



## 普定杜鹃花种群结构和空间分布格局

赵宏玖, 杨瑞, 袁丛军, 戴晓勇, 王浩东, 马觉兵, 郭家瑞

### 引用本文:

赵宏玖, 杨瑞, 袁丛军, 戴晓勇, 王浩东, 马觉兵, 郭家瑞. 普定杜鹃花种群结构和空间分布格局[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 46–54.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4725>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 不同水分条件下杜鹃花转录因子的转录组分析

Transcriptome Analysis of Transcription Factors of *Rhododendron pulchurum* 'Baifeng4' under Different Water Conditions  
热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 515–522 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3910>

#### 腺苞树萝卜, 中国杜鹃花科一新记录种

*Agapetes nana*, A Newly Recorded Species of Ericaceae from China  
热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 409–412 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4326>

#### 缅甸树萝卜和深裂树萝卜, 老挝杜鹃花科植物二新记录种

*Agapetes megacarpa* W. W. Smith and *A. lobbii* C. B. Clarke (Ericaceae), Two New Records from Laos  
热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 421–424 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4215>

#### 臭越橘(杜鹃花科)的花部形态

Floral Morphology of *Vaccinium foetidissimum* H. L é v. & Vaniot (Ericaceae)  
热带亚热带植物学报. 2021, 29(6): 683–687 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4469>

#### 杜鹃属植物与杜鹃灌丛群落的研究进展

Advances in the *Rhododendron* and *Rhododendron* Shrub Communities  
热带亚热带植物学报. 2020, 28(5): 527–536 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4187>

向下翻页, 浏览PDF全文

# 普定杜鹃花种群结构和空间分布格局

赵宏玖<sup>1</sup>, 杨瑞<sup>1\*</sup>, 袁丛军<sup>2,3\*</sup>, 戴晓勇<sup>2,3</sup>, 王浩东<sup>1</sup>, 马觉兵<sup>1</sup>, 郭家瑞<sup>1</sup>

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省林业科学研究院, 贵阳 550005; 3. 贵州荔波喀斯特森林生态系统国家定位观测研究站, 贵州 荔波 558400)

**摘要:** 普定杜鹃花(*Rhododendron pudingense*)是杜鹃花属一新种, 在贵州省首次发现的4个分布区设置样方, 采用匀滑技术和均值比率等方法分析其种群结构和空间分布格局。结果表明, 普定杜鹃花在4个分布区共有1113株, 其中晴隆611株, 望谟308株, 普定83株, 镇宁111株; 普定杜鹃花种群个体主要集中在第I和第II龄级; 晴隆、望谟和普定分布点的存活曲线表现为Deevey-II型, 镇宁为Deevey-III型; 各个分布点都表现为聚集分布。4个分布区的普定杜鹃花种群属于增长型, 但由于普定杜鹃花在分布的群落中数量较少, 在群落物种组成中处于从属地位, 加上其生长区域大量基岩裸露导致其生境的脆弱性, 如果不加强人为干扰措施去保护普定杜鹃花, 可能导致这一新物种会被森林群落中的其他物种淘汰。

**关键词:** 普定杜鹃花; 种群; 结构; 分布格局

doi: 10.11926/jtsb.4725

## Population Structure and Spatial Distribution Pattern of *Rhododendron pudingense*

ZHAO Hongjiu<sup>1</sup>, YANG Rui<sup>1\*</sup>, YUAN Congjun<sup>2,3\*</sup>, DAI Xiaoyong<sup>2,3</sup>, WANG Haodong<sup>1</sup>, MA Juebing<sup>1</sup>, GUO Jiarui<sup>1</sup>

(1. College of forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550005, China; 3. Guizhou Libo Observation and Research Station for Karst Forest Ecosystem, National Forestry and Grassland Administration, Libo 558400, Guizhou, China)

**Abstract:** *Rhododendron pudingense* is a new species in genus *Rhododendron*. The population structure and spatial distribution pattern of *R. pudingense* were analyzed by means of smoothing technique and mean ratio in four distribution regions first discovered in Guizhou Province. The results showed that there were 1113 individuals, including 611 in Qinglong, 308 in Wangmo, 83 in Puding and 111 in Zhenning. The population of *R. pudingense* was mainly concentrated in the first and second age classes. The survival curves of population in Qinglong, Wangmo and Puding showed Deevey-II type, while that in Zhenning showed Deevey-III type. The distribution patterns of all populations were aggregated. The population of *R. pudingense* in the four distribution areas belonged to the growth type. However, due to the small number of *R. pudingense* in the distributed forest community, it was in a subordinate position in species composition of community, the vulnerability of its habitat caused by a large amount of bare bedrock in the growth area, the new species of *R. pudingense* might be eliminated by other species in the forest community if human disturbance measures are not strengthened to protect *R. pudingense*.

**Key words:** *Rhododendron pudingense*; Population; Structure; Distribution pattern

收稿日期: 2022-09-09 接受日期: 2023-02-14

基金项目: 贵州省科学技术基金项目(ZK[2021]一般 097); 贵州省科技计划项目([2020]1Y011, [2020]4010)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology in Guizhou (Grant No. ZK[2021]097), and the Project for Science and Technology Planning in Guizhou (Grant No. [2020]1Y011, [2020]4010).

