

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201705003

引文格式: 俞筱桢, 熊俊彩, 余瑞, 等. 贵州茂兰珍稀濒危植物四药门花种群特征 [J]. 广西植物, 2018, 38(7): 836–842
 YU XY, XIONG JC, YU R, et al. Population characteristics of rare and endangered *Loropetalum subcordatum* in Maolan Natural Reserve of Guizhou [J]. Guihaia, 2018, 38(7): 836–842

贵州茂兰珍稀濒危植物四药门花种群特征

俞筱桢^{1*}, 熊俊彩¹, 余瑞², 杨芳¹, 黄娟¹, 袁子勇¹

(1. 黔南民族师范学院 旅游与资源环境学院, 贵州 都匀 558000; 2. 贵州省都匀市第三中学, 贵州 都匀 558000)

摘要: 四药门花是我国特有的珍稀濒危植物, 其种群特征是制定切实有效保护策略的重要依据。该研究根据四药门花在贵州茂兰的分布特征, 设置了 5 个 40 m × 10 m 样带对其种群进行调查, 从种群径级结构 [Ⅲ级开始, 胸径 (DBH) 2.5 cm 为一个径级]、静态生命表、存活曲线等方面分析其种群结构。结果表明: (1) 贵州茂兰四药门花个体数比例最大的为 IV 级 (2.5 cm ≤ DBH < 5 cm), 占 27.0%, 幼苗库的个体数比例占 24.7%, 为稳定型种群。(2) I 级 (h < 1.3 m)、II 级 (h > 1.3 m 且 DBH < 1 cm) 的生命期望值最大; 在 V 龄级 (5 cm ≤ DBH < 7.5 cm) 前的预期生命值随着年龄增加而降低, V 龄级后预期寿命先升后降。(3) 死亡率曲线和消失度曲线趋势一致, 大致表现为先上升后下降但降幅较小; 龄级 V 的死亡率和消失度最高, 其主要影响因素可能为环境胁迫尤其是水分胁迫。(4) 存活曲线除 II 级到 III 级 (1 cm ≤ DBH < 2.5 cm) 有小幅上升外, 基本单调递减。(5) 四药门花种群的就地保护, 除延续现在的封禁模式外, 需要对中树加强抚育。

关键词: 珍稀濒危植物, 径级结构, 静态生命表, 存活曲线, 茂兰国家自然保护区

中图分类号: Q948.12 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)07-0836-07

Population characteristics of rare and endangered *Loropetalum subcordatum* in Maolan Natural Reserve of Guizhou

YU Xiaoya^{1*}, XIONG Juncai¹, YU Rui², YANG Fang¹, HUANG Juan¹, YUAN Ziyong¹

(1. School of Tourism and Resource Environment, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun 558000, Guizhou, China; 2. No.3 Middle School of Duyun, Duyun 558000, Guizhou, China)

Abstract: *Loropetalum subcordatum* (Hamamelidaceae) is one of rare and endangered species, and endemic species to China. The population structure is an element issue for its protection. The innovation of this paper was to analyzed population characteristics of *L. subcordatum* in Maolan Karst Natural Reserve, Guizhou Province and to provide countermeasure for protecting *L. subcordatum*. We investigated the population diameter structure, static life table and studied survival curve of *L. subcordatum* based on the survey. The results showed were as follows: (1) Proportion of the individual num-

收稿日期: 2017-08-15

基金项目: 国家自然科学基金(31400392); 贵州省科技厅联合基金(黔科合 LH 字 [2014]7431); 贵州省教育厅自然科学基金(黔教合 KY 字 [2013]209 号) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31400392); the Joint Natural Science Foundation of Guizhou and Qiannan Normal University for Nationalities ([2014]7431); the Natural Science Foundation of Guizhou Education Department ([2013]209)].

