

季风常绿阔叶林不同恢复阶段群落 优势物种的空间分布格局

李智宏¹, 徐崇华¹, 刘万德^{2*}, 王妍³, 卯光宇³

(1 云南太阳河省级自然保护区管理局, 云南普洱 665000; 2 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 3 西南林业大学环境科学与工程学院, 昆明 650224)

摘要: 运用相邻格子法及聚集度指标测定法, 在植被调查的基础上, 对云南普洱不同恢复阶段(恢复 15a、30a 和老龄林)季风常绿阔叶林的刺栲(*Castanopsis hystrix*)、短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa*)和红木荷(*Schima wallichii*) 3 个优势物种进行种群空间分布格局研究, 以阐明种群分布格局与生境条件、种群年龄结构的动态关系, 揭示种群发育过程中空间动态与生物学机理。结果发现: 在所有恢复阶段内, 刺栲、短刺栲、红木荷均为聚集分布。在不同尺度下, 刺栲在原始林中 10 m×10 m 尺度下为均匀分布, 而在恢复 15 年中 20 m×20 m 尺度为随机分布; 红木荷在 10 m×20 m 尺度下为均匀分布, 在其它所有恢复阶段和尺度下 3 个物种均为聚集分布。研究结果表明, 不同恢复阶段和不同尺度下刺栲、短刺栲和红木荷 3 个优势物种绝大多数为聚集分布, 说明聚集分布为 3 个优势种的基本属性。

关键词: 优势物种; 空间格局; 恢复阶段; 季风常绿阔叶林

中图分类号: Q948.15⁺4

文献标志码: A

Spatial Distribution of Dominant Species in Monsoon Evergreen Broad-leaved Forest of Different Restoration Stages

LI Zhihong¹, XU Chonghua¹, LIU Wande^{2*}, WANG Yan³, MAO Guangyu³

(1 Yunnan Taiyanghe Nature Reserve Administration, Pu'er, Yunnan 665000, China; 2 Research Institute of Resources Insect, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 3 Environmental Science and Engineering College of Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Spatial pattern of plant populations is the result of the interaction between the biological characteristics and environmental factors, and also is the important factor which decides community composition, structure and dynamic. After an investigation on nine 900 m² plots (three plots in restoration 15 year, restoration 30 year and old growth forest, respectively), a study on the spatial distribution pattern of *Castanopsis hystrix*, *Castanopsis echidnocarpa* and *Schima wallichii* population and their dynamics were made by the tests of discrete distribution pattern. The results showed that spatial distribution patterns of *C. hystrix*, *C. echidnocarpa* and *S. wallichii* population were all the clumped distribution in all three communities. We also found that spatial distribution patterns of *C. hystrix*, *C. echidnocarpa* and *Schima wallichii* population were all the clumped distribution in all sampling areas except for *C. hystrix* in 10 m×10 m in primary forest and in 20 m×20 m in restoration 15 years community and for *S. wallichii* in 10 m×20 m in

收稿日期: 2014-08-04; 修改稿收到日期: 2014-10-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200461, 31370592, 31100520)

作者简介: 李智宏(1974—), 男, 工程师, 主要从事自然保护区管理与研究工作。E-mail: Lzhllx@126.com

* 通信作者: 刘万德, 博士, 副研究员, 主要从事恢复生态学、功能生态学、生物多样性保育研究。E-mail: liuwande@126.com

restoration 30 years community. The results indicated clumped distribution was the basic attribute of spatial distribution of *C. hystrix*, *C. echidnocarpa* and *S. wallichii* population.

Key words: dominant species; spatial pattern; restoration stage; monsoon evergreen broad-leaved forest

种群空间格局是决定群落组成、结构与动态的重要因素,一直是生态学研究热点之一^[1]。分析物种的空间格局有助于认识其潜在的生态学过程(如种子扩散、种内和种间竞争、干扰等)、种群的生物学特性(如生活史策略、喜光、耐阴等)及其与环境因子之间的相互关系(如小生境、植物与生长环境之适合度、环境异质性等)^[2-5]。物种(特别是优势物种)的空间格局对物种的生长、繁殖、死亡、再生、资源利用以及林窗的形成等具有显著影响^[2-3,6]。优势种对群落结构塑造和群落环境形成有明显的控制作用^[7],既是群落骨架,又决定了群落外貌和群落类型^[5],制约着群落资源配置的异化过程^[8]。因此,分析优势物种的空间格局有助于认识群落结构的形成与维持机制,揭示种群分布格局成因及种群生活史对策,阐明种群及群落的动态特征及种群与环境互作过程,为种群保护及恢复措施的制定提供科学依据。