作者简介: 赵宏玖(1999年生), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物生态。E-mail: 1154622190@qq.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yr553017@163.com; ycongjun2016gzslky@163.com

普定杜鹃花(*Rhododendron pudingense*)为杜鹃花科(Ericaceae)杜鹃花属常绿灌木,高0.5~1 m;小枝近于轮生,叶倒卵形,叶柄长2~4 mm,花2~4朵,花色由粉红到淡紫色,生长于海拔1300~1400 m的石灰岩山间的岩缝中,种群分布不均匀,个体稀少,花期4月下旬至5月上旬,果期10月。2018年在“贵州天保工程效益监测”和“杜鹃花科植物研究”项目的野外考察中,在贵州省普定县首次发现普定杜鹃花,其形态与铁仔叶杜鹃(*R. myrsinifolium*)和小花杜鹃(*R. microgynum*)相似,但在花冠管、雄蕊和花柱处有明显的区别。2019年在贵州省望谟县又一次发现了该物种,通过解剖、查阅文献和相似种的模式标本核对,最终确认其为杜鹃花属一新种,因其首次在普定被发现,将其命名为普定杜鹃花,2020年在*PhytoKeys*上发表<sup>[1]</sup>,主要分布于贵州的普定县、晴隆县、望谟县、镇宁县等地的石灰岩山中上部,生长于石灰岩上的黑色石灰土中。根据IUCN物种红色名录濒危等级和标准将该种界定为濒危等级,还未开展保护研究工作。近年来,关于杜鹃花科植物种群结构的研究较多,姜顺邦等<sup>[2]</sup>对黔中杜鹃(*R. feddei*)种群结构及其动态特征进行了研究,认为由于中幼龄个体数充足,但幼龄个体数严重缺乏,黔中杜鹃种群结构有从相对稳定型向衰退转化的趋势;莫罗坚等<sup>[3]</sup>的研究表明,东莞莲花山毛棉杜鹃花(*R. moulmainense*)种群的径级分布呈现“J”形,属于增长型种群;邓贤兰等<sup>[4]</sup>认为井冈山杜鹃(*R. jinggangshanicum*)种群径级结构为金字塔型,生命期望值基本随径级增加而呈递减趋势,存活曲线为近直线型,属于增长型种群。这些反映了杜鹃花科植物的种群结构及其数量动态特征。普定杜鹃花为贵州特有种,具有优良观赏价值,市场前景好,但普定杜鹃花野生居群较小,生境土壤浅薄,常有植株枯死现象,其引种技术需要大量的理论支撑,目前关于其种群结构与空间分布格局的研究尚属空白。为探究其种群结构与空间分布格局,本研究对普定杜鹃花4个天然种群分布点进行实地考察,比较不同分布点的种群生存现状、结构特征及分布格局,揭示普定杜鹃花种群的动态变化趋势,为保护和利用普定杜鹃花种群资源提供科学参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

本次调查选择在普定杜鹃花天然群落的主要

分布区进行,包括贵州省安顺市的普定县和镇宁县以及黔西南布依苗族自治州望谟县和晴隆县。研究区位于贵州省的西南部(24°53'~26°31' N, 105°08'~106°26' E),总体地势普定县中间低,南北高,其余3县北高南低,都具有典型的喀斯特地貌,其中普定县喀斯特地貌占全域总面积的84.6%<sup>[5]</sup>,镇宁县占60%,晴隆县占53%,望谟县占76%。4县年平均气温14℃~19℃,气候宜人,年平均降水量1222~1492 mm,冬暖夏凉,年平均日照少,无霜期长,都属于亚热带季风湿润气候。石漠化情况严重,土壤类型丰富,主要为黄壤、石灰土、水稻土等。在调查过程中,统计到研究区普定杜鹃花的主要伴生乔木树种为化香(*Platycarya strobilacea*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)和黄杉(*Pseudotsuga sinensis*)等,主要伴生灌木为短梗乌饭(*Vaccinium brevipedicellatum*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)和山茶(*Camellia japonica*)等,主要伴生草本有凤尾蕨(*Pteris cretica* var. *nervosa*)、车前草(*Plantago depressa*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等。

### 1.2 群落样地设置

结合初步踏查结果,选择普定杜鹃花典型群落进行调查<sup>[6]</sup>,布设面积为200 m<sup>2</sup>(10 m×20 m)的样地共12个,其中普定、晴隆各3个,望谟4个,镇宁2个,记录各样地的经纬度、坡向、坡位、坡度、海拔等(表1)。每个样地划分为20个2 m×5 m的小样方。每个样方进行每木检尺,测定胸径≥5 cm的乔木物种名、胸径、冠幅、树高;灌木层调查物种名称、测量地径和树高;草本层设置2 m×2 m小样方,记录物种名称、株丛数、平均高和覆盖度。

### 1.3 种群径级划分

在同等环境条件下,同一树种的径级和龄级对环境的响应规律具有一致性<sup>[7]</sup>,采取基径结构替代年龄结构的方法,对普定杜鹃花的基径结构进行划分,分析普定杜鹃花各分布点的种群结构<sup>[8]</sup>。种群径级结构的划分有不同的标准<sup>[9-12]</sup>,结合样地内普定杜鹃花整体基径的实际情况和生活史特点,依地径D划分为7个等级,D1≤0.5 cm;0.5 cm<D2≤1 cm;1 cm<D3≤1.5 cm;1.5 cm<D4≤2 cm;2 cm<D5≤2.5 cm;2.5 cm<D6≤3 cm;D7>3 cm,其中D1对应龄级I,D2对应龄级II,以此类推,分别统计各样地各龄级的株数,以个体数为横轴,对应的龄级为纵轴,绘制普定杜鹃花种群结构图<sup>[13]</sup>。对普定杜鹃花种群的径级进行分析,了解种群动态趋势对

表 1 研究样地概况

Table 1 General situation of plots

样地 Plot	编号 No.	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	海拔 (m) Altitude	坡度 (°) Gradient	坡向 Aspect	面积 (m <sup>2</sup> ) Area
普定 Puding	1	105°35'17.61"	26°17'31.63"	1 496.0	30	南	10×20
	2	105°35'17.61"	26°17'11.57"	1 495.0	30	南	10×20
	3	105°35'16.85"	26°17'31.15"	1 496.0	40	南	10×20
晴隆 Qinglong	1	105°16'34.31"	25°50'27.38"	1 444.9	47	东北-西南	10×20
	2	105°16'32.54"	25°50'29.29"	1 429.8	50	西南-东北	10×20
	3	105°16'33.39"	25°50'29.88"	1 435.9	45	东-西	10×20
镇宁 Zhenning	1	105°49'58.03"	26°7'17.29"	1 382.3	40	西南-东北	10×20
	2	105°49'57.69"	26°7'17.26"	1 356.0	48	西南-东北	10×20
望谟 Wangmo	1	106°22'31.13"	25°14'17.48"	1 298.4	50	东南-西北	10×20
	2	106°22'43.96"	25°14'6.60"	1 300.0	70	北	10×20
	3	106°22'48.04"	25°14'7.82"	1 274.4	45	南-北	10×20
	4	106°24'32.11"	25°20'32.60"	1 258.0	60	北-南	10×20

