表明, 1 hm² 样地中共有 103 种乔木, 分析得出重要性前十的优势种群, 前三名分别为杉木 *Cunninghamia lanceolata* > 华润楠 *Machilus chinensis* > 毛锦杜鹃花 *Rhododendron moulmainense*。同时用 7 种种群分布格局分析的方法综合分析样地内优势种的分布格局, 10 个优势种群均表现为聚集分布, 说明该物种对群落内的环境较为适应, 群落比较稳定。在 X^2 检验的基础之上, 采用联结系数 AC 定性分析种间的联结性强度, 综合结果表明样地内的群落稳定性强, 乔木植物种间与环境之间的关系较为稳定。

关键词 肇庆新岗国有林场; 乔木植物; 空间分布格局; 种间关联性

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 06-0098-06

Spatial Distribution Pattern and Interspecific Association of Trees in 1 Hectare Sample Land in Xingang State-owned Forest Farm, Zhaoqing

DENG Hailiang¹ SONG Yulong² DENG Qihao¹

(1. State-owned Forest Farm of Xingang, Huaiji, Zhaoqing, Guangdong 526400, China;

2. Dachouding Provincial Nature Reserve of Huaiji in Guangdong, Zhaoqing, Guangdong 526400, China)

Abstract Arbor plays a vital role in forest ecosystems. In this study, a large sample of 1 hectare of large-scale land in State-owned Forest Farm of Xingang was analyzed. And arbor plants in the large-scale plot were surveyed and analyzed. The results showed that there were 103 species of trees in the 1-hectare plot. The analysis showed the top ten dominant populations of importance, and the top three were *Cunninghamia lanceolata* > *Machilus chinensis* > *Rhododendron moulmainense*. At the same time, the distribution pattern of dominant species in 1-hectare large sample land was comprehensively analyzed by the method of analysis of the distribution pattern of 7 kinds of population, and all 10 dominant populations showed aggregate distribution, indicating that this species was more adapted to the environment in the community and the community was more stable. On the basis of the X^2 test, the linkage strength between species was qualitatively analyzed by the linkage coefficient AC, and the comprehensive results showed that the community stability in 1 hectare large sample land was strong, and the relationship between arbor plants and the environment was relatively stable. The study investigated and monitored the arbor plants of the State-owned Forest Farm in Zhaoqing Xingang, which provided a basis

^{*} 基金项目: 省级财政专项资金 (生态林业建设) 项目。

第一作者: 邓海亮 (1981—), 男, 助理工程师, 主要从事林场经营与管理以及森林可持续发展研究, E-mail: 421553524@qq.com。

通信作者: 宋玉龙 (1988—), 男, 工程师, 主要从事森林生态学以及自然保护区地可持续研究, E-mail: 86211341@qq.com。

for promoting the efficient utilization and accurate management of arbor plant resources in the State-owned Forest Farm.

Key words Zhaoqing Xingang State-owned Forest Farm; arbor plants; spatial distribution pattern; inter-specific associations

乔木在生态系统中占据极为重要的地位，不仅是森林生态系统的主体，还是森林中多种生物的栖息地，并为它们提供物质营养来源^[1]。乔木植物在森林中发挥卓越的生态学作用，通过改善空气质量、调节气候环境^[2]以及保护生物多样性^[3]等多种方式以构建森林生态系统^[4]、维持水文循环与生态平衡^[5]，并对人类生活产生重要影响。