季风常绿阔叶林是中国最复杂、生产力最高、生物多样性最丰富的地带性植被类型之一,对保护环境和维持全球碳平衡等都具有极重要的作用,尤其是在中国亚热带地区的生态环境建设,乃至全国的可持续发展中占据举足轻重的地位^[9]。近年来,尽管有关季风常绿阔叶林开展了大量的研究工作^[9-21],但有关季风常绿阔叶林物种空间分布格局的研究还没有开展,特别是退化生态系统中优势物种的空间分布格局研究。本研究通过对云南普洱不同恢复阶段(恢复 15a、30a 和老龄林)季风常绿阔叶林优势物种的调查,分析了其空间分布格局特征,探索了其分布格局随群落恢复及尺度的变化特征,旨在阐明种群分布格局与生境条件、种群年龄结构的动态关系,揭示种群发育过程中空间动态与生物学机理,为保护和合理经营利用提供依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于云南省中南部的普洱市,地理位置为 22°02'~24°50'N,99°09'~102°19'E,海拔 317~3 370 m。该区地处热带北缘向南亚热带的过渡地区,气候主要受印度洋及太平洋季风控制,形成夏秋季多雨、冬春季干旱、年温差小、日温差大、干湿季明显的气候特征。该地区年平均气温 17.7℃,年均

降雨量 1 547.6 mm,雨水主要集中在 5~10 月,占全年降雨量的 87.3%,年平均蒸发量 1 590 mm,相对湿度 82%。土壤以赤红壤为主。

季风常绿阔叶林是该地区主要的森林植被类型之一。由于森林距离人类活动区域较近,季风常绿阔叶林常被砍伐作为薪炭、改造成茶园及农地等。但近年来,随着各种森林保护措施出台,森林得以不断恢复,形成了不同恢复时间的季风常绿阔叶林群落。恢复 15a 群落主要分布在依像镇的大寨小平坝,海拔范围在 1 400~1500 m 之间,坡位中上,坡度在 18°~25°之间,乔木层盖度在 65%~70%之间,优势种为短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa*)、刺栲(*C. hystrix*)、红木荷(*Schima wallichii*)、杯状栲(*C. calathiformis*),主要组成物种有小果栲(*C. fleuryi*)、母猪果(*Helicia nilagirica*)、华南石栎(*Lithocarpus fenestratus*)、香面叶(*Lindera communis*)等;灌木层盖度在 40%~50%之间,主要组成物种以乔木幼树为主,如杯状栲;草本层盖度在 15%~25%之间,主要组成物种有毛果珍珠茅(*Scleria levis*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、山菅兰(*Dianella ensifolia*)等。恢复 30a 群落主要分布在翠云区信房水库,海拔范围在 1 350~1 370 m 之间,坡位中上,坡度在 20°~25°之间,乔木层盖度在 70%~85%之间,优势种为短刺栲、刺栲、华南石栎、红木荷,主要组成物种有红花木犀榄(*Olea rosea*)、粗壮润楠(*Machilus robusta*)、隐距越桔(*Vaccinium exaristatum*)等;灌木层盖度为 65%,绝大多数为乔木树种的幼树、幼苗,以短刺栲等占优势;草本层盖度在 65%~70%之间,主要组成物种有毛果珍珠茅、狗脊蕨、芒萁(*Dicranopteris pedata*)等。老龄林(>200a)主要位于菜阳河自然保护区,海拔范围在 1 250~1 600 m 之间,坡位中上,坡度在 5°~12°之间,乔木层盖度在 85%~95%之间,优势种主要为短刺栲、刺栲、杯状栲、红木荷,主要组成物种有截头石栎(*Lithocarpus truncatus*)、粗穗石栎(*Lithocarpus grandifolius*)、粗壮润楠等;灌木层盖度在 60%~65%,主要组成物种以乔木幼树为主,如杯状栲、短刺栲等;草本层盖度在 30%~45%,主要组成物种是云南复叶耳蕨(*Arachniodes henryi*)、毛果珍珠茅、绿苞山姜(*Alpinia bracteata*)等。

1.2 数据收集

通过对资料的收集及群落类型的实地考察,选择西部季风常绿阔叶林皆伐后不同自然恢复时期(恢复 15a、30a 及老龄林)群落设置调查样地。样地面积为 30 m×30 m,每个类型 3 个重复,共调查样地 9 块。利用网格法将样地分成 36 个 5 m×5 m 的小样方,对小样方内所有树高大于 1.3 m 的木本植物进行每木调查。调查内容包括物种名称、胸径、树高及冠幅等。普洱季风常绿阔叶林以短刺栲、刺栲、红木荷为优势物种。因此,在调查过程中,对以上 3 种物种进行每木定位。此外,按照机械布点法选择 18 个样方,在每个样方中心设置 2 m×2 m 的小样方进行幼苗调查及定位。植被调查的同时,记录样地所处生境特征,包括地理位置、海拔、坡度、坡向、坡位、林分郁闭度等。