作者简介: 俞筱桢(1980-), 男, 云南罗平人, 硕士, 副教授, 主要从事喀斯特植被与生态恢复研究, (E-mail) ynyxy800305@163.com。

*通信作者

ber of *L. subcordatum* was diameter Class IV ($2.5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 5 \text{ cm}$), which accounted for 27.0%, and the seedling bank accounted for 24.7%. Therefore, the population was stable with lots of seedling and young trees pool. (2) Diameter class II ($h > 1.3 \text{ m}$, $\text{DBH} < 1 \text{ cm}$) and Class I ($h < 1.3 \text{ m}$) has the highest life expectancy. At Class V ($5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 7.5 \text{ cm}$), there was an inflection point of life expectancy. In Class I, Class II, Class III and Class IV, the life expectancy of *L. subcordatum* decreased with the age increasing. In Class VI, Class VII, Class VIII and Class IX, the life expectancy of *L. subcordatum* was increased firstly and then decreased with the age increasing. (3) Class V had the highest mortality and disappeared rate, because of the environmental sieve especially water stress. The trend of mortality curve was consistent with disappeared rate curve and the curve was up and then slightly down with aging. (4) The survival curve was monotone decreased except for Class II to Class III ($1 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 2.5 \text{ cm}$). (5) To protect the species more effectively, the best way is in-situ conservation (on-site maintenance). The medium diameter class of *L. subcordatum* needs more attention to tending. The *L. subcordatum* population in Maolan can have a better recovery potential, as long as continue to maintain the reforestation politics.

Key words: rare and endangered plants, diameter structure, static life table, survival curve, Maolan National Natural Reserve

四药门花 (*Loropetalum subcordatum*) 是金缕梅科 (Hamamelidaceae) 檤木属 (*Loropetalum*) 的珍稀濒危植物 (张宏达, 1979), 为我国二级保护植物 (傅立国, 1991)。该物种分布区域狭窄, 首次发现于香港, 曾一度认为是香港特有种 (邢福武等, 1999)。1957 年后陆续在广西龙州、贵州茂兰、广东五桂山发现十分稀少的植株 (申长青等, 2016)。

对四药门花的研究包括系统分类 (Feng et al, 1999; 章群等, 2001)、地理分布 (左家哺, 1991)、传粉生物学特征 (顾垒和张奠湘, 2008)、自然种群的遗传结构 (Gong et al, 2010)、快速繁殖技术 (何妙坤等, 2013; 孙红梅等, 2015) 等关于濒危机制和繁殖体来源的研究。但是, 种群结构一直是种群生态学的核心问题 (张萱蓉等, 2016), 而目前四药门花种群特征的研究结果较少, 仅有对广东五桂山地区的自然种群的结构 (陈真权等, 2009)、生态生物学特性 (黄柔柔等, 2016) 和自然分布特征 (陈晓熹等, 2016) 的研究, 结果认为该地的四药门花种群为衰退种群且种群结构不稳定。不同地区的野生植物种群特征不同 (张志祥等, 2008), 研究不同地区的野生植物种群特征有助于详细了解该物种的生存状况, 进而提出切实有效的保护措施。本研究对贵州茂兰喀斯特森林自然保护中的四药门花种群进行调查, 分析其径级结构、静态生命表等种群特征指标, 揭示该保护区内的种群动态趋

势, 从而为该物种的有效保护提供决策依据。

1 研究地自然环境

贵州茂兰国家级自然保护区位于贵州省荔波县境内, 与广西壮族自治区环江县接壤, 毗邻木伦国家级自然保护区。地理位置为 $107^{\circ}52'10''$ — $108^{\circ}45'40''$ E, $25^{\circ}09'20''$ — $25^{\circ}20'50''$ N, 保护区内地势高低起伏大, 山势险峻, 保护区最高海拔 1 078 m, 最低海拔 430 m, 相对高差有 648 m。保护区地处中亚热带季风湿润气候区, 雨量充沛, 光照条件好, 春秋温暖、冬无严寒、夏无酷暑。1 月平均气温 $5.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 月平均气温 $23.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温为 $4\ 598.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。全年降水量为 $1\ 752.5 \text{ mm}$, 集中分布在 4—10 月, 年平均相对湿度 83%。全年日照时数 $1\ 272.8 \text{ h}$ (周政贤, 1987)。保护区内植被受季风和地质条件影响, 以常绿、落叶阔叶混交林为主; 土壤为石灰土, 土被不连续。