群落演替方向的重要性<sup>[14]</sup>。

#### 1.4 静态生命表的编制

将普定杜鹃花的基径按照大小分级,将树木径级从小到大的顺序变化对应树木龄级从小到大的顺序变化来编制普定杜鹃花种群静态生命表。静态生命表是由某一特定时刻种群内所有个体年龄结构的统计结果构成<sup>[15]</sup>。所以,偶尔会发生高龄级个体的数量多于低龄级个体的数量的状况,这会使死亡率为负值,在静态生命表中是不应该发生死亡率为负值的情况的,所以本研究采用匀滑技术处理收集到的原始数据<sup>[16]</sup>以避免生命表中出现死亡率为负值的情况。

生命表计算公式为:  $x$  的标准化存活数( $l_x$ )= $(a_x/a_0) \times 1000$ ; 从  $x$  到  $x+1$  龄级的标准化死亡数( $d_x$ )= $l_x - l_{x+1}$ ; 第  $x$  到  $x+1$  龄级的死亡率( $q_x$ )= $(d_x/l_x) \times 100\%$ ; 第  $x$  到  $x+1$  龄级存活的个体数( $L_x$ )= $(l_x + l_{x+1})/2$ ; 超过第  $x$  龄级(含)个体总数( $T_x$ )= $L_x + L_{x+1} + L_{x+2} + \dots + L_{x+n}$ ; 第  $x$  龄级个体的生命期望或平均期望寿命( $e_x$ )= $T_x/l_x$ ; 消失率( $K_x$ )= $\ln l_x - \ln l_{x+1}$ ; 存活率( $S_x$ )= $l_{x+1}/l_x$ 。

#### 1.5 存活曲线的拟合

本研究以径级对应的龄级为横轴,以各龄级的死亡率( $q_x$ )及消失率( $K_x$ )为纵轴作各个分布点普定杜鹃花种群死亡率曲线和消失率曲线<sup>[17]</sup>。以径级对应的龄级为横轴,以标准化存活数的对数为纵轴作各个分布点普定杜鹃花种群的存活曲线,运用指数函数  $N_x = N_0 e^{-bx}$  和幂函数  $N_x = N_0 x^{-b}$  对存活曲线进行拟合<sup>[18]</sup>,如果指数函数的拟合效果好,存活曲线为 Deevey-II型,反之则为 Deevey-III型<sup>[19]</sup>。

#### 1.6 种群空间结构

种群的空间结构有 3 种类型:随机分布、均匀

分布和集群分布。采用方差均值比率法、负二项式指数( $K$ )、扩散指数( $C$ )、Cassie 指标法( $Ca$ )、丛生指数法( $I$ )、平均拥挤度法( $M^*$ )和聚块性指数( $P$ )分析普定杜鹃花种群空间分布格局的聚集程度<sup>[20-21]</sup>。

方差均值比率法:  $X = \sum_{i=1}^N X_i / N$ ,  $S^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - X)^2 / (N-1)$ , 式中,  $N$  为基本样方的个数,  $X_i$  为第  $i$  样方内的个体数。如果  $S^2/X=1$  则种群趋于随机分布,如果  $S^2/X>1$  则趋于集群分布,如果  $S^2/X<1$ , 则趋于均匀分布。

负二项参数( $K$ )= $X^2/(S^2-X)$ , 当  $K<0$  时种群呈均匀分布; 当  $K>0$  时呈聚集分布; 当  $K>8$  时呈随机分布。

扩散指数( $C$ )= $S^2/X$ , 当  $C=1$  时种群呈随机分布; 当  $C>1$  时呈聚集分布; 当  $C<1$  时呈均匀分布。

Cassie 指数( $Ca$ )= $1/K$ , 当  $Ca=0$  时种群呈随机分布; 当  $Ca>0$  时呈聚集分布; 当  $Ca<0$  时呈均匀分布。

丛生指数( $I$ )= $S^2/X-1$ , 当  $I=0$  时种群呈随机分布; 当  $I>0$  时呈聚集分布; 当  $I<0$  时呈均匀分布。

平均拥挤度( $M^*$ )= $X+S^2/X+1$ , 聚块性指数( $P$ )= $M^*/X$ , 当  $P=1$  时种群呈随机分布; 当  $P>1$  时呈聚集分布; 当  $P<1$  时呈均匀分布。

## 2 结果和分析

### 2.1 普定杜鹃花种群的结构特征

在各分布点中普定杜鹃花共有 1 113 株,其中晴隆 611 株、望谟 308 株、普定 83 株、镇宁 111 株;

从图 1 可见, 4 个分布点的普定杜鹃花种群中龄级 I 占比均最大, 晴隆、望谟、镇宁样地占 30%~40%, 普定样地占 80%。且随龄级的增加个体数逐渐减少, 其中晴隆和普定样地中几乎没有龄级 VI 和 VII 的个体。

晴隆样地中龄级 II 的普定杜鹃花占 32%, 龄级 III、IV、V 分别占 13%、9%、4%。望谟样地中龄级 II 的植株占 17%, 龄级 III、IV 占 18%, 龄级 V、VI、VII 的分别占 7%、4%、6%。普定样地中龄级 II 的植株占 11%, 龄级 III、IV、V 分别占 1%、4%、5%。镇宁样地中龄级 II 的植株占 14%, 龄级 III、IV、V 分别占 16%、11%、10%, 龄级 VI、VII 分别占 6%、7%。

### 2.2 普定杜鹃花种群的动态趋势

由表 2 可见, 随普定杜鹃花种群龄级的增长, 各分布点的标准化存活个体减少, 特别是从第 I 龄级到第 II 龄级的个体数大幅度减少。标准化死亡数在第 I 龄级达到峰值, 到第 II 龄级大幅度减少, 之后每个龄级都比较稳定, 只有在望谟和镇宁的第 VI 龄级到第 VII 龄级有大幅增加。死亡率和消失率