1.3 数据处理

以样地内短刺栲、刺栲、红木荷个体定位数据为依据,应用相邻格子法,分 5 m×5 m、5 m×10 m、10 m×10 m、10 m×20 m、20 m×20 m 的样方格子分别进行统计分析。测定种群空间分布格局的方法很多,本研究采用聚集度指标进行测定。具体方法及参数意义见文献[22~25]。

2 结果与分析

2.1 种群实际分布格局

根据样地调查所得数据,绘制了刺栲、短刺栲、红木荷的实际分布散点图(图 1~图 3)。由图 1 可见,刺栲种群在恢复 15a 群落中仅在 2 个样地中出现,并且个体数量相对较少,而在恢复 30a 群落中则个体数量较多,老龄林也有 2 个样地中个体数量相对较少。对于短刺栲种群,除老龄林中一个样地外,其余样地中个体数量均较多,散布于样地中的绝大多数地方,并在局部呈现密集分布(图 2)。红木荷在所有的调查样地中均出现,但个体数量少于短刺栲,其实际分布状态则如图 3 所示。

2.2 不同恢复阶段 3 种优势物种空间分布格局

利用格子样方法对季风常绿阔叶林优势种群刺栲、短刺栲、红木荷种群空间分布格局进行了理论拟合和格局强度判定(表 1)。从表 1 可以看出,在 3 个恢复阶段,刺栲、短刺栲及红木荷 3 种优势种均呈聚集分布,说明聚集分布是刺栲、短刺栲、红木荷 3 种优势种群在季风常绿阔叶林空间分布的基本状态属性。

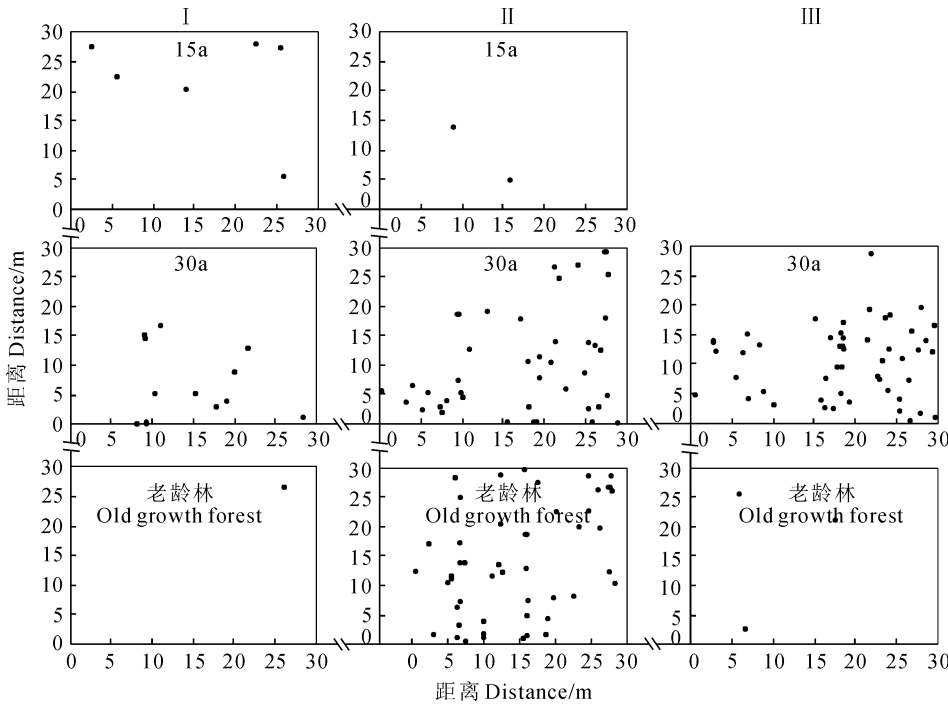


图 1 刺栲种群的实际分布状态

I~III 分别为样地编号;下同

Fig. 1 Spatial distribution status on spots of *C. hystrix* population

I—III sample plot; The same as below

2.3 不同恢复阶段种群空间分布格局随尺度的变化

利用可变尺度相邻格子样方法对季风常绿阔叶林 3 种优势物种种群空间分布格局进行理论拟合和

格局强度判定(表 2)。在所有恢复阶段和尺度下,除刺栲在恢复 15 年 20 m×20 m 尺度为随机分布、原始林 10 m×10 m 尺度下为均匀分布、红木荷在