2 研究方法

2.1 样地调查

踏查中发现茂兰保护区内的四药门花主要分布在山体中部的狭长地带, 因此选择样带法进行调查。选择 5 个具有代表性的四药门花分布地, 分别

设置 40 m×10 m 的样带(调查面积共 2 000 m²)(陈真权等,2009),记录每样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、枯落物厚度、AO 层厚度(表 1)等,将每个样带分为 4 个 10 m×10 m 的样方,调查样方中四药门花所有植株。将四药门花分为三个等级:高度(h)<1.3 m 为幼苗;h≥1.3 m 且胸径(DBH)<1 cm 为幼树;DBH≥1.0 cm 为乔木,对乔木记录胸径、高度和冠幅。调查区四药门花群落可分为三层,其中乔木

层最大高度 8 m,郁闭度 0.8,乔木层主要种类有香叶树(*Lindera communis*)、九里香(*Murraya exotica*)和四药门花等;灌木层高度为 1.3~2.2 m,盖度 30%,主要种类有针齿铁仔(*Myrsine semiserrata*)、香叶树等;草本层高度约 20 cm,盖度 50%,主要种类有中华薹草(*Carex chinensis*)、深绿卷柏(*Selaginella doederleini*)等。调查地土壤疏松,土被不连续,AO 层较厚。

表 1 贵州茂兰保护区四药门花样点概况

Table 1 Basic status of *Loropetalum subcordatum* sampling points in Maolan Natural Reserve, Guizhou

样号 Sampling code	经纬度 Latitude and longitude	海拔 Altitude (m)	坡度 Gradient (°)	坡向 Aspect (°)	平均树高 Mean height (m)	平均胸径 Mean DBH (cm)	AO 层厚度 AO thickness (cm)	枯枝落物 Litter thickness (cm)
A	107°56'09.90" E, 25°20'04.59" N	861	26	342	4.30	2.87	1.4	1.8
B	107°56'16.01" E, 25°20'07.79" N	877	33	288	4.14	2.91	3.0	4.4
C	107°55'37.61" E, 25°18'28.74" N	907	31	192	5.09	3.79	3.5	8.5
D	107°55'35.81" E, 25°18'32.54" N	896	30	335	4.53	3.18	2.8	6.8
E	107°55'54.21" E, 25°18'44.24" N	857	27	73	3.26	2.67	2.2	4.7

2.2 径级划分

划分龄级是研究种群生命表、存活曲线等的关键(何亚平等,2008),种群的龄级和径级虽不是严格对应的,但在相同环境下,同一树种的龄级和径级具有一致性(Frost & Rydin, 2000)。对保护物种,不宜采用砍伐等方式获取该物种的年龄,目前学者大多采用径级结构代替年龄级结构(张萱蓉等,2016;Ma et al,2013)。本研究采用径级结构代替年龄级结构分析四药门花种群特征,根据前人研究方法和调查区四药门花种群的特点,将径级按以下标准划分:个体 h<1.3 m 的为 I 级。个体 DBH<1 cm 且 h>1.3 m 的为 II 级。个体 DBH≥1 cm 的分为七级:Ⅲ级为 1 cm≤DBH<2.5 cm;Ⅳ级为 2.5 cm≤DBH<5 cm;Ⅴ级为 5 cm≤DBH<7.5 cm;Ⅵ级为 7.5 cm≤DBH<10 cm;Ⅶ级为 10 cm≤DBH<12.5 cm;Ⅷ级为 12.5 cm≤DBH<15 cm;Ⅸ级为 DBH≥15 cm。