具有相似的变化规律, 都是随龄级的增加先下降后上升。各个分布点的普定杜鹃花种群个体的生命期望值除望谟分布点随龄级增加不断下降外, 其他地区都稳定在 0.5 左右。

由图 2 可见, 晴隆分布点的存活曲线接近对角线型, 初步判定是 Deevey-II 型, 两模型方程分别为  $y=9.2155e^{-0.16x}$  ( $R^2=0.8453$ )、 $y=8.2532x^{-0.425}$  ( $R^2=0.6197$ ), 模型检验结果亦为 Deevey-II 型。望谟分布点存活曲线两模型的拟合方程分别为  $y=7.2229e^{-0.047x}$  ( $R^2=0.979$ )、 $y=7.1188x^{-0.142}$  ( $R^2=0.9036$ ), 指数方程的  $R^2$  较大, 判定为 Deevey-II 型; 普定分布点的存活曲线两模型的拟合方程分别为  $y=7.9657e^{-0.207x}$  ( $R^2=0.9362$ )、 $y=6.9875x^{-0.51}$  ( $R^2=0.9233$ ), 指数方程的  $R^2$  较大, 判定为 Deevey-II 型; 镇宁分布点的存活曲线呈近似“凹”型, 两模型的拟合方程分别为  $y=6.5827e^{-0.05x}$  ( $R^2=0.7939$ )、 $y=6.6376x^{-0.171}$  ( $R^2=0.9339$ ), 幂函数方程的  $R^2$  较大, 判定为 Deevey-III 型曲线。

从图 3 可见, 相同分布点的普定杜鹃花种群的死亡率曲线和消失率曲线的变化趋势相似, 而不同分布点的变化不同。4 个分布点从第 I 龄级到第 II

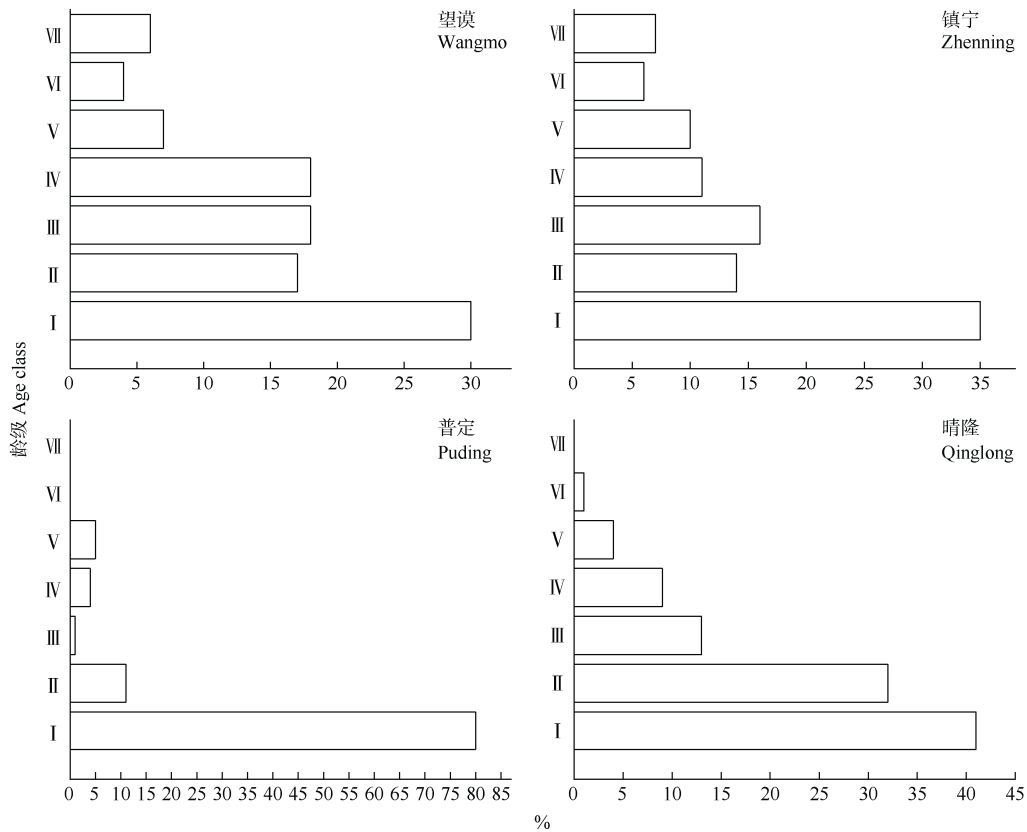


图 1 普定杜鹃花的年龄结构

Fig. 1 Age structure of *Rhododendron pudingense*

表 2 普定杜鹃花种群静态生命表

Table 2 Static life of *Rhododendron pudingense* population

地区 Area	龄级 Age class	$A_x$	$a_x$	$l_x$	$\ln l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$	$S_x$
晴隆 Qinglong	I	253	253	1 000	6.908	419	0.419	209	499	0.499	0.543	0.581
	II	196	147	581	6.365	150	0.259	75	290	0.499	0.299	0.741
	III	78	109	431	6.066	150	0.349	75	215	0.500	0.429	0.651
	IV	52	71	281	5.637	151	0.538	75	140	0.499	0.766	0.465
	V	22	33	130	4.871	130	1.000	65	65	0.498	4.871	0.000
	VI	7	0	0								
	VII	3	3	12	2.473							
望谟 Wangmo	I	130	130	1 000	6.908	338	0.338	169	405	0.405	0.413	0.662
	II	73	86	662	6.495	116	0.175	58	236	0.357	0.192	0.826
	III	79	71	546	6.303	115	0.211	58	178	0.326	0.237	0.789
	IV	76	56	431	6.066	115	0.268	58	120	0.279	0.312	0.732
	V	28	41	315	5.754	116	0.368	58	62	0.197	0.455	0.634
	VI	18	26	200	5.298	8	0.038	4	4	0.020	0.039	0.962
	VII	25	25	192	5.259	192	1.000					
普定 Puding	I	66	66	1 000	6.908	894	0.894	447	500	0.500	2.244	0.106
	II	9	7	106	4.664	30	0.286	15	53	0.500	0.336	0.714
	III	1	5	76	4.328	31	0.409	15	38	0.502	0.511	0.600
	IV	3	3	45	3.817	30	0.660	15	23	0.506	1.099	0.333
	V	4	1	15	2.718	15	1.000	8	8	0.528	2.718	0.000
	VI	0	0									
	VII	0	0									
镇宁 Zhenning	I	39	39	1 000	6.908	742	0.742	371	500	0.500	1.356	0.258
	II	15	17	258	5.551	31	0.120	15	129	0.501	0.125	0.882
	III	18	15	227	5.426	30	0.133	15	114	0.502	0.143	0.867
	IV	12	13	197	5.283	30	0.154	15	99	0.503	0.167	0.846
	V	11	11	167	5.116	31	0.186	15	84	0.504	0.201	0.818
	VI	7	9	136	4.915	15	0.111	8	69	0.506	0.118	0.889
	VII	8	8	121	4.798	121	1.000	61	61	0.503	4.798	0.000