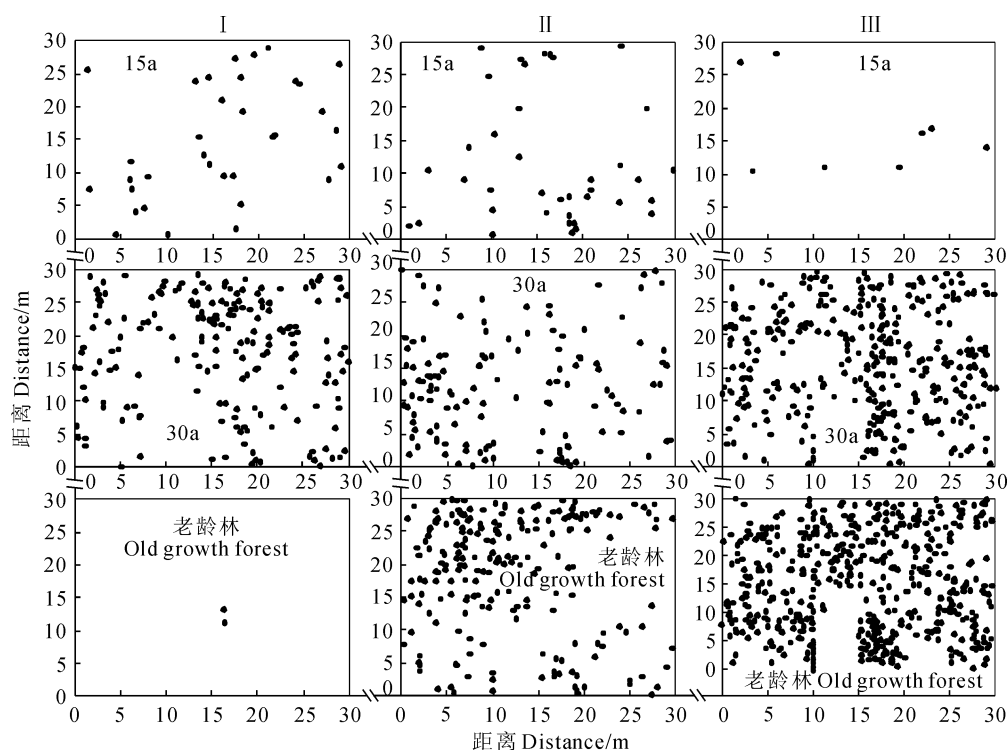


图 2 短刺栲种群的实际分布状态

Fig. 2 Spatial distribution status on spots of *C. echidnocarpa* population

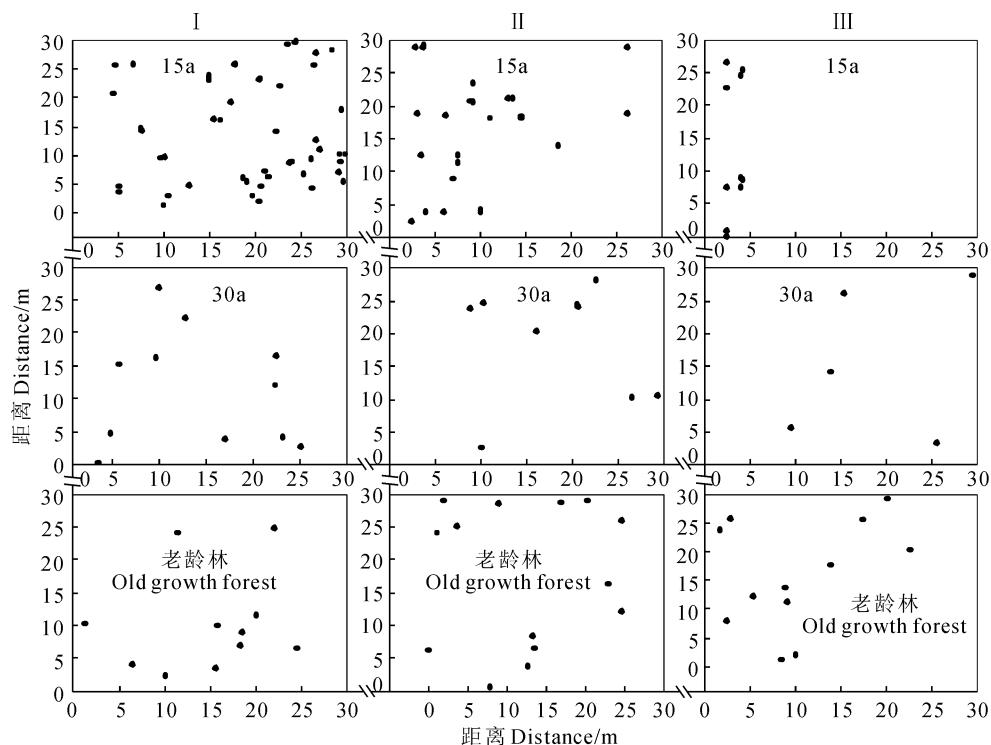


图 3 红木荷种群的实际分布状态

Fig. 3 Spatial distribution status on spots of *S. wallichii* population

表 1 不同恢复阶段 3 种优势物种种群分布格局

Table 1 Spatial distribution patterns of three dominant species at different restoration stages