2.3 生命表编制

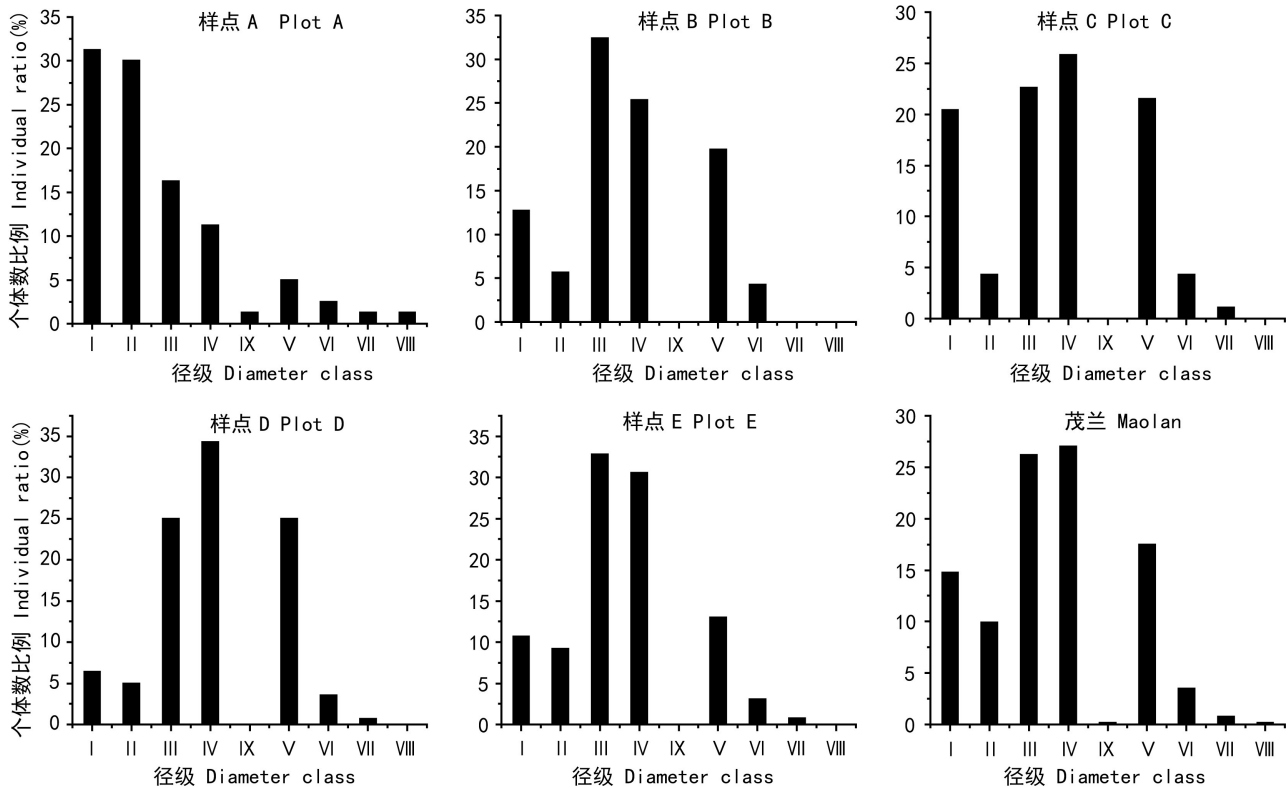
生命表是判定种群趋势的重要指标,可反映

种群现实状况,种群与环境的竞争关系(陈远征等,2006)。统计各径级株数,依据野外调查各径级存活数(a_x),计算出 x 龄级开始时的标准化存活数(l_x)、死亡数(d_x)、死亡率(q_x)、从 x 到 $x+1$ 龄级的平均存活个体数(L_x)、从第 x 径级起的超过 x 径级的活的个体数(T_x)、生命期望(e_x)、消失率(K_x)等编制生命表并绘制种群存活曲线。计算公式如下:

$$l_x = a_x/a_0 \times 1\ 000; d_x = l_x - l_{x+1}; q_x = d_x/l_x \times 100\%; L_x = (l_x + l_{x+1})/2; T_x = \sum l_x; e_x = T_x/l_x; K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}。$$

3 结果与分析

本次调查共调查到四药门花个体 515 株,其中幼苗(h<1.3 m)的个体 76 株,DBH≥1.0 cm 的有 388 株(占 75.3%),胸径最大的为 17.5 cm,平均胸径(3.8±2.4)cm。四药门花在乔木层的平均值 12.06±5.37,灌木层 4.94±2.84,草本层 2.57±