$A_x$ :  $x$  龄级个体数;  $a_x$ :  $A_x$  修正值;  $l_x$ : 从  $x$  龄级开始的标准化存活个体数;  $d_x$ : 从  $x$  到  $x+1$  龄级的标准化死亡数;  $q_x$ : 从  $x$  到  $x+1$  龄级的死亡率;  $L_x$ : 从  $x$  到  $x+1$  龄级存活的个体数;  $T_x$ :  $x$  龄级以上(含)的个体总数;  $e_x$ : 进入  $x$  龄级个体的平均期望寿命;  $K_x$ : 消失率;  $S_x$ : 存活率。下同

$A_x$ : Number of individual at  $x$  age class;  $a_x$ : Correction value of  $A_x$ ;  $l_x$ : Standardized number of survivals from  $x$  age class;  $d_x$ : Standardized number of mortality from  $x$  to  $x+1$  age class;  $q_x$ : Mortality from  $x$  to  $x+1$  age class;  $L_x$ : Number of survivals from  $x$  to  $x+1$  age class;  $T_x$ : Number of individual above  $x$  age class (inclusive);  $e_x$ : Mean life expectancy of individuals entering  $x$  age class;  $K_x$ : Disappearance rate;  $S_x$ : Survival rate. The same below

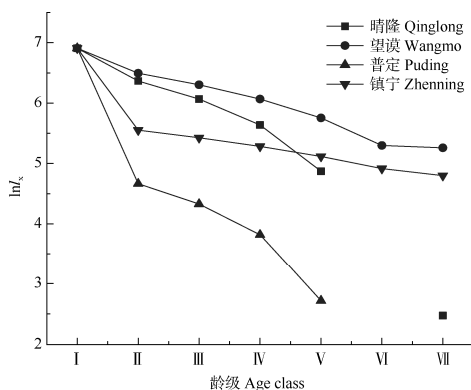


图 2 普定杜鹃花种群的存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Rhododendron pudingense* population

龄级的死亡率和消失率都有幅度较大的下降,之后晴隆和普定分布点死亡率随龄级增加逐渐上升,镇宁分布点趋于平缓,但在第 VII 龄级死亡率大幅增加,而望谟分布点死亡率在第 II 龄级之后稳步增加,直到第 VI 龄级大幅下降并在第 VII 龄级剧烈升高。

### 2.3 普定杜鹃花的种群的空间分布格局

由表 3 可见,各分布点的普定杜鹃花种群空间结构都表现为聚集分布。镇宁样地的  $K$  值最小,  $I$ 、 $M^*$ 、 $Ca$  和  $P$  值最大,是聚集程度最高的样地,其次是望谟,最后是普定和晴隆。

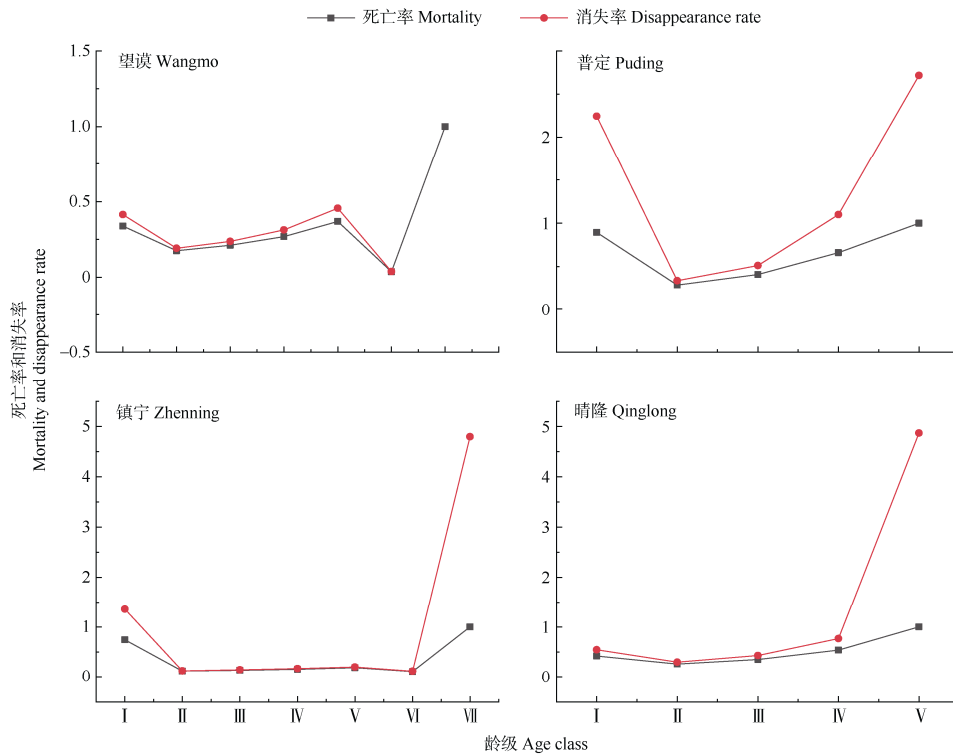


图 3 普定杜鹃花种群死亡率和消失率曲线

Fig. 3 Mortality and disappearance rate of *Rhododendron pudingense* population

表 3 普定杜鹃花种群的空间分布格局

Table 3 Spatial patterns of *Rhododendron pudingense* population distributed in different locations