恢复阶段 Restoration stage	种群 Population	种群多度 均值 $\bar{X}$	扩散系数 C	聚集度 指数 I	平均拥挤度 系数 M^*	聚块性 指数 PAI	聚集指数 C_a	负二项 分布指数 K	分布型 Pattern
15a	刺栲 <i>C. hystrix</i>	0.10	3.66	2.66	2.76	27.11	9.82	0.04	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	1.14	7.33	6.33	7.47	6.56	0.88	0.18	C
	红木荷 <i>S. wallichii</i>	2.20	2.69	1.69	3.89	1.77	0.45	1.31	C
30a	刺栲 <i>C. hystrix</i>	1.16	8.13	7.13	8.28	7.16	0.86	0.16	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	8.59	2.47	1.47	10.06	1.17	0.12	5.86	C
	红木荷 <i>S. wallichii</i>	0.27	9.16	8.16	8.43	31.39	3.72	0.03	C
老龄林 Old growth forest	刺栲 <i>C. hystrix</i>	0.48	9.37	8.37	8.86	18.39	2.08	0.06	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	7.53	3.82	2.82	10.34	1.37	0.13	2.67	C
	红木荷 <i>S. wallichii</i>	0.35	22.54	21.54	21.89	62.22	2.84	0.02	C

表 2 不同取样面积 3 种优势物种种群分布格局比较

Table 2 Spatial distribution patterns of three dominant species in different sample areas

恢复阶段 Restoration stage	种群 Population	样方 Sample plots/m ²	$\bar{X}$	扩散系数 C	聚集度 指数 I	平均拥挤度 系数 M^*	聚块性 指数 PAI	聚集 指数 C_a	负二项分布 指数 K	分布型 Pattern
15a	刺栲 <i>C. hystrix</i>	5×5	0.10	3.66	2.66	2.76	27.11	9.82	0.04	C
		5×10	0.20	3.22	2.22	2.42	11.90	4.91	0.09	C
		10×10	0.41	1.75	0.75	1.16	2.84	2.45	0.54	C
		10×20	0.67	1.18	1.28	1.85	1.27	1.50	3.67	C
		20×20	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	2.0E+15	R
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	5×5	1.14	7.33	6.33	7.47	6.56	0.88	0.18	C
		5×10	2.28	2.33	1.33	3.60	1.58	0.44	1.72	C
		10×10	3.42	1.73	0.73	4.15	1.21	0.29	4.66	C
		10×20	9.58	9.14	8.14	17.72	1.85	0.10	1.18	C
		20×20	17.00	24.00	23.00	40.00	2.35	0.06	0.74	C
	红木荷 <i>S. wallichii</i>	5×5	2.20	2.69	1.69	3.89	1.77	0.45	1.31	C
		5×10	2.20	2.13	1.13	3.33	1.51	0.45	1.95	C
		10×10	4.41	2.49	1.49	5.90	1.34	0.23	2.96	C
		10×20	8.67	7.71	6.71	15.38	1.77	0.12	1.29	C
		20×20	17.00	24.00	23.00	40.00	2.35	0.06	0.74	C
	刺栲 <i>C. hystrix</i>	5×5	1.16	8.13	7.13	8.28	7.16	0.86	0.16	C
		5×10	2.31	2.18	1.18	3.50	1.51	0.43	1.96	C
		10×10	4.63	2.67	1.67	6.30	1.36	0.22	2.77	C
		10×20	9.83	9.29	8.29	18.12	1.84	0.10	1.19	C
		20×20	24.33	35.00	34.00	58.33	2.40	0.04	0.72	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	5×5	8.59	2.47	1.47	10.06	1.17	0.12	5.86	C
		5×10	17.19	15.62	14.62	31.81	1.85	0.06	1.18	C
		10×10	34.37	34.16	33.16	67.53	1.96	0.03	1.04	C
		10×20	70.75	76.09	75.09	145.84	2.06	0.01	0.94	C
		20×20	132.33	197.00	196.00	328.33	2.48	0.01	0.68	C
30a	红木荷 <i>S. wallichii</i>	5×5	0.27	9.16	8.16	8.43	31.39	3.72	0.03	C
		5×10	0.54	8.06	7.06	7.60	14.15	1.86	0.08	C
		10×10	1.07	4.72	3.72	4.80	4.46	0.93	0.29	C
		10×20	2.08	0.56	-0.44	1.65	0.79	0.48	-4.77	U
		20×20	3.00	3.00	2.00	5.00	1.67	0.33	1.50	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	5×5	0.27	9.16	8.16	8.43	31.39	3.72	0.03	C
		5×10	0.54	8.06	7.06	7.60	14.15	1.86	0.08	C