注：I级(幼苗). 胸径<1 cm, 高度<1.3 m; II级(幼树). 胸径<1 cm, 高度>1.3 m; III级(小树). 1 cm≤DBH<2.5 cm; IV级(中树). 2.5 cm≤DBH<5 cm; V级(中大树). 5 cm≤DBH<7.5 cm; VI级(大树). 7.5 cm≤DBH<10 cm; VII级(老树). 10 cm≤DBH<12.5 cm; VIII级(老树). 12.5 cm≤DBH<15 cm; IX级(老树). DBH≥15 cm。下同。

Note: Class I (Seedling). DBH<1.0 cm, tree height<1.3 m; Class II (Sapling). DBH<1.0 cm, tree height≥1.3 m; Class III (Small tree). 1 cm ≤DBH<2.5 cm; Class IV (Medium tree). 2.5 cm ≤DBH<5 cm; Class V (Medium big tree). 5 cm ≤DBH<7.5 cm; Class VI (Big tree). 7.5 cm ≤DBH<10 cm; Class VII (Old tree). 10 cm ≤DBH<12.5 cm; Class VIII (Old tree). 12.5 cm ≤DBH<15 cm; Class IX (Old tree). DBH≥15 cm. The same below.

图1 贵州茂兰各样点四药门花的径级结构

Fig. 1 Diameter class structure of *Lorpetalum subcordatum* from sampling points in Maolan Natural Reserve, Guizhou

0.90,属于共优种,这与样地选择中只选择有四药门花分布的地段有关。

3.1 四药门花种群径级结构

贵州茂兰四药门花种群的径级结构见图1。

样地之间的四药门花个体数存在较大差异。样点A共有80株,样点B为71株,样点C为93株,样点D为140株,样点E为131株。

不同样地种群不同径级个体数差异显著(图1),样点A以I、II径级为主,个体数比例61.3%;样点B以III径级最多,个体数比例32.3%;样点C和样点D以IV径级为主,个体数比例分别为25.8%和34.3%;样点E以III径级为主,个体数比例32.8%。

整体上,将5个样点看为贵州茂兰的四药门种群,则个体数比例最大的为IV径级(27.0%),其次为III径级(26.2%),而作为幼苗库的I、II龄级合计个体数比例为24.7%,说明茂兰的四药门花种群具有较大的幼苗库,具有较强的更新能力。

根据种群的年龄结构,一般将种群划分为增长型、稳定型和衰退型3种,在增长型种群中,中老年级所占比例较小,幼龄级个体数的比例最大,种群自然更新能力强;稳定型种群中,各年龄级个体数基本相等,种群处于稳定状态;衰退型种群则幼龄级个体比例小,中老年级个体数较多,不利于种群的更新,种群趋于衰退。贵州茂兰不同样地

的四药门花种群年龄结构类型不同, A 以 I、II 龄级为主, 为增长型; B、C、D、E 以中老龄级为主, 为稳定型。若将 A、B、C、D、E 五个样地的四药门花种群汇总, 代表贵州茂兰的四药门花种群, 则幼苗

库相对较少, 为稳定型。

3.2 静态生命表分析

根据调查结果, 编出茂兰四药门花种群特定时间生命表见表 2。

表 2 贵州茂兰四药门花种群静态生命表

Table 2 Static life table of *Loropetalum subcordatum* population in Maolan Natural Reserve, Guizhou

龄级 Age class	径级范围 DBH class	平均胸径 Mean DBH	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	K_x	e_x
I	h<1.3 m	—	76	1 000	6.91	329	0.33	836	6 250.00	0.40	6.25
II	DBH<1 cm	—	51	671	6.51	-1 105	-1.65	1 224	5 434.00	-0.97	8.10
III	1~2.5 cm	1.5	135	1 776	7.48	-53	-0.03	1 803	4 210.50	-0.03	2.37
IV	2.5~5 cm	3.7	139	1 829	7.51	645	0.35	1 507	2 408.00	0.43	1.32
V	5~7.5 cm	5.9	90	1 184	7.08	960	0.81	704	901.50	1.67	0.76
VI	7.5~10 cm	8.6	17	224	5.41	171	0.76	139	197.50	1.44	0.88
VII	10~12.5 cm	10.9	4	53	3.97	27	0.51	40	59.00	0.71	1.11
VIII	12.5~15 cm	13.4	2	26	3.26	13	0.50	20	19.50	0.69	0.75
IX	≥15 cm	17.5	1	13	2.56	13	1.00	7	6.50	—	0.50