森林空间格局是植物种群的基本特征，是种群在森林中的分布状况，其研究聚焦于种群的空间分布格局及物种关联性两方面^[6]。种群的空间分布格局是指在一个特定区域内，同种生物个体的空间分布方式和规律，包括个体在空间上的位置、分布密度、集群程度等特征^[7]，种间关联性则指的是一定空间内种群内各物种间的联系与差异性，该属性对研究群落内物种的环境适应性、种间关系、分布情况、群落演替规律具有重要意义^[8]。近年来，对肇庆新岗国有林场的研究主要是针对某一物种在该区域的群落分布情况^[9-10]，对森林群落空间结构与物种组成方面的研究较少。本研究以肇庆新岗国有林场 1 hm²样地内乔木植物作为研究对象，通过对样地内乔木植物的调查统计，分析乔木的重要性、空间分布格局与种间关联性。该研究为进一步探讨肇庆新岗国有林场生物多样性和物种共存机制提供参考，为林场森林生态系统保护与资源合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 肇庆市新岗林场

肇庆市新岗林场位于广东省肇庆市怀集县恰水镇东北郊（东经 112°23′45″，北纬 24°14′00″），广东清远与其相依，北部是清远连南瑶族自治县，

东部为阳山县，以中山地貌为主，四大山脉西北走向，北高南低，山峦起伏，沟壑丛生。林场面积约 8 158 hm²，境内年均气温为 21.3 ~ 23.0 ℃，降雨多、湿度大，森林覆盖面积高，地表植物密布，呈现典型的亚热带季风气候区特征。

1.2 样地调查

肇庆市新岗林场固定监测样地大小为 100 m × 100 m，坐标为东经 24°17′32.45″ ~ 24°17′35.64″，北纬 112°23′58.80″ ~ 112°24′0.57″，海拔为 796 ~ 826 m，总面积为 1 hm²，共划分为 100 个 10 m × 10 m 样方，在每个样方的四角分别设置样桩（包括水泥桩和钢管桩）。样桩起始点位于样地东北角，以每个样桩为起点，分别向 4 个方向拉出 5 m × 5 m 的亚样方，在每个亚样方中划分出 25 个 1 m × 1 m 的小样方对乔木进行调查，将调查后的小样方乔木数据列入相应的样方中（10 m × 10 m）。调查记录样地内乔木的种名、株数、平均高度、最高高度和盖度等指标。

1.3 群落调查

1.3.1 重要值计算方法 以重要值为排序，重要值 = 相对频度 + 相对多度 + 相对优势度。其中，相对频度 = （某种的频度/所有种的总频度）× 100%；相对多度 = （某种的株数/所有种的株数）× 100%；相对优势度 = （某个物种的优势度/所有物种的总优势度）× 100%。

1.3.2 种群分布格局分析方法 采用如表 1 所示的 7 种种群分布格局分析方法^[11]，以综合分析监测样地内乔木优势种的空间分布格局，当 7 项指标中存在 4 个及以上的判定结果一致时，则认定该判定结果的聚集强度分析结果，使用 Excel 软件进行统计计算，具体指标计算如下：

表 1 7 种种群分布格局分析方法
Table 1 Seven analysis methods of population distribution pattern

计算指标 Calculation index	计算方式 Calculation formula	备注 Remarks
扩散系数（C） Diffusion coefficient	$C = \frac{S^2}{\bar{X}}$	X 为各种群多度的均值，S ² 为各种群多度的方差。C > 1 时为聚集分布；C = 1 时为随机分布；当 C < 1 时为均匀分布。

计算指标 Calculation index	计算方式 Calculation formula	备注 Remarks
平均拥挤度 (m^*) Average congestion degree	$m^* = X + (\frac{S^2}{X} - 1)$	$m^* > 1$ 时为聚集分布, $m^* = 1$ 时为随机分布, $m^* < 1$ 时为均匀分布。
负二项参数 (K) Negative binomial parameter	$K = \frac{X^2}{S^2 - X}$	当 K 值趋于无穷大时, 则逼近 Poisson 分布; $K < 0$ 时为聚集分布; $K = 0$ 时为均匀分布。
丛生指标 (I) Cluster index	$I = \frac{S^2}{X} - 1$	当 $I > 0$ 时为聚集分布; $I = 0$ 时为随机分布; $I < 0$ 时为均匀分布。
聚块性指标 (PI) Agglomeration index	$PI = \frac{m^*}{X}$	当 $PI > 1$ 时为聚集分布; $PI = 1$ 时为随机分布; $PI < 1$ 时为均匀分布。
Cassie 指标 (C_A) Cassie index	$C_A = \frac{S^2 - X}{X^2}$	当 $C_A > 0$ 时为聚集分布; $C_A = 0$ 时为随机分布; $C_A < 0$ 时为均分布。
Green 指标 (GI) Green index	$GI = \frac{(S^2 - X) - 1}{n - 1}$	n 为基本样方数, 当 $GI > 0$ 时为聚集分布; $GI = 0$ 时为随机分布; $GI < 0$ 时为均匀分布。