种群 Population	均值 Mean	方差 Variance	$S^2/X$	$K$	$C$	$Ca$	$I$	$M^*$	$P$	分布格局 Distribution pattern
晴隆 Qinglong	5.25	17.63	3.36	2.23	3.36	0.45	4.15	9.40	1.45	聚集分布
望漠 Wangmo	4.95	23.89	4.83	1.29	4.83	0.77	6.05	11.00	1.77	聚集分布
普定 Puding	1.70	3.90	2.29	1.31	2.29	0.76	5.57	7.27	1.76	聚集分布
镇宁 Zhenning	2.80	16.90	6.04	0.56	6.04	1.80	9.39	12.19	2.80	聚集分布

$S^2/X$ : 方差/均值;  $K$ : 负二项式指数;  $C$ : 扩散指数;  $Ca$ : Cassie 指数;  $I$ : 丛生指数;  $M^*$ : 平均拥挤度;  $P$ : 聚块性指数。

$S^2/X$ : Variance/Mean;  $K$ : Negative binomial index;  $C$ : Diffusion index;  $Ca$ : Cassie index;  $I$ : Clumping index;  $M^*$ : Average congestion;  $P$ : Agglomeration index.

### 3 结论和讨论

#### 3.1 普定杜鹃花种群的结构特征

种群年龄结构能反映种群的现存状况, 可以根据种群的年龄结构间接判断出该种群的发展趋势并且对了解种群历史以及预测种群动态起到了重要作用<sup>[22]</sup>, 植物种群结构不仅能体现植物种群的动态变化规律, 而且也体现了植物对立地环境条件长期适应。在当前演替阶段, 各分布点普定杜鹃花种群的龄级结构呈典型的反“J”型<sup>[23]</sup>, 年幼的个体多, 老年的个体少, 呈现为增长型种群。但在调查过程中我们发现, 绝大部分杜鹃花属植物都适于酸性

土壤中, 通常也作为酸性土壤指示植物<sup>[24]</sup>。而普定杜鹃花仅生长在呈弱碱性的喀斯特石灰岩地区, 造成该物种适生区较狭窄, 导致普定杜鹃花在分布的森林群落中数量较少, 在群落物种组成中处于从属地位, 加上其生长区域大量基岩裸露导致其生境的脆弱性, 不加强人为干扰措施去保护普定杜鹃花, 可能导致这一新物种被森林群落中的其他物种淘汰。

#### 3.2 普定杜鹃花种群的动态趋势

静态生命表可以展现种群的动态特征和生存规律<sup>[25]</sup>。随着普定杜鹃花种群龄级的增长, 各分布点的标准化后存活个体单调减少, 特别是从第 I 龄级到第 II 龄级的个体数有较大幅度的减少以及各分

布点标准化死亡数的最大值都出现在第 I 龄级,说明普定杜鹃花在幼年期比较脆弱,对环境的适应力不强,成活数量少。生命期望展现的是  $x$  龄级内个体的平均存活能力<sup>[26]</sup>,望谟分布点普定杜鹃花种群的生命期望随龄级不断减小,可能是因为随着龄级的增长,对环境需求也在不断增长,激烈的竞争加上环境的供给能力有限,导致该地区普定杜鹃花龄级越高,生命期望越小。而其他 3 个分布点普定杜鹃花各龄级的平均期望寿命均约为 0.5,说明在这些地区普定杜鹃花各年龄阶段的生存能力相近,这些地区的环境能为普定杜鹃花种群的稳定发展提供足够的资源。

存活曲线是体现种群个体在每个龄级的存活数量的曲线,能生动表现种群在各龄级的生存情况<sup>[27-28]</sup>。晴隆、望谟和普定分布点普定杜鹃花种群的存活曲线为 Deevey-II 型,存活曲线近似对角线型,幼苗和小树的死亡率较高。镇宁分布点普定杜鹃花种群的存活曲线为 Deevey-III 型,该型的种群幼年个体的死亡率高,随着年龄的增长,死亡率逐步降低最后趋向平稳,存活曲线近似“凹”型。

死亡率曲线体现的是各个分布点普定杜鹃花种群死亡率的动态变化<sup>[29]</sup>。晴隆分布点普定杜鹃花的死亡率变化波动小,说明种间对环境资源的竞争不强烈,相对比较稳定。望谟种群 VII 龄级的死亡率最高,可能是从第 VI 龄级到第 VII 龄级之间,伴随着普定杜鹃花龄级的增大,种内或者种间对环境资源的需要增加,如对光照、水分、养分等,导致大量个体死亡。普定和镇宁种群第 I 和第 V、VII 龄级死亡率偏高,说明普定种群在幼苗期经历了环境的强烈筛选<sup>[30]</sup>,之后伴随着普定杜鹃花龄级的增大,种内或者种间对资源需要增加并且环境资源比较贫乏,导致死亡率偏高。

### 3.3 普定杜鹃花种群的空间分布格局

普定杜鹃花种群的空间分布格局受该树种自身的生物学特性如种群历史、繁殖方式等的影响较大。整体而言,普定杜鹃花种群各分布点都表现为聚集分布,聚集程度从大到小依次为镇宁、望谟、普定和晴隆。呈现聚集分布的主要原因与母树种子的散布方式有关<sup>[31]</sup>。种子自然成熟后,由于重力作用,大多数种子都掉落在母树旁边,萌发出的幼苗、幼树均分布在母树周围。此外,调查区域错综复杂的地形也让种子的散布变得困难。在调查过程中,发现普定杜鹃花所生长的环境多数为郁闭度高的

林下或者生长于山体阴坡,根部多生长于喀斯特石沟、石面等难以储存水分和养分的小生境。独特的生长环境也是导致其聚集分布的原因之一。此外,这种聚集分布的式样也可能与本研究在样地设置时由于物种分布生境破碎化,所选的空间尺度较小有关。

