

广东鹅凰嶂自然保护区杜鹃红山茶种群结构与空间分布格局*

李辛雷^{1,2} 孙振元^{2**} 李纪元¹ 徐翊³ 罗建³

(¹中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; ²中国林业科学研究院林业研究所林木遗传育种国家重点实验室, 北京 100091; ³广东鹅凰嶂省级自然保护区, 广东阳春 529600)

摘要 研究了广东鹅凰嶂省级自然保护区杜鹃红山茶天然种群的基径、高度和冠幅结构, 应用扩散系数、负二次指数、Cassie 指数、丛生指数、平均拥挤度、聚块性指数和格林指数等聚集度指标测定了种群空间分布格局及其动态. 结果表明: 在天然分布区内, 杜鹃红山茶种群以成年树为主体, 幼苗严重缺乏, 表现为衰退趋势, 但不同地段中种群的径级、高度和冠幅结构不完全相同. 不同地段中杜鹃红山茶种群空间分布格局表现为聚集分布或随机分布; 在种群生长过程中, 分布格局从聚集型向随机型转变.

关键词 杜鹃红山茶 种群结构 分布格局 聚集强度

文章编号 1001-9332(2013)08-2115-07 **中图分类号** S718 **文献标识码** A

Population structure and spatial distribution pattern of *Camellia azalea* in E' huangzhang Nature Reserve of Guangdong, China. LI Xin-lei^{1,2}, SUN Zhen-yuan², LI Ji-yuan¹, XU Yi³, LUO Jian³ (¹Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; ²State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; ³E' huangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong, Yangchun 529600, Guangdong, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2013, 24(8): 2115-2121.

Abstract: This paper studied the structures of basal diameter, height and canopy width of *Camellia azalea* population in E' huangzhang Nature Reserve of Guangdong. The spatial distribution patterns and dynamics of the population were measured by applying aggregate indices including disperse coefficient, negative binomial distribution, Cassie index, clumping index, mean crowding, patch index and Green index. The results showed that in the natural distribution region, the population was mainly composed of adult trees, and was in declining due to seriously lack of seedlings. The structures of diameter, height and canopy width were not identical among different plots. In the plots, the spatial distribution pattern of *C. azalea* population showed clump or random, and changed from clump to random with the development of the population.

Key words: *Camellia azalea*; population structure; distribution pattern; aggregation intensity.

杜鹃红山茶(*Camellia azalea*)又名张氏红山茶、杜鹃叶山茶,系山茶科山茶属珍稀濒危植物^[1],仅分布在我国广东省阳春市鹅凰嶂自然保护区内^[2].杜鹃红山茶为山茶属中少有的叶片全缘的物种,对研究山茶属亲缘关系及系统发育具有重要意义^[3].在适宜条件下,杜鹃红山茶一年四季均开花,尤以夏

秋季为盛花期,是山茶属中独有的长花期物种^[4].因此具有良好的市场前景.但是,随着杜鹃红山茶被发现利用,原有资源遭到了严重的人为破坏;同时,由于分布范围狭窄及生态环境恶化,目前其种群数量仅 1000 余株,已处于极度濒危状态.

研究濒危植物的种群结构及其分布格局,对于定量描述种群特征并揭示其成因^[5],阐述种群的动态变化^[6],探索种群衰退及致濒的外在因素具有重要意义^[7].目前,关于山茶属植物种群生态学的研究较少^[8-10],杜鹃红山茶种群结构与分布格局的研

* 国家自然科学基金项目(30800886)和科技部国际合作项目(S2011GR0257)资助.

** 通讯作者. E-mail: sunzy@263.net

2012-09-07 收稿,2013-05-28 接受.

究尚未见报道. 本研究以广东省阳春市鹅凰嶂自然保护区内杜鹃红山茶天然种群为对象, 分析其种群结构、分布格局及变化, 以期研究杜鹃红山茶濒危机制及制定科学的保护措施提供理论依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

鹅凰嶂自然保护区(21°50′36"—21°58′40" N, 111°21′29"—111°36′03" E)位于广东省阳春市西南部. 该地区属热带北缘雨林气候, 4—10月为雨季, 年均降雨量为3428.9 mm, 最高可达4752.2 mm. 年均气温22.1℃, 最高温38.4℃, 最低温-1.8℃. 年均日照时数1743.4 h, 无霜期达350 d. 成土母质为花岗岩, 土壤类型为红壤.