1.3.3 种间关联性分析方法 如表 2 所示, 建立 2×2 联列表, 使用软件 EXCEL 进行统计计算, 采用 X^2 检验、联结系数 AC 方法对种间关联程度与联结性进行测定。

表 2 种间联结性测定 2×2 连列表
Table 2 The 2×2 contingency tables of interspecific association determination

物种 A Species A	物种 B Species B		合计 Total
	出现 Appear	不出现 Disappear	
出现 Appear	a	b	$a + b$
不出现 Disappear	c	d	$c + d$
合计 Total	$a + c$	$b + c$	$N = a + b + c + d$

a 为 2 个物种同时出现的样方数, b 、 c 为 2 个物种单独出现的样方数, d 为 2 个物种均未出现的样方数。

(1) X^2 检验

对于非连续性数据的 X^2 用 Yates 的连续校正公式计算。

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

式中, N 为小样方总数, 为 2 个物种同时出现

的样方数, b 、 c 为 2 个物种单独出现的样方数, 为 2 个物种均未出现的样方数。 X^2 检验以 1 为自由度, 95% 的显著性水平下的卡方值为 3.841, 99% 的显著性水平下的卡方值为 6.635。拟假定置信区间在 99% 水平下显著为极显著, 在 95% 水平下显著为显著。

(2) 联结系数 AC

联结系数 AC 主要用来测定种间关联程度。

① $ad \geq bc$ 时, $AC = \frac{(ad - bc)}{(a + b)(b + d)}$

② $ad < bc$ 且 $d \geq a$ 时, $AC = \frac{(ad - bc)}{(a + b)(a + c)}$

③ $ad < bc$ 且 $d < a$ 时, $AC = \frac{(ad - bc)}{(b + d)(c + d)}$

联结系数 AC 的值域为 $[-1, 1]$, AC 值趋近于 -1 时, 表明种对间的负关联程度更强; AC 值趋近于 1 时, 表明种对间的正关联程度更强; AC 值为 0 时则表明种对间处于完全独立的状态。

2 结果与分析

2.1 群落重要值

重要值能够精确展示某一物种在所属植物群落当中的优势程度^[12]。统计显示, 样地内共有乔木 103 种, 按重要值大小取前 10 种优势植物依次排序, 结果如表 3 所示。前 10 种占总重要值的 59%, 其中杉木 *Cunninghamia lanceolata*、华润楠 *Machilus chinensis*、毛锦杜鹃花 *Rhododendron*

moulmainense 各占 38.9%、28.4%、26.0%，明显高于其他乔木优势植物，表明杉木是该样地的生态环境最匹配的植物。

2.2 优势种群空间分布格局

作为了解森林群落动态特征及物种分布的重要指标，种群的空间分布格局是采用种群多度的方差/均值扩散系数来测定格局类型，采用平均拥挤度、负二项参数、丛生指标、聚块性指数、Cassie 指标和 Green 指数综合分析样地内重要值前 10 位的优势植物空间分布格局^[11]。如表 4 所示，10 个优势种群均表现为聚集分布。在森林群落的演替中，物种聚集程度与生态系统的稳定性存在一