续表 2 Continued Table 2

老齡林 Old growth forest	刺栲 <i>C. hystrix</i>	5×5	0.48	9.37	8.37	8.86	18.39	2.08	0.06	C
		5×10	0.96	3.56	2.56	3.53	3.66	1.04	0.38	C
		10×10	1.93	0.28	-0.72	1.20	0.62	0.52	-2.66	U
		10×20	23.25	23.98	22.98	46.23	1.99	0.04	1.01	C
		20×20	9.33	12.50	11.50	20.83	2.23	0.11	0.81	C
	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i>	5×5	7.53	3.82	2.82	10.34	1.37	0.13	2.67	C
		5×10	15.06	13.70	12.70	27.76	1.84	0.07	1.19	C
		10×10	42.79	43.97	42.97	85.76	2.00	0.02	1.00	C
		10×20	61.50	66.00	65.00	126.50	2.06	0.02	0.95	C
		20×20	117.00	174.00	173.00	290.00	2.48	0.01	0.68	C
	红木荷 <i>S. wallichii</i>	5×5	0.35	22.54	21.54	21.89	62.22	2.84	0.02	C
		5×10	0.70	14.67	13.67	14.38	20.43	1.42	0.05	C
		10×10	1.41	4.66	3.66	5.07	3.60	0.71	0.38	C
		10×20	3.20	1.06	0.06	3.26	1.02	0.31	57.60	C
		20×20	6.33	8.00	7.00	13.33	2.11	0.16	0.90	C

注: C. 聚集分布; R. 随机分布; U. 均匀分布。

Note: C. Clumped distribution; R. Random distribution; U. Uniform distributing.

10 m×20 m 尺度下为均匀分布外, 3 个物种均为聚集分布(表 2)。刺栲和红木荷在所有群落中聚集强度均随取样尺度的增大而变小, 而短刺栲在恢复 15 年群落中聚集强度均随取样尺度的增大而变小, 但在恢复 30 年及老齡林群落中聚集强度则随取样尺度的增大而增大。在相同尺度下, 刺栲随群落恢复, 其聚集强度减弱, 而短刺栲和红木荷的聚集强度则随群落恢复逐渐增大(表 2)。

3 讨 论

物种空间分布格局是物种与环境长期相互适应、相互作用的结果, 它不仅决定于物种自身的形态结构、生理生态特性, 同时也与自然生境条件及其所处群落中其他种群的竞争排斥等生态效应密切相关^[25-26]。不同恢复阶段季风常绿阔叶林 3 种优势物种(刺栲、短刺栲和红木荷)均呈聚集分布, 同时, 在不同尺度下 3 种物种种群空间分布格局也呈现聚集分布。

物种的空间分布格局受多种因素影响, 如环境因素、物种本身生物特性、生态学特性、形态结构、生理特性等等^[23, 27-30]。然而, 由于同一植物种的个体对环境等条件的要求基本上是一致的, 自然环境条件对格局形成的作用较小, 因此, 种群生物学特征在形成物种空间格局过程中发挥了重要作用^[31]。本研究中, 刺栲、短刺栲、红木荷 3 种物种聚集分布的空间分布格局形式与物种自身的生物学特性密切相关。首先, 3 种物种种子特征是其聚集分布的重要原因之一。作为壳斗科的刺栲和短刺栲, 其果实为

坚果, 而山茶科的红木荷果实则为蒴果, 较重的果实决定了其种子传播方式为重力传播。因此, 3 种物种种子成熟后, 均落于母树周围, 除少量由于动物取食被带走外, 绝大多数种子将在母树周围发芽, 形成幼苗, 从而导致 3 种物种个体呈现聚集分布状态。其次, 3 种物种较强的萌生能力也是其个体呈现聚集分布的重要原因。研究表明, 3 种物种均具有较强的萌生能力, 并且萌生方式主要为根萌生和干基萌生, 萌生更新是其主要的更新方式之一^[15]。由于萌生并没有改变个体的原有地理位置, 同时, 尽管萌生个体间存在较强的竞争和自疏作用, 但其保留个体数量仍较多, 从而导致个体分布更加密集, 其聚集程度更高。可见, 植物物种生物学特性在物种个体分布中具有重要作用。

此外, 本研究结果也发现, 群落的恢复时间并没有改变物种的分布形式。在所有的 3 种群落中, 刺栲、短刺栲、红木荷均为聚集分布。这与 3 种物种的萌生更新具有密切关系。由于本研究所选的干扰方式为皆伐, 而皆伐留下的伐桩, 为物种萌生留下了基础。皆伐后, 3 种物种伐桩或根部芽原基通过内部激素调整, 吸收根部供应的养分迅速萌发, 形成萌枝, 占领采伐迹地。由于萌生植株具有明显的竞争优势^[32], 其生长比实生植株更快, 能迅速占据生境、快速恢复有性繁殖。因此, 在恢复的植被中, 其植被更新方式以萌生更新为主。正是皆伐后萌生的这种更新方式, 导致了 3 种物种个体分布格局没有发生变化, 仍为聚集分布。