杜鹃红山茶分布在鹅凰嶂自然保护区红花潭溪流两岸, 其天然种群中优势种为大头茶(*Gordonia axillaris*)、铁榄(*Sinosideroxylon pedunculatum*)和红豆(*Ormosia hosiei*)等, 主要伴生植物有: 荷木(*Schima superba*)、杨桐(*Adinandra millettii*)、鸭掌木(*Schefflera octophylla*)、野牡丹(*Paeonia delavayi*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、鼠刺(*Itea chinensis*)、短序润楠(*Machilus breviflora*)、百日青(*Podocarpus nerifolius*)、鬼灯笼(*Clerodendrum fortunatum*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、乌毛蕨(*Blechnum orientale*)和竹叶兰(*Arundina graminifolia*).

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 在对杜鹃红山茶种群全面勘察的基础上, 根据其分布情况, 选择9个代表地段, 每地段设置500 m²的样地, 每个样地划分为5 m×5 m的小样方20个. 对样地内的杜鹃红山茶每木调查, 记录其基径、株高和冠幅, 并测定杜鹃红山茶个体在样地中的坐标(*X*, *Y*). 同时调查各样地的坡度、坡向

等, 用GPS定位仪记录其经度、纬度和海拔(表1).

1.2.2 种群结构 年龄结构为反映种群动态的重要指标. 为避免破坏珍稀濒危植物, 目前多采用单株的大小结构代替年龄结构^[11-12]. 杜鹃红山茶属于常绿灌木, 基部分枝多, 无明显主干. 根据已有灌木种群的研究结果^[13-14]和杜鹃红山茶的生长特性, 本试验以灌丛为单株, 采用基径、株高和冠幅作为个体大小的指标研究种群大小结构. 径级划分方法: I级: 基径<10 mm, 为幼苗阶段; II级: 基径10~20 mm, 为幼树阶段; III级: 基径20~30 mm, 为小树阶段; IV级: 基径30~40 mm, 为中树阶段; V级: 基径>40 mm, 为大树阶段. 高度结构分级标准: I级: 株高<1.0 m; II级: 株高1.0~2.0 m; III级: 株高2.0~3.0 m; IV级: 株高3.0~4.0 m; V级: 株高>4.0 m. 冠幅结构分级标准: I级: 冠幅<0.5 m; II级: 冠幅0.5~1.0 m; III级: 冠幅1.0~1.5 m; IV级: 冠幅1.5~2.0 m; V级: 冠幅>2.0 m.

分别以杜鹃红山茶径级、高度级和冠幅级为横坐标, 各级个体数占植株总数的百分比为纵坐标, 绘制出自然分布区(T)及不同样地(A~I)的种群径级、高度和冠幅结构图^[14].

1.2.3 空间分布格局 采用扩散系数(*C*(*C*值用*t*检验)、负二项指数(*K*)、Cassie指数(1/*K*)、丛生指数(*I*₀)、平均拥挤度(*m*^{*})、聚块性指标(*m*^{*}/*m*)及格林指数(*GI*)等聚集度指标, 测定不同样地及其不同发育阶段杜鹃红山茶种群的分布格局类型和聚集强度^[15-17].

2 结果与分析

2.1 杜鹃红山茶种群结构

2.1.1 种群径级结构 由图1可以看出, 除B、H样地外, 其余样地的杜鹃红山茶个体数量随径级增加

表1 样地基本概况

Table 1 Basic status of plots

样地 Plot	种群数量 Number of population	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect
A	35	21°54′58"	111°31′06"	118	15	西南 Southwest
B	34	21°55′08"	111°31′07"	109	30	东北 Northeast
C	35	21°55′15"	111°31′09"	105	30	东北 Northeast
D	33	21°55′03"	111°31′08"	110	60	西南 Southwest
E	52	21°55′09"	111°31′07"	109	30	东南 Southeast
F	46	21°55′14"	111°31′10"	106	45	西南 Southwest
G	28	21°55′31"	111°31′48"	95	60	东北 Northeast
H	22	21°55′43"	111°31′56"	83	10	东南 Southeast
I	21	21°55′50"	111°32′11"	47	30	东北 Northeast

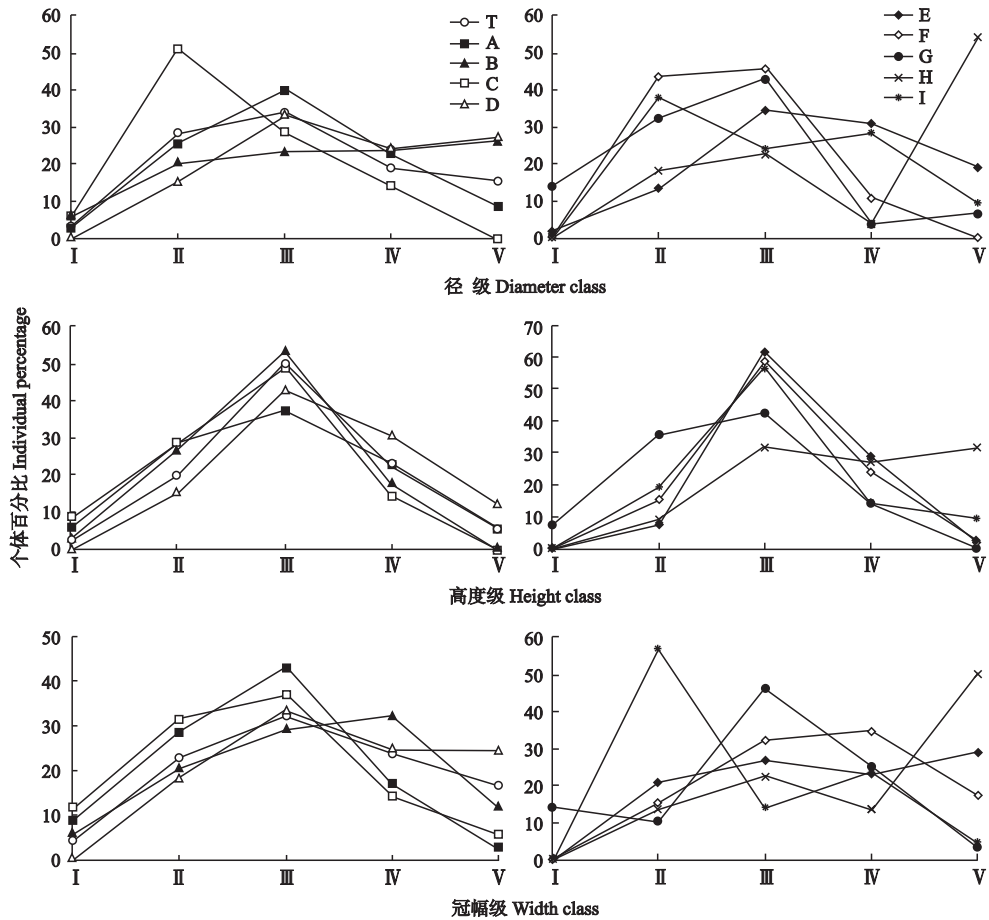


图1 不同样地杜鹃红山茶种群基径、高度和冠幅结构

Fig. 1 Basal diameter, height and canopy width structures of the *Camellia azalea* populations in different plots.

而增加,达到峰值以后减少; II ~ IV级的植株最多,其数量占总株数的 72.7% ~ 100%,其中 F 样地最高,全部为 II ~ IV 级植株; I 级幼苗数占 0 ~ 14.3%,部分样地无 I 级个体,种群内部幼苗缺乏。B 样地中, I 级幼苗数占 5.9%,个体数量随径级增加而增加, V 级时达到最高,占总株数的 26.5%; H 样地无 I 级幼苗,个体数量从 II 级开始随径级增加而波动增加, V 级占 54.6%。这表明 B、H 样地种群中、老龄树木占主体,幼苗较少或无,其余样地及自然分布区 II ~ IV 级植株占主体,幼苗严重缺乏,种群表现出衰退趋势。

2.1.2 种群高度结构 杜鹃红山茶自然分布区及多样地的种群高度分布规律基本相似(图 1),除 H 样地外,个体数量从 I 级开始随高度级的增加而增加,到 III 级后又随高度级的增加而减少,其株数主要集中在 II ~ IV 级,其间杜鹃红山茶比例为 68.2% ~ 98.1%;各样地中 I 级幼苗比例为 0 ~ 8.6%,大部分无 I 级个体,种群内部幼苗缺乏。H 样地无 I 级幼苗,中、老龄个体较多。这表明 H 样地的种群逐渐开

始衰退,其余样地及自然分布区的幼苗缺乏,表现出衰退趋势。

2.1.3 种群冠幅结构 除 E、H 样地外,其余样地的个体数量随冠幅级的增加而增加,达到峰值以后减少, II ~ IV 级的植株最多,占总株数的 75.8% ~ 95.2%; I 级幼苗数占 0 ~ 14.3%,部分样地无 I 级个体,种群内部幼苗缺乏。E、H 样地无 I 级幼苗,从 II 级开始个体数量随冠幅级增加而波动增加, V 级时最多,分别占总株数的 28.9% 和 50.0%,个体冠幅偏大,中、老龄个体较多。这表明 E、H 样地种群逐渐开始衰退,其余样地及自然分布区幼苗缺乏,表现出衰退趋势。

2.2 杜鹃红山茶种群分布格局及其动态

2.2.1 种群分布格局 应用聚集度指标对 9 个样地杜鹃红山茶种群空间分布格局进行分析,结果表明,各项聚集度指标值基本一致,样地 A、B、C、E、F、H 和 I 的杜鹃红山茶种群为聚集分布, t 检验达到极显著水平($t_{0.01} = 2.861$)。样地 D 和 G 种群的扩散系数 (C) 分别为 1.102 和 1.609, t 值均小于临界值 $t_{0.05}$

(2.093), 可视 C 值近似于 1; 两者丛生指数 (I_0)、格林指数 (GI)、Cassie 指数 ($1/K$) 近似于 0, 聚块性指数 (m^*/m) 近似于 1, 负二项指数 (K) 分别为 16.165 和 2.299 (表 2). 由此判定样地 D 和 G 的种群为随机分布. 不同指标值表示杜鹃红山茶种群空间分布格局的聚集强度不同. 从各项指标综合判断, 各样地

种群聚集强度依次为 $H>A>I>C>B>E>F>G>D$.

2.2.2 种群分布格局动态 杜鹃红山茶种群从幼苗、幼树 (I、II 级)–小树 (III 级)–中树 (IV 级)–大树 (V 级) 或幼苗、幼树 (I、II 级)–小树 (III 级)–中、大树 (IV、V 级) 的空间分布格局见表 3. 在 9 个样地中, 杜鹃红山茶随机分布的 D 和 G 种群及聚集

表 2 杜鹃红山茶种群分布格局

Table 2 Distribution pattern of *Camellia azalea* populations

样地 Plot	均值 Mean	方差 Variance	扩散系数 C	t 值 t value	负二项指数 K	Cassie 指数 1/K	丛生指数 I_0	平均拥挤度 m^*	聚块性指数 m^*/m	格林指数 GI	结果 Result
A	1.75	9.78	5.586	14.138 **	0.382	2.621	4.586	6.336	3.621	0.241	X
B	1.70	4.96	2.916	5.908 **	0.887	1.127	1.916	3.616	2.127	0.101	X
C	1.75	6.62	3.782	8.576 **	0.629	1.590	2.782	4.532	2.590	0.146	X
D	1.65	1.82	1.102	0.315	16.165	0.062	0.102	1.752	1.062	0.005	Y
E	2.60	7.20	2.769	5.454 **	1.470	0.680	1.769	4.369	1.680	0.093	X
F	2.30	4.64	2.018	3.139 **	2.259	0.443	1.018	3.318	1.443	0.054	X
G	1.40	2.25	1.609	1.877	2.299	0.435	0.609	2.009	1.435	0.032	Y
H	1.10	6.20	5.636	14.292 **	0.237	4.215	4.636	5.736	5.215	0.244	X
I	1.05	4.05	3.857	8.807 **	0.368	2.721	2.857	3.907	3.721	0.150	X

X: 聚集分布 Clump distribution; Y: 随机分布 Random distribution. * $P<0.05$; ** $P<0.01$. 下同 The same below.

表 3 杜鹃红山茶种群分布格局动态

Table 3 Dynamics of distribution pattern of *Camellia azalea* populations

样地 Plot	径级 Diameter class	均值 Mean	方差 Variance	扩散系数 C	t 值 t value	负二项 指数 K	Cassie 指数 1/K	丛生指数 I_0	平均拥挤度 m^*	聚块性指数 m^*/m	格林指数 GI	结果 Result
A	I, II	0.50	1.32	2.632	5.030 **	0.306	3.263	1.632	2.132	4.263	0.086	X
	III	0.70	2.75	3.925	9.016 **	0.239	4.178	2.925	3.625	5.178	0.154	X
	IV, V	0.55	0.58	1.048	0.147	11.495	0.087	0.048	0.598	1.087	0.003	Y
B	I, II	0.45	0.79	1.749	2.307 *	0.601	1.663	0.749	1.199	2.663	0.039	X
	III	0.40	0.46	1.158	0.487	2.533	0.395	0.158	0.558	1.395	0.008	Y
	IV	0.40	0.57	1.421	1.298	0.950	1.053	0.421	0.821	2.053	0.022	Y
	V	0.45	0.47	1.047	0.144	9.619	0.104	0.047	0.497	1.104	0.002	Y
			0.45	0.47	1.047	0.144	9.619	0.104	0.047	0.497	1.104	0.002
C	I, II	1.00	3.26	3.263	6.976 **	0.442	2.263	2.263	3.263	3.263	0.119	X
	III	0.50	1.00	2.000	3.083 **	0.500	2.000	1.000	1.500	3.000	0.053	X
	IV, V	0.25	0.41	1.632	1.947	0.396	2.526	0.632	0.882	3.526	0.033	Y
D	I, II	0.25	0.20	0.789	-0.649	-1.188	-0.842	-0.211	0.039	0.158	-0.011	Y
	III	0.55	0.47	0.856	-0.442	-3.832	-0.261	-0.144	0.406	0.739	-0.008	Y
	IV	0.40	0.36	0.895	-0.324	-3.800	-0.263	-0.105	0.295	0.737	-0.006	Y
	V	0.45	0.37	0.813	-0.577	-2.405	-0.416	-0.187	0.263	0.584	-0.010	Y
			0.45	0.37	0.813	-0.577	-2.405	-0.416	-0.187	0.263	0.584	-0.010
E	I, II	0.40	0.99	2.474	4.543 **	0.271	3.684	1.474	1.874	4.684	0.078	X
	III	0.90	1.25	1.392	1.208	2.297	0.435	0.392	1.292	1.435	0.021	Y
	IV	0.80	1.01	1.263	0.811	3.040	0.329	0.263	1.063	1.329	0.014	Y
	V	0.50	0.58	1.158	0.487	3.167	0.316	0.158	0.658	1.316	0.008	Y
			0.50	0.58	1.158	0.487	3.167	0.316	0.158	0.658	1.316	0.008
F	I, II	1.00	1.37	1.368	1.136	2.714	0.368	0.368	1.368	1.368	0.019	Y
	III	1.05	1.63	1.551	1.700	1.904	0.525	0.551	1.601	1.525	0.029	Y
	IV, V	0.25	0.30	1.211	0.649	1.188	0.842	0.211	0.461	1.842	0.011	Y
			0.25	0.30	1.211	0.649	1.188	0.842	0.211	0.461	1.842	0.011
G	I, II	0.65	0.98	1.502	1.548	1.295	0.772	0.502	1.152	1.772	0.026	Y
	III	0.60	0.78	1.298	0.919	2.012	0.497	0.298	0.898	1.497	0.016	Y
	IV, V	0.15	0.13	0.895	-0.324	-1.425	-0.702	-0.105	0.045	0.298	-0.006	Y
H	I, II	0.20	0.48	2.421	4.381 **	0.141	7.105	1.421	1.621	8.105	0.075	X
	III	0.25	0.51	2.053	3.245 **	0.238	4.211	1.053	1.303	5.211	0.055	X
	IV, V	0.65	1.40	2.150	3.544 **	0.565	1.769	1.150	1.800	2.769	0.061	X
I	I, II	0.40	1.83	4.579	11.033 **	0.112	8.947	3.579	3.979	9.947	0.188	X
	III	0.25	0.30	1.211	0.649	1.188	0.842	0.211	0.461	1.842	0.011	Y
	IV, V	0.40	0.57	1.421	1.298	0.950	1.053	0.421	0.821	2.053	0.022	Y

分布强度最低的 F 种群,不同发育阶段的分布格局均为随机分布,而聚集分布强度最高的 H 种群不同阶段均为聚集分布;样地 A 和 C 种群幼苗、幼树及小树为聚集分布,中、大树为随机分布;样地 B、E 和 I 种群的幼苗、幼树为聚集分布,小树及中、大树为随机分布.可见,杜鹃红山茶不同发育阶段的分布格局大体上表现为由聚集分布向随机分布转变,聚集度由大变小趋于减弱,其中,幼苗、幼树多为聚集分布,中、大树多为随机分布.

3 讨 论

通常,有关植物的大小结构分析,乔木类采用胸径和高度^[18],灌木类采用基径或地径、高度和冠幅^[10,14],藤本类用基径^[19],竹类则用高度^[20].本试验用杜鹃红山茶基径、高度和冠幅研究种群大小结构,结果表明,成年树所占比例大,幼苗严重缺乏,种群呈衰退趋势^[21-22],表现出濒危植物种群多呈衰退型的特点^[13,23],属下降型种群.这与张治国和王仁卿^[8]对山茶(*Camellia japonica*)的研究结果一致.杜鹃红山茶仅分布于溪流两岸,人为干扰破坏严重,生境破碎化,种子成熟后靠重力传播散落在河岸,雨季多被流水冲走,旱季时种子落在石缝中,但由于环境恶劣及缺少适宜湿度,难以萌发,导致幼苗严重缺乏,种群日趋衰退.

植物种群结构因所处小环境各异而不尽相同^[10],且适宜条件下能够实现自我更新^[24].调查发现,杜鹃红山茶种群分布范围狭窄,生存环境恶劣,种群更新能力较弱.种群在基径、高度和冠幅结构上均表现出一定差异,可能与其分布范围小,各样地生境中海拔、坡向不同,坡度差异较大有关;尤其是其被发现利用以后,人为砍伐、随意挖掘等现象严重,影响了种群结构及其稳定性^[25].同时,幼苗在向幼树生长的过程中,可能存在较强的选择性,恶劣的立地条件不利于种子萌发及幼苗成活.此外,杜鹃红山茶为灌木,生长在林下,种内及种间竞争亦影响幼苗向幼树的转化.

种群分布格局是物种与环境长期相互作用的结果,生物因子(如种内、种间竞争等^[18])和非生物因子(如地形、气候等)均可能影响种群的分布格局^[26].本研究中, D、G 样地杜鹃红山茶种群为随机分布,其余样地表现为聚集分布,可能是该种群多分布于溪流两岸,坡度对其分布格局产生显著影响.杜鹃红山茶种子靠重力传播,在坡度较大的 D、G 样地上,种子较为分散;而在坡度较小的样地,种子较易

聚集在一起,从而形成聚集分布.聚集分布能更好地改变小环境,提高种群对不良环境的抗性^[11,27],从而有利于幼苗的生长发育.尉秋实等^[28]认为,在半固定及砾质沙地、冲击洪积和古河床上,种群呈聚集分布.本研究中, H 样地为流水冲击的沙地,杜鹃红山茶种群的聚集强度最大,说明生境特点影响种群分布格局.此外,人为干扰破坏亦可能影响杜鹃红山茶种群的分布格局,有待于进一步研究.

植物种群分布格局动态变化通常是种内、种间竞争及种群与环境适应的结果^[29-30].不同样地中杜鹃红山茶种群的分布格局因生境条件而异,但大体上表现为从幼苗、幼树的斑块状聚集,在空间上逐步扩大,形成中树、大树分散的格局,从而满足个体对空间及营养的需求^[31].这主要是因植物种子靠重力传播的特点,决定了其幼苗多聚集于中树或大树周围,幼苗、幼树呈现聚集分布;随着年龄增长,植物对环境及营养的需求加大,种间及种内个体间竞争加剧^[32],同时,随着生理衰老和环境筛的作用使个体逐渐死亡^[13],种群聚集度下降,最终趋于随机分布^[33].由此可见,杜鹃红山茶自身生物学特性及其自然分布区的生境条件决定了其种群分布格局,并进一步影响其分布格局的动态变化.

参考文献

- [1] Wang S (汪松), Xie Y (解炎). China Species Red List. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese)
- [2] Wei Z-F (卫兆芬). New species of *Camellia* from China. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 1986, 6(4): 141-143 (in Chinese)
- [3] Zhang H-D (张宏达), Ren S-X (任善湘). *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese)
- [4] Gao J-Y (高继银), Parks CR, Du Y-Q (杜跃强). Collected Species of Genus *Camellia*: An Illustrate Outline. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2005 (in Chinese)
- [5] Arista M. The structure and dynamics of an *Abies pinsapo* forest in southern Spain. *Forest Ecology and Management*, 1995, 74: 81-89
- [6] Brodie C, Howle G, Fortin MJ. Development of a *Populus balsamifera* clone in subarctic Québec reconstructed from spatial analyses. *Journal of Ecology*, 1995, 83: 309-320
- [7] Wu XP, Zheng Y, Ma KP. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophyl-*

- la and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2002, **44**(2): 212-223 (in Chinese)
- [8] Zhang Z-G (张治国), Wang R-Q (王仁卿). Study on *Camellia japonica* population size structure and spatial pattern. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2000, **24**(1): 118-122 (in Chinese)
- [9] Cao G-X (操国兴), Zhong Z-C (钟章成), Liu Y (刘芸), et al. The study of distribution pattern of *Camellia rosthorniana* population in Jinyun Mountain. *Journal of Biology* (生物学杂志), 2003, **20**(1): 10-12 (in Chinese)
- [10] Dai Y (戴月), Xue Y-G (薛跃规). Population structure of species *Camellia terminalis*. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2008, **27**(1): 1-7 (in Chinese)
- [11] Song P (宋萍), Hong W (洪伟), Wu C-Z (吴承祯), et al. Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(3): 413-418 (in Chinese)
- [12] Shen S-K (申仕康), Ma H-Y (马海英), Wang Y-H (王跃华), et al. The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(5): 2404-2412 (in Chinese)
- [13] He H-B (何恒斌), Zhang H-J (张惠娟), Jia G-X (贾桂霞). Population structure and spatial distribution pattern of *Ammopiptanthus mongolicus* in Dengkou County, Inner Mongolia Autonomous Region. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2006, **42**(10): 13-18 (in Chinese)
- [14] Zhen J-H (甄江红), Liu G-H (刘果厚). Population structure characteristics of *Tetraena mongolica* in different habitats. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(4): 1829-1841 (in Chinese)
- [15] Li H-T (李海涛). Introduction to studies of the pattern of plant population. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1995, **12**(2): 19-26 (in Chinese)
- [16] Zheng Y-R (郑元润). The applicability of various methods in analysis of *Picea mongolica* population spatial distribution pattern. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(5): 480-484 (in Chinese)
- [17] Wu C-Z (吴承祯), Hong W (洪伟), Wu J-L (吴继林), et al. Spatial distribution pattern of the endangered and rare plant *Tsuga longibracteata* Cheng. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 2000, **9**(1): 31-34 (in Chinese)
- [18] Wang W (王巍), Liu C-R (刘灿然), Ma K-P (马克平), et al. Population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* in two broad-leaved deciduous forests in Dongling Mountain, northern China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1999, **41**(4): 425-432 (in Chinese)
- [19] Zhang X-P (张小平), Hao C-Y (郝朝运), Fan R (范睿), et al. Population structure of endangered *Monimopetalum chinense* and its relationships with environmental factors. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(3): 474-480 (in Chinese)
- [20] Song L-X (宋利霞), Tao J-P (陶建平), Wang W (王徽), et al. The ramet population structures of the clonal bamboo *Fargesia nitida* in different canopy conditions of subalpine dark coniferous forest in Wolong Nature Reserve, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(3): 730-736 (in Chinese)
- [21] Xiong N (熊能), Jin Z-X (金则新), Gu J-J (顾婧婧), et al. Population structure and spatial distribution pattern of dominant tree species in a secondary forest on Laoshan Island of Qiandao Lake region. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2010, **29**(5): 847-854 (in Chinese)
- [22] Jin Y-Q (金雅琴), Li D-L (李冬林), Sun X-L (孙晓龙), et al. Population structure and spatial distribution pattern of *Celtis sinensis* in Fangshan of Nanjing. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2011, **31**(5): 603-609 (in Chinese)
- [23] Kang H-J (康华靖), Chen Z-L (陈子林), Liu P (刘鹏), et al. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(1): 389-396 (in Chinese)
- [24] Zhang W-H (张文辉), Zu Y-G (祖元刚), Liu G-B (刘国彬). Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**(9): 1512-1520 (in Chinese)
- [25] Han W-J (韩文娟), Yuan X-Q (袁晓青), Zhang W-H (张文辉). Effects of gap size on seeding natural regeneration in artificial *Pinus tabulaeformis* plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(11): 2940-2948 (in Chinese)
- [26] Yan S-J (闫淑君), Hong W (洪伟), Wu C-Z (吴承祯), et al. The structure and distribution pattern of dominant population in *Castanopsis carlesii* community. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2002, **10**(1): 15-21 (in Chinese)
- [27] Hong W (洪伟), Liu J (柳江), Wu C-Z (吴承祯). A study on structure and spatial distribution pattern of *Castanopsis hystrix* population. *Scientia Silvae*

- Sinicae* (林业科学), 2001, **37**(1): 6–10 (in Chinese)
- [28] Yu Q-S (尉秋实), Wang J-H (王继和), Li C-L (李昌龙), *et al.* A preliminary study on the distribution pattern and characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus* populations in different desert environments. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2005, **29**(4): 591–598 (in Chinese)
- [29] Xie Z-Q (谢宗强), Chen W-L (陈伟烈), Lu P (路鹏), *et al.* The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, **19**(4): 523–528 (in Chinese)
- [30] Zhang Y-T (张毓涛), Li J-M (李吉枚), Chang S-L (常顺利), *et al.* Spatial distribution pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population and its relationships with topographic factors in middle part of Tianshan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(11): 2799–2806 (in Chinese)
- [31] Xiong N (熊能), Jin Z-X (金则新), Chen Z (陈琢). Population structure and distribution pattern of *Pinus massoniana* on Laoshan Island of Qiandao Lake region. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2010, **30**(5): 537–542 (in Chinese)
- [32] Li X-K (李先琨), Su Z-M (苏宗明), Xiang W-S (向悟生), *et al.* Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**(12): 2246–2253 (in Chinese)
- [33] Guo H (郭华), Wang X-A (王孝安), Xiao Y-P (肖娅萍). Spatial distribution pattern and fractal analysis of *Larix chinensis* populations in Qinling Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(2): 227–232 (in Chinese)

作者简介 李辛雷,男,1978年生,博士,副研究员.主要从事观赏植物遗传育种、保护生物学研究. E-mail: lixinlei2020@163.com

责任编辑 李凤琴