定的联系，物种聚集程度越高，说明该物种对群落内的环境越适应，对群落资源的利用更加合理^[13]。高物种聚集程度意味着生态系统中的生物相互作用更加复杂，这可以提高生态系统的抵抗力，使得系统在遭受干扰时能保持相对稳定的状态。同时，高物种聚集程度也有助于提高生态系统的恢复力，当某种物种受到干扰时，其他物种可以迅速填补其空缺，从而加速生态系统的恢复。

2.3 种间联结性

从卡方检验表（表 5）可以看出，样地内群落中前 10 个优势种中，有 40 个物种呈现为正相关，其中，呈现极显著正相关的有 26 对，占据

表 3 样地内乔木重要值前 10 名物种 %
Table 3 Top ten species with importance value of arbor plants in the plot

种名 Species	相对优势度 Relative abundance	相对多度 Relative dominance	相对频度 Relative frequency	重要值 Important value
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	23.7	12.7	2.5	38.9
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	19.4	6.2	2.8	28.4
毛棉杜鹃花 <i>Rhododendron moulmainense</i>	13.7	9.4	2.8	26.0
尖叶川杨桐 <i>Adinandra bockiana</i>	5.5	9.6	2.8	18.0
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	7.3	3.6	2.8	13.7
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	2.3	7.3	2.8	12.4
鸭公树 <i>Neolitsea chuii</i>	0.4	8.3	2.7	11.4
长毛山矾 <i>Symplocos dolichotricha</i>	1.7	4.9	2.8	9.4
米槎 <i>Castanopsis carlesii</i>	2.6	3.8	2.8	9.2
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	3.8	2.2	2.6	8.6
其他	19.6	32.0	72.6	124.0

表 4 优势种空间分布格局
Table 4 Spatial distribution patterns of the dominant species

指标 Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
扩散系数 Diffusion Coefficient	1.47	5.37	1.33	2.22	2.73	1.37	1.19	5.45	12.12	1.08
平均拥挤度 Average Congestion degree	11.27	26.47	19.13	30.27	30.13	11.77	6.84	42.85	36.12	14.83
负二项参数 Negative Binomial parameter	23.05	5.06	56.46	23.77	16.38	30.65	34.62	8.62	2.25	191.26
丛生指标 Cluster Index	0.47	4.37	0.33	1.22	1.73	0.37	0.19	4.45	11.12	0.08
聚块性指标 Agglomeration Index	1.04	1.20	1.02	1.04	1.06	1.03	1.03	1.12	1.44	1.01
Cassie 指标 Cassie index	0.04	0.20	0.02	0.04	0.06	0.03	0.03	0.12	0.44	0.01
Green 指标 Green index	0.21	5.03	0.28	1.82	2.54	0.17	0.01	8.95	14.57	0.01
分布格局 Diffusion pattern	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布	聚集分布

注：1. 红楠 *Machilus thunbergii*；2. 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii*；3. 华润楠 *Machilus chinensis*；4. 尖叶川杨桐 *Adinandra bockiana*；5. 毛棉杜鹃花 *Rhododendron moulmainense*；6. 米槎 *Castanopsis carlesii*；7. 青榨槭 *Acer davidii*；8. 杉木 *Cunninghamia lanceolata*；9. 鸭公树 *Neolitsea chuii*；10. 长毛山矾 *Symplocos dolichotricha*。

总物种对的 58%，呈现显著正相关的有 14 对，占据总物种对的 31%，表明群落中乔木种群间联结性较强，乔木层植物发育较为成熟。样地中鸭公树与红楠、虎皮楠、华润楠这 3 种植物表现出极显著的正相关，两者同属樟科，生物学特征与生长习性极为相似；青榨槭与虎皮楠、华润楠、毛棉杜鹃花、米槭这 4 种植物均处于不显著正相关，表明其对温度、湿度以及土壤等环境的适宜性存在一定差距。