注: I-IX 同图 1; x . 龄级; a_x . 从 x 龄级开始时的实际存活数; l_x . x 龄级开始时的标准化存活数; d_x . 从 x 到 $x+1$ 龄级的标准化死亡数; q_x . x 龄级的个体死亡率; L_x . 从 x 到 $x+1$ 龄级的平均存活个体数; T_x . x 龄级及以上各龄级的存活个体数; e_x . 进入 x 龄级个体的平均生命期望; K_x . 种群消失率。

Note: I-IX are the same as Fig.1; x . Age class; a_x . Real survival individual number at beginning of x age class; l_x . Standardized survival individual number at beginning of x age class; d_x . Standardized death number from x to $x+1$ age class; q_x . Individual mortality rate at x age class; L_x . Average survival individual number from x to $x+1$ age class; T_x . Survival individual number from x to higher age class; e_x . Average expectative life of individuals into x age class; K_x . Disappearance rate of population.

从静态生命表(表 2)可以看出, 四药门花种群 IV 龄级个体数最多, 其次为 III 龄级, 在 II、III 龄级的死亡率(q_x)为负值, 死亡率最高的为 V 龄级。四药门花生命期望值(e_x) 在 V 龄级形成一个拐点, 在 I、II、III、IV、V 龄级随着年龄的增加, 预期寿命降低, V 龄级后则先升后降, 反应四药门花中树进入林上层后, 可能因竞争较弱而更适应其生长; 同时, 生命期望值最大值为 h>1.3 m、DBH<1 cm 即 II 龄级, 其次为 I 龄级, 反应该龄级平均生长状况良好, 有利于种群增长。

本研究龄级为横坐标绘制四药门花的存活曲线、消失度曲线和死亡率曲线。四药门花的死亡率曲线(图 2, q_x) 因 II 龄级比 III 龄级少而出现负值, 之后先升后降但降幅较小, 展现了四药门花种群有一定的幼苗和成熟个体, 具有较强的自我

更新能力。四药门花的消失度曲线(图 2, K_x) 与死亡率曲线趋势一致, 但其在龄级 V 出现较高的消失度, 对应其刚进入林上层阶段, 其原因可能是该阶段环境筛影响剧烈, 因为四药门花属于较耐阴物种且对水分胁迫敏感。四药门花的存活曲线[图 2, $\ln(l_x)$] 除在 II 龄级到 III 龄级有小幅上升外, 基本是单调递减。

4 讨论与结论

4.1 四药门花种群特征

种群的年龄结构在一定程度上反映了种群与环境的关系及其在群落中的地位(孙儒泳等, 1993), 但生境的差异会对种群的结构产生重要影响而使同样地之间的植物种群结构不同(宋萍

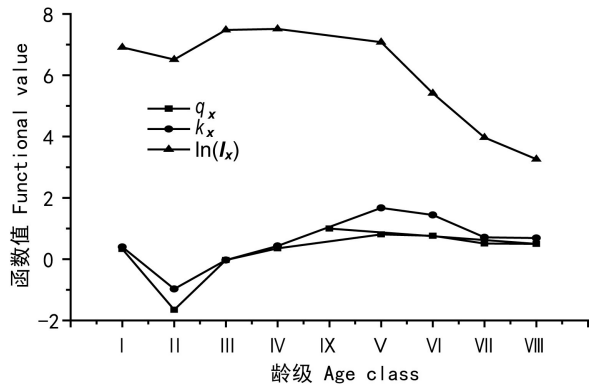


图2 贵州茂兰四药门花种群的存活曲线 $[\ln(L_x)]$ 、死亡率曲线(q_x)和消失度曲线(K_x)