### 参考文献

- [1] DAI X Y, YANG C H, YANG B, et al. A new species of *Rhododendron* (Ericaceae) from Guizhou, China [J]. *Phytokeys*, 2020, 146: 53–59. doi: 10.3897/phytokeys.146.51342.
- [2] JIANG S B, YUAN C J, YU D H, et al. Population structure and dynamics of *Rhododendron feddei* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2020, 40(4): 1–9. [姜顺邦, 袁丛军, 余德会, 等. 贵州特有植物黔中杜鹃种群结构及其动态分析 [J]. *浙江林业科技*, 2020, 40(4): 1–9. doi: 10.3969/j.issn.1001-3776.2020.04.001.]
- [3] MO L J, CHEN K X, HUANG Q L, et al. Population structure and dynamic of *Rhododendron moulmianense* in the Lianhua Mountain in Dongguan [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 2015, 31(6): 1–7. [莫罗坚, 陈葵仙, 黄倩琳, 等. 东莞莲花山毛棉杜鹃种群结构动态分析 [J]. *广东林业科技*, 2015, 31(6): 1–7. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2015.06.001.]
- [4] DENG X L, LAN J, CHEN X X, et al. Population and community characteristics of *Rhododendron jinggangshanicum* in Jinggangshan Nature Reserve [J]. *J Jinggangshan Univ (Nat Sci)*, 2018, 39(4): 100–106. [邓贤兰, 兰婧, 陈霞霞, 等. 井冈山自然保护区井冈山杜鹃种群与群落特征研究 [J]. *井冈山大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(4): 100–106. doi: 10.3969/j.issn.1674-8085.2018.04.019.]
- [5] XIONG H F, WANG S J, RONG L, et al. Litterfall dynamics of plant communities at different succession stages in Karst area of Puding, Guizhou Province of southwest China [J]. *Chin J Ecol*, 2013, 32(4): 802–806. [熊红福, 王世杰, 容丽, 等. 普定喀斯特地区不同演替阶段植物群落凋落物动态 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32(4): 802–806. doi: 10.13292/j.1000-4890.2013.0182.]
- [6] LUO L, YANG B, YUAN C J, et al. Community structure and species diversity of *Rhododendron leigongshanense* in Guizhou Province [J]. *Guizhou For Sci Technol*, 2021, 49(1): 12–18. [娄丽, 杨冰, 袁丛军, 等. 贵州特有植物雷公山杜鹃群落结构和物种多样性研究 [J]. *贵州林业科技*, 2021, 49(1): 12–18. doi: 10.16709/j.cnki.gzlykj.2021.01.003.]
- [7] DIAO Y F, LIU Y K, LIU Y L, et al. Population structure characteristics of *Taxus cuspidata* [J]. *Sci Sin Vitae*, 2020, 50(4): 391–397. [刁云飞, 刘延坤, 刘玉龙, 等. 穆棱东北红豆杉种群结构特征 [J]. *中国科学(生命科学)*, 2020, 50(4): 391–397. doi: 10.1360/N052018-00226.]



- [8] HU G, LI J, QIN Y Y, et al. Population structure and dynamics of mangrove species in Beilun Estuary, Guangxi, southern China [J]. *J Plant Ecol*, 2018, 38(9): 3022–3034. [胡刚, 黎洁, 覃盈盈, 等. 广西北仑河口红树植物种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3022–3034. doi: 10.5846/stxb201705170918.]
- [9] WU C Z, HONG W, XIE J S, et al. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, 11(3): 333–336. [吴承祯, 洪伟, 谢金寿, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析 [J]. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 333–336. doi: 10.13287/j.1001-9332.2000.0085.]
- [10] RU W M, ZHANG G P, BI R C, et al. Population structure and pattern of endangered *Ulmus lamellosa* in Shanxi [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2007, 13(1): 14–17. [茹文明, 张桂萍, 毕润成, 等. 濒危植物脱皮榆种群结构与分布格局研究 [J]. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(1): 14–17. doi: 10.3321/j.issn:1006-687X.2007.01.004.]
- [11] LI X K, XIANG W S, TANG R Q. Analysis of the life table of endangered population *Abies yuanbaoshanensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2002, 10(1): 9–14. [李先琨, 向悟生, 唐润琴. 濒危植物元宝山冷杉种群生命表分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(1): 9–14. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2002.01.002.]
- [12] YAN S J, HONG W, WU C Z, et al. Life process and spectral analysis of *Castanopsis fargesii* population [J]. *Chin J Appl Environ Bio*, 2002, 8(4): 351–355. [闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 等. 丝栗栲种群生命过程及谱分析 [J]. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(4): 351–355. doi: 10.3321/j.issn:1006-687X.2002.04.004.]
- [13] ZHAO Y, QI R, JIAO J, et al. The population structure and dynamic characteristics of *Picea purpurea* at the Gahai-Zecha area [J]. *J Plant Ecol*, 2018, 38(20): 7447–7457. [赵阳, 齐瑞, 焦健, 等. 洱海-则岔地区紫果云杉种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(20): 7447–7457. doi: 10.5846/stxb201710201892.]
- [14] QIN A L, MA F Q, XU G X, et al. Population structure and dynamic characteristics of a rare and endangered tree species *Michelia wilsonii* Finet et Gagn [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, 40(13): 4445–4454. [秦爱丽, 马凡强, 许格希, 等. 珍稀濒危树种峨眉含笑种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2020, 40(13): 4445–4454. doi: 10.5846/stxb201905211042.]
- [15] LI J X, WU D J, ZHANG S P, et al. Life table and dynamic analysis of *Fagus hayatae* population in Micangshan Nature Reserve, Sichuan Province, China [J]. *Bull Bot Res*, 2016, 36(1): 68–74. [李金昕, 吴定军, 章世鹏, 等. 四川米仓山自然保护区台湾水青冈种群生命表及动态分析 [J]. *植物研究*, 2016, 36(1): 68–74. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2016.01.010.]
- [16] YUAN C M, MENG G T, FANG X J, et al. Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant *Alcimandra cathartii* [J]. *J Plant Ecol*, 2012, 32(12): 3866–3872. [袁春明, 孟广涛, 方向京, 等. 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布 [J]. *生态学报*, 2012, 32(12): 3866–3872. doi: 10.5846/stxb201109101326.]
- [17] JIANG Z M, HE Z S, SU H, et al. Population structure and dynamic characteristics of endangered *Syringa pinnatifolia* Hemsl. [J]. *J Plant Ecol*, 2018, 38(7): 2471–2480. [姜在民, 和子森, 宿昊, 等. 濒危植物羽叶丁香种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(7): 2471–2480. doi: 10.5846/stxb201704250753.]
- [18] CHEN K Y, ZHANG H R, ZHANG B, et al. Population structure and dynamic characteristics of typical constructive species in natural secondary forest on the northern slope of Changbai Mountain [J]. *J Plant Ecol*, 2021, 41(13): 5142–5152. [陈科屹, 张会儒, 张博, 等. 长白山北坡天然次生林典型建群种的种群结构及动态特征 [J]. *生态学报*, 2021, 41(13): 5142–5152. doi: 10.5846/stxb202101050049.]
- [19] LIU J Q, SUN J Z, YANG K E, et al. Structure and dynamics of *Picea crassifolia* population in Dongdahe forest area of Qilian Mountains Nature Reserve [J]. *J NW For Univ*, 2012, 27(2): 18–21. [刘建泉, 孙建忠, 杨开恩, 等. 东大河林区青海云杉种群结构与动态 [J]. *西北林学院学报*, 2012, 27(2): 18–21. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2012.02.04.]
- [20] LI P R, MENG G T, FANG X J. Ecological characteristics of understorey plants of four artificial forests in karst mountain area of southern Yunnan [J]. *J NW For Univ*, 2009, 24(2): 7–12. [李品荣, 孟广涛, 方向京. 滇南岩溶山地4种人工林林下植物群落学特征比较 [J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(2): 7–12.]
- [21] CHEN Y H, LONG Y L, PENG Z H. Distribution patterns of dominant populations in a mountaintop mossy dwarf forest in the Yangming Mountains in Hunan Province, China [J]. *J Plant Ecol*, 2019, 39(18): 6690–6700. [陈艳华, 龙岳林, 彭重华. 湖南省阳明山山顶苔藓矮林优势种空间分布格局 [J]. *生态学报*, 2019, 39(18): 6690–6700. doi: 10.5846/stxb201809272094.]
- [22] LU J, GUO Q Q, ZHENG W L, et al. Population structure and dynamic characteristics of *Pinus densata* in southeast Tibet [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, 49(8): 154–160. [卢杰, 郭其强, 郑维列, 等. 藏东南高山松种群结构及动态特征 [J]. *林业科学*, 2013, 49(8): 154–160. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130822.]
- [23] ZENG Y, ZHAO C Y, LI C J, et al. Spatial distribution pattern and association of *Populus euphratica* community in different habitats along the Tarim River [J]. *Chin J Ecol*, 2019, 38(11): 3273–3282. [曾勇, 赵成义, 李传金, 等. 塔里木河沿岸不同生境下胡杨(*Populus euphratica*)群落的空间分布格局及关联性 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38(11): 3273–3282. doi: 10.13292/j.1000-4890.201911.022.]
- [24] WU S Z, ZHAO W Q, LAN X S, et al. Study on azalea's relation