在对种间联结性的分析中，仅使用 X^2 检验只能大致判断物种间的联结性是否显著，但无法准确判断出种间联结性的具体大小，因此需要联结系数 AC 以进一步判断。

样地内群落 10 个乔木优势种联结系数 AC 半矩阵表，如表 6 所示。AC ≥ 0.40 的种对数有 5 对，占总对数的 11%，分别为鸭公树与红楠、鸭公树与华润楠、鸭公树与尖叶川杨桐、鸭公树与毛棉杜鹃花、鸭公树与杉木，说明各个种对之间的正联结程度较高，对生境的需求相似；0.20 $\leq$ AC ≤ 0.40 的种对数有 28 对，占总对数的 62%，说明种对间呈现不显著正联结；0.00 $\leq$ AC ≤ 0.20 的种对数有 12 对，占总对数的 27%，说明种对间联结松散，分布趋于独立。综合来看，全部种对数均为正联结，但多数集中于 0.20 ~ 0.40 间，关联程度一般显著，表明群落中乔木种群种间联结性较强，乔木植物发育较为成熟。

表 5 卡方检验
Table 5 Chi-square test table

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		4.0E+01	2.3E+01	4.1E+01	2.7E+01	2.6E+01	2.5E+01	4.8E+01	1.2E+02	1.8E+01
2	3.5E-03		6.8E+01	1.2E+02	7.2E+01	4.5E+01	3.0E+01	1.3E+02	7.9E+01	4.3E+01
3	2.3E-01	2.1E-07		2.6E+01	2.4E+01	2.1E+01	3.4E+01	1.6E+01	1.4E+02	1.4E+01
4	2.2E-03	1.8E-17	1.4E-01		4.7E+01	3.7E+01	3.7E+01	4.8E+01	2.0E+02	3.6E+01
5	1.1E-01	5.0E-08	1.9E-01	3.1E-04		2.8E+01	3.0E+01	3.6E+01	1.7E+02	1.7E+01
6	1.4E-01	6.1E-04	3.1E-01	8.0E-03	8.2E-02		3.5E+01	4.6E+01	7.4E+01	1.6E+01
7	1.5E-01	5.0E-02	2.0E-02	8.6E-03	4.8E-02	1.5E-02		6.9E+01	8.0E+01	2.1E+01
8	2.4E-04	4.9E-19	6.7E-01	2.7E-04	9.2E-03	5.5E-04	1.3E-07		2.3E+02	4.4E+01
9	6.8E-16	2.5E-09	3.8E-21	8.5E-32	8.9E-26	1.7E-08	1.5E-09	2.1E-38		1.0E+02
10	5.3E-01	1.4E-03	7.9E-01	1.1E-02	5.6E-01	6.3E-01	3.2E-01	9.2E-04	1.4E-13	

注：表中为卡方检验表，上三角为卡方检验值，下三角为 P 值。
Note: The table is a chi-square test table, the upper triangle is the chi-square test value, and the lower triangle is the P value.

表 6 联结系数 AC 值
Table 6 Table of coupling coefficient AC values

种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0.25								
3	0.20	0.29							
4	0.23	0.35	0.16						
5	0.18	0.27	0.16	0.20					
6	0.24	0.26	0.19	0.21	0.19				
7	0.27	0.23	0.26	0.23	0.21	0.31			
8	0.22	0.33	0.12	0.19	0.17	0.21	0.28		
9	0.40	0.29	0.40	0.43	0.40	0.32	0.36	0.43	
10	0.19	0.24	0.14	0.20	0.14	0.18	0.22	0.20	0.36

注：1. 红楠 *Machilus thunbergii*；2. 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii*；3. 华润楠 *Machilus chinensis*；4. 尖叶川杨桐 *Adinandra bockiana*；5. 毛棉杜鹃花 *Rhododendron moulmainense*；6. 米槭 *Castanopsis carlesii*；7. 青榨槭 *Acer davidii*；8. 杉木 *Cunninghamia lanceolata*；9. 鸭公树 *Neolitsea chunii*；10. 长毛山矾 *Symplocos dolichotricha*。