Fig. 2 Survival curve $[\ln(L_x)]$, mortality rate curve (q_x) and disappeared rate curve (K_x) of *Loropetalum subcordatum* in populations Maolan Natural Reserve, Guizhou

等,2005)。本研究中,贵州茂兰的四药门花种群在不同样地中的种群结构有增长型和稳定型2种,而非喀斯特环境的广东五桂山四药门花种群表现为衰退型(陈真权等,2009;黄柔柔等,2016),反映了异质性高的喀斯特生境对种群的发育具有显著影响。整体而言,贵州茂兰的四药门花种群幼苗(I、II级)库较大(24.7%),高于广东五桂山的(14.3%),尤其是I级幼苗(14.9%)远高于五桂山(0.0),因此,贵州茂兰的四药门花种群基本能实现自我更新与维持。同时,为了深入了解四药门花主要分布地的种群特征,以了解中国特有的四药门花的生长状况,需要加强合作以实现尚缺乏研究的广西龙州和香港的群落和种群调查。

四药门花属于较耐阴物种,但对水分胁迫敏感(申长青,2016)。本研究中,茂兰自然保护区的四药门花群落为喀斯特次生林,喀斯特生境独特的临时性干旱导致四药门花刚进入林上层时(龄级V)易于与其他物种因水分竞争而产生较高的消失度,一旦其在竞争中获得优势,将能产生一定数量的种子;而喀斯特生境独特的异质性为该物种的萌发与幼苗存在提供了多样化的生境,在人为干扰较少的情况下(保护区内),成熟的种子能顺利萌发以实现自我更新维持。广东五桂山(陈

真权等,2009)的四药门花种群III级较多,但进入IV级的植株很少,贵州茂兰的种群在中树及以上的径级的结果与此相同。

贵州茂兰喀斯特森林中的四药门花在其集中分布区的典型地段常常成为群落的共优种,主要得益于保护较早而得到恢复,个体长成后虽然结实率低(顾垒和张奠湘,2008),但作为分布地段群落的共优种,有一定的数量植株产生种子,因此,具有较大的幼苗、幼树库。随着四药门花的生长,其在进入林上层中产生了较高的死亡率,且其期望寿命相对较短,在群落的后续演替中可能因不适应生境和种子萌发能力低而消失。

4.2 四药门花种群保护对策

四药门花的花型、果型均具有一定的观赏性,可以作为园林绿化中较理想的乡土物种进行推广。虽然四药门花种子萌发能力较弱(顾垒和张奠湘,2008),但其具有较强的萌孽能力,可以通过扦插(何妙坤等,2013)和组培(孙红梅等,2015)产生新个体,有利于该物种的人工种植。但野生种群的就地保护是维持物种遗传多样性的最好方式,遗传多样性高有利于新品种的开发从而促进物种的保护。

对贵州茂兰四药门花种群的就地保护,主要应注意以下几方面:(1)对四药门花的幼苗、幼树,延续现在的封禁模式,减少干扰从而避免现有幼苗库的损失;对幼苗、幼树密度过大的斑块进行抚育间伐,留强去弱,使幼苗、幼树向中树发育。(2)对中树加强人工抚育,增强其竞争能力,以促进其成熟产生种子。(3)在老龄期,可以合理修剪以促进其萌芽(sprouting)能力,进而提高开花结实率。

参考文献:

- CHEN XX, SHEN CQ, HONG WJ, et al, 2016. Distribution of *Loropetalum subcordatum* in Zhongshan Wuguishan, a plant species with extremely small populations [J]. J Anhui Agric Sci, 44(23): 1-3. [陈晓熹, 申长青, 洪文君, 等, 2016. 极小种群植物四药门花在中山五桂山的种群分布 [J]. 安徽农业科学, 44(23): 1-3.]
- CHEN YZ, MA XQ, FENG LZ, et al, 2006. The population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum*, an endangered plant [J]. Acta Ecol Sin, 26(12): 4267-4272.