由于种群个体数、所处生境条件的异质性以及

种内、种间关系的变化等因素均可引起种群分布格局产生相应的变化。所以,种群空间分布格局具有尺度依赖性^[33]。在研究种群空间分布格局时人为地确定某个单位尺度进行调查,所得结果只能代表那个尺度上的格局强度^[34]。因此,种群分布格局的研究不应该在单一随机性取样尺度上进行,集群性发生的真正尺度只能通过对同一种群进行多次不同样方大小的反复取样来判定^[35]。由于本研究过程中将研究对象(刺栲、短刺栲、红木荷)每一个个体都进行了定位,所以可按任意大小进行取样,这样便可以考察任意尺度上的 3 种物种种群的空间分布状况,这样格局强度和格局规模的判断更具有真实性。而本文的研究结果发现,取样尺度并没有改变物种

的分布格局,3 种物种在 3 种取样面积下均为聚集分布(除刺栲在恢复 15 年 20 m×20 m、原始林 10 m×10 m 尺度、红木荷在 10 m×20 m 尺度下外)。这说明聚集分布格局是刺栲、短刺栲和红木荷 3 种群空间分布的基本属性。种群的聚集型分布,是生存与发展的一种策略。聚集分布使种内竞争大于种间竞争,激烈的种内竞争可以淘汰一些较弱的个体,增强剩余个体的竞争能力,有利于种群的进化;另一方面,剩余个体可以利用充裕的空间和资源,有利于种群的健康发展。

总之,刺栲、短刺栲、红木荷在本文研究的恢复阶段及尺度下,其个体分布均为聚集分布,物种生物学特性在其个体分布方式上起到了决定性作用。

参考文献:

- [1] YANG H(杨 慧), LOU A R(娄安如), GAO Y J(高益军), *et al.* Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the Dongling Mountain region in Beijing[J]. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 2007, **31**(2): 272—282(in Chinese).
- [2] HE F, LEGENDRE P, LAFRANKIE J V. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1997, **8**(1): 105—114.
- [3] DRUCKENBROD D L, SHUGART H H, DAVIES I. Spatial pattern and process in forest stands within the Virginia piedmont[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2005, **16**(1): 37—48.
- [4] NATHAN R. Long-distance dispersal of plants[J]. *Science*, 2006, **313**(5 788): 786—788.
- [5] LI L(李 立), CHEN J H(陈建华), REN H B(任海保), *et al.* Spatial patterns of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* in mid-subtropical broadleaved evergreen forest in Gutianshan National Reserve, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2010, **34**(3): 241—252(in Chinese).
- [6] CONDIT R, ASHTON P S, BAKER P, *et al.* Spatial patterns in the distribution of tropical tree species[J]. *Science*, 2000, **288**(5 470): 1 414—1 418.
- [7] MIAO N(缪 宁), LIU SH R(刘世荣), SHI Z M(史作民), *et al.* Spatial patterns of dominant tree species in sub-alpine *Betula abies* forest in West Sichuan of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(6): 1 263—1 270(in Chinese).
- [8] WEI Q SH(尉秋实), WANG J H(王继和), LI CH L(李昌龙), *et al.* A preliminary study on the distribution patterns and characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus* populations in different desert environments[J]. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 2006, **29**(4): 591—598(in Chinese).
- [9] LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), LI SH F(李帅锋), *et al.* Species-area relationship at different succession stages of monsoon evergreen broad-leaved forest in south subtropical area of Yunnan Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(2): 317—322(in Chinese).
- [10] LI SH F(李帅锋), LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), *et al.* Niches and interspecific associations of dominant tree populations at different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2011, **30**(3): 508—515(in Chinese).
- [11] LI SH F(李帅锋), LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), *et al.* Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(18): 5 653—5 662(in Chinese).
- [12] LI SH F(李帅锋), SU J R(苏建荣), LIU W D(刘万德), *et al.* Diversity and distribution of vascular epiphytes in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest communities[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2011, **24**(2): 151—158(in Chinese).
- [13] LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), ZHANG ZH J(张志钧), *et al.* Effect of restoration strategy and time on community characteristic of monsoon evergreen broad-leaved forest[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2011, **24**(1): 1—7(in Chinese).
- [14] LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), LI SH F(李帅锋), *et al.* Stoichiometry study of C, N and P in plant and soil at different successional stages of monsoon broad-leaved evergreen forest in Pu'er, Yunnan Province[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(23): 6 581—6 590(in Chinese).