3 讨论与结论

本研究对肇庆新岗国有林场 1 hm²样地内乔木层植物进行的系统调查中,共记录到 103 种乔木植物,乔木区系成分复杂。从重要值来看,杉木、华润楠、毛锦杜鹃花占据明显优势。采用 7 种种群分布格局分析指标综合分析优势种的分布格局,10 个优势种群均表现为聚集分布,说明该物种对群落内的环境越适应,群落越稳定,而当生态系统中的物种过多或过密时,可能会导致资源竞争加剧、生态系统稳定性降低等问题。因此,在保护生态系统时,需要综合考虑物种聚集程度、资源利用效率、物种间相互作用等多种因素,以实现生态系统的可持续发展。种间联结性反映了不同物种间的相关程度及对生境的适应状况,在 X^2 检验的基础之上,采用联结系数 AC 定性分析种间的联结性强度,综合结果表明样地内的乔木植物种间关联性较强,群落稳定性强。

肇庆新岗国有林场 1 hm²样地内乔木植物组成丰富,覆盖度较高,是该地区植物群落的重要组成部分。乔木植物对光、热、气、水、土等生态因子具有重要调节作用,对构建森林生态系统、维持水文循环与生态平衡具有重要作用。

参考文献

- [1] HAIMEI L, XU Z, WEIHAN K, et al. Physiological response of urban greening shrubs to atmospheric particulate matter pollution: An integral view of ecosystem service and plant function[J]. *Environmental and experimental botany*, 2023, 213.
- [2] 王琨,王竞娴,田朝阳,等. 乔木覆盖率及形态特征对公园夏季微气候舒适性的调节作用:以郑州市绿荫公园为例[J]. *中国园林*, 2022, 38(11): 94-99.
- [3] 唐尚杰,刘美洁,黄钰辉,等. 基于无人机遥感的天然次生林林窗格局与林下生物多样性关系[J]. *林业与环境科学*, 2023, 39(1): 30-40.
- [4] 朱建华,田宇,李奇,等. 中国森林生态系统碳汇现状与潜力[J]. *生态学报*, 2023, 43(9): 3442-3457.
- [5] 黄国兵. 乔木在城市园林绿化中的应用研究综述[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(4): 2133-2135.
- [6] 吴初平,袁位高,盛卫星,等. 浙江省典型天然次生林主要树种空间分布格局及其关联性[J]. *生态学报*, 2018, 38(2): 537-549.
- [7] 黄阶华,吴林芳,钟慧聪,等. 广东南山保护区常绿阔叶林主要树种空间分布格局和空间关联[J]. *林业与环境科学*, 2022, 38(1): 28-34.
- [8] 刘阳,金莹杉,王平玺,等. 北京小西山 3 种人工林天然更新群落谱系结构及主要树种种间关联性分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2023, 32(4): 54-62.
- [9] 孙红斌,甘先华,赵晴,等. 深圳田头山自然保护区森林群落优势种生态位特征[J]. *林业与环境科学*, 2022, 38(1): 75-86.
- [10] 何应兆,施文清. 台湾冻顶乌龙茶种植技术与管理[J]. *南方农业*, 2016, 10(6): 4-5.
- [11] 丁茂,郑标,王丽,等. 鹧鸪坪国家级自然保护区草本植物多样性及空间分布[J]. *生态学报*, 2022, 42(19): 8015-8030.
- [12] JADHAV J. Importance value index(IVI) study of some herbaceous plants from north-east malegaon forest of nashik district (MS), India[J]. *Ecology, Environment and conservation paper*, 2021, 27(4): 1909-1912.
- [13] 陈声文,任海保,童光蓉,等. 钱江源国家公园木本植物物种多样性空间分布格局[J]. *生物多样性*, 2023, 31(7): 5-17.