- [陈远征, 马祥庆, 冯丽贞, 等, 2006. 濒危植物沉水樟的种群生命表和谱分析 [J]. 生态学报, 26(12):4267-4272.]
- CHEN ZQ, ZHUANG XY, HUANG JX, et al, 2009. Ecological study of the population of *Loropetalum subcordatum* in Wuguishan, Guangdong Province [J]. Guangdong For Sci Technol, 25(5):41-45. [陈真权, 庄雪影, 黄久香, 等, 2009. 广东五桂山四药门花种群生态学研究 [J]. 广东林业科技, (5):41-45.]
- FENG YX, CHEN ZD, WANG XQ, et al, 1999. Taxonomic revision of the *Loropetalum tetrathyrium* complex and its systematic position in the Hamamelidaceae, based on morphology and ITS sequence data [J]. Taxon, 48: 689-700.
- FU LG, 1991. China plant red data book [M]. Beijing: Science Press. [傅立国, 1991. 中国植物红皮书 [M]. 北京: 科学出版社.]
- FROST I, RYDIN H, 2000. Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed tree *Quercus robur* in two spruce-dominated forests [J]. Ecoscience, 7(1):38-44.
- GU L, ZHANG DX, 2008. Autogamy of an endangered species; *Loropetalum subcordatum* (Hamamelidaceae) [J]. J Sys Evol, 46(5):651-657. [顾垒, 张莫湘, 2008. 濒危植物四药门花的自花授粉 [J]. 植物分类学报, 46(5): 651-657.]
- GONG W, GU L, ZHANG D, 2010. Low genetic diversity and high genetic divergence caused by inbreeding and geographical isolation in the populations of endangered species *Loropetalum subcordatum* (Hamamelidaceae) endemic to China [J]. Conserv Gene, 11(6): 2281-2288.
- HE MK, HUANG JX, HUANG CT, et al, 2013. Studies on the cutting propagation of *Loropetalum subcordatum* [J]. Prac For Technol, (11):50-53. [何妙坤, 黄久香, 黄川腾, 等, 2013. 四药门花扦插繁殖技术研究 [J]. 林业实用技术, (11):50-53.]
- HE YP, FEI SM, JIANG JM, et al, 2008. Influences of substituting size variable for age on population survival analysis: a case study for *Pinus tabulaeformis* and *P. armandii* in Qinling Mountain, China [J]. Chin J Plant Ecol, 32(2): 448-455. [何亚平, 费世民, 蒋俊明, 等, 2008. 不同龄级划分方法对种群存活分析的影响——以水灾迹地油松和华山松种群生存分析为例 [J]. 植物生态学报, 32(2): 448-455.]
- HUANG RR, YE ZL, ZHANG QM, et al, 2016. The ecological and biological characteristics of *Loropetalum subcordatum* [J]. Ecol Sci, 35(3): 52-55. [黄柔柔, 叶子霖, 张倩娟, 等, 2016. 四药门花(*Loropetalum subcordatum*)的生态生物学特性研究 [J]. 生态科学, 35(3):52-55.]
- KANG HJ, CHEN ZL, LIU P, et al, 2007. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province [J]. Acta Ecol Sin, 27(1): 389-396. [康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等, 2007. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局 [J]. 生态学报, 27(1):389-396.]
- MA K, LI GY, ZHU LJ, et al, 2013. Population structure and distribution patterns of the rare and endangered *Ardisia violacea* (Myrsinaceae) [J]. Acta Ecol Sin, 33(2):72-79.
- SHEN CQ, HONG WJ, HUANG JX, et al, 2016. Effect of pruning and paclobutrazol (PP₃₃₃) on dwarfing of *Loropetalum subcordatum* [J]. Guangdong Landscape Archit, (1): 46-48. [申长青, 洪文君, 黄久香, 等, 2016. 修剪和多效唑对四药门花矮化效应初探 [J]. 广东园林, (1):46-48.]
- SHEN CQ, 2016. The study on adaptation of droughty and shade stress of *Loropetalum subcordatum* [D]. Guangzhou: South of China Agricultural University. [申长青, 2016. 濒危植物四药门花对光照和水分胁迫的适应性研究 [D]. 广州: 华南农业大学.]
- SONG P, HONG W, WU C, et al, 2005. Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa* [J]. Chin