- [15] SU J R(苏建荣), LIU W D(刘万德), ZHANG ZH J(张志钧), *et al.* Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(3): 805—814(in Chinese).
- [16] LIU W P(刘文平), CAO H L(曹洪麟), LIU W(刘 卫), *et al.* Study on diversity of monsoon evergreen broad leaved forest in different kinds of habitat in Dinghushan[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2011, **39**(26): 16 159—16 163(in Chinese).
- [17] ZHOU G Y(周国逸), LUO Y(罗 艳), OUYANG X J(欧阳学军), *et al.* Analysis on the concentration of some sediment elements in their transport process through monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem in Dinghushan, Guangdong Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(7): 1 408—1 414(in Chinese).
- [18] ZHOU X Y(周小勇), HUANG ZH L(黄忠良), OUYANG X J(欧阳学军), *et al.* Succession of the original *Castanopsis chinensis*-*Cryptocarya chinensis*-*Schima superba* community of monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan nature reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(1): 37—44(in Chinese).
- [19] SONG J(宋 娟), LI R H(李荣华), ZHU SH D(朱师丹), *et al.* Leaf functional traits of ferns from different habitats in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Mountain[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2013, **21**(6): 489—495(in Chinese).
- [20] ZHANG N(张 娜), QIAO Y N(乔玉娜), LIU X ZH(刘兴诏), *et al.* Nutrient characteristics in incident rainfall, throughfall, and stemflow in monsoon evergreen broad-leaved forest at Dinghushan[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2010, **18**(5): 502—510(in Chinese).
- [21] ZHANG CH(张 池), HUANG ZH L(黄忠良), SHI J H(史军辉), *et al.* Dynamics and causes of woody plant death in the monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan nature reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(8): 2 457—2 462(in Chinese).
- [22] WEI X Z(魏新增), HUANG H D(黄汉东), JIANG M X(江明喜), *et al.* Quantitative characteristics and spatial distribution patterns of *Euptelea pleiospermum* populations in riparian zones of the Shennongjia area, central China[J]. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 2008, **32**(4): 825—837(in Chinese).
- [23] ZHANG W H(张文辉), WANG Y P(王延平), KANG Y X(康永祥), *et al.* Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mt. [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(2): 207—212(in Chinese).
- [24] FAN F R(范繁荣), PAN B ZH(潘标志), MA X Q(马祥庆), *et al.* A study on structure and spatial distribution pattern of *Artocarpus hypargyreus* population[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2008, **21**(2): 176—181(in Chinese).
- [25] LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), WANG M J(王梦君), *et al.* Spatial distribution pattern of *Taxus yunnanensis* population in north-west Yunnan Province[J]. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 2012, **27**(6): 131—138(in Chinese).
- [26] HAO CH Y(郝朝运), ZHANG X P(张小平), LI W L(李文良), *et al.* Spatial distribution of *Monimopetalum chinense* populations in different forest types[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(6): 2 900—2 908(in Chinese).
- [27] LAN G Y(兰国玉), HU Y H(胡跃华), CAO M(曹 敏), *et al.* Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: species compositions and spatial distribution pattern[J]. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 2008, **32**(2): 287—298(in Chinese).
- [28] SHEN L(沈 林), YANG H(杨 华), KANG X G(亢新刚), *et al.* Effects of selective cutting intensity on spatial distribution pattern of natural spruce-fir forests[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology* (中南林业科技大学学报), 2013, (1): 68—74(in Chinese).
- [29] ZHAO L Q(赵丽琼), HUANG H G(黄华国), LIANG D SH(梁大双), *et al.* Spatial distribution pattern of *Picea crassifolia* population in Dayekou, Gansu Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2010, **32**(4): 59—64(in Chinese).
- [30] ZHAO CH M(赵常明), CHEN Q H(陈庆恒), QIAO Y K(乔永康), *et al.* Structure and spatial pattern of a natural *Abies faxoniana* population on the eastern edge of Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 2004, **28**(3): 341—350(in Chinese).
- [31] NIU L L(牛丽丽), YU X X(余新晓), LIU SH Y(刘淑燕), *et al.* Life history characteristics and spatial distribution of *Pinus tabulaeformis* population in Songshan Nature Reserve of Beijing[J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2008, **30**(s2): 17—21(in Chinese).
- [32] VIEIRA D L M, SCARIOT A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration[J]. *Restoration Ecology*, 2006, **14**(1): 11—20.
- [33] WANG B Y(王本洋), YU SH X(余世孝). Multi-scale analyses of population distribution patterns[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2005, **29**(2): 235—241(in Chinese).
- [34] LI M H(李明辉), HE F H(何风华), LIU Y(刘 云), *et al.* Spatial distribution pattern of tree individuals in the schrek spruce forest, northwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(5): 1 000—1 006(in Chinese).
- [35] XIE Z Q(谢宗强), CHEN W L(陈伟烈), LIU ZH Y(刘正宇), *et al.* Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population [J]. *Bulletin of Botany* (植物学报), 1999, **41**(1): 95—101(in Chinese).