- between growth, development and eco-climate in Baili Dujuan Nature Reserve of west Guizhou [J]. *J Guizhou Normal Univ (Nat Sci)*, 2009, 27(1): 9–13. [吴士章, 赵卫权, 兰序书, 等. 贵州西部百里杜鹃生长发育与生态气候的相关研究 [J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 27(1): 9–13. doi: 10.3969/j.issn.1004-5570.2009.01.003.]
- [25] PENG H, ZHOU H M, WANG H X, et al. Structure and dynamic characteristics of *Schima superba* populations in evergreen broad-leaved forest in Fengyangshan Mountain [J]. *For Res*, 2022, 35(3): 179–184. [彭辉, 周红敏, 王宏翔, 等. 凤阳山常绿阔叶林优势种木荷的种群结构与动态 [J]. *林业科学研究*, 2022, 35(3): 179–184. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.03.020.]
- [26] XIE Z Q, CHEN W L, LU P, et al. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla* [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, 19(4): 523–528. [谢宗强, 陈伟烈, 路鹏, 等. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构 [J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 523–528.]
- [27] TIAN S N, CHEN X, LI R Y, et al. Studies on population dynamics of an endangered plant of *Pseudotsuga gaussonii* in Ningguo, Anhui Province [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(4): 385–393. [田胜尼, 陈鑫, 李仁远, 等. 安徽宁国珍稀濒危植物华东黄杉的种群动态研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(4): 385–393. doi: 10.11926/jtsb.4177.]
- [28] MENG X S, WEI X L. Life table and survival analysis on *Ormosia* wild endangered populations [J]. *Seed*, 2011, 30(7): 66–68. [孟宪帅, 韦小丽. 濒危植物花榈木野生种群生命表及生存分析 [J]. *种子*, 2011, 30(7): 66–68. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2011.07.019.]
- [29] YANG H Q, LIU Y H, LIU F L, et al. Population structure and dynamic characteristics of an endangered and endemic species *Rhododendron rex* subsp. *rex* in southwest China [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2020, 40(12): 2148–2156. [杨慧琴, 刘圆媛, 刘芳黎, 等. 西南特有濒危植物大王杜鹃种群结构及动态特征 [J]. *西北植物学报*, 2020, 40(12): 2148–2156. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2020.12.2148.]
- [30] HAN D Y, ZHANG W, YILYASI Nuermaiti, et al. Recruitment limitation of plant population regeneration [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2021, 45(1): 1–12. [韩大勇, 张维, 努尔买买提·依力亚斯, 等. 植物种群更新的补充限制 [J]. *植物生态学报*, 2021, 45(1): 1–12. doi: 10.17521/cjpe.2020.0246.]
- [31] YANG N K, ZOU T C, LIU H Y, et al. Age structure and spatial distribution pattern of endemic plant *Camellia mairei* var. *lapidea* population in Guizhou Province, China [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2015, 23(2): 205–210. [杨乃坤, 邹天才, 刘海燕, 等. 贵州特有植物长柱红山茶种群年龄结构及空间分布格局研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2015, 23(2): 205–210. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.02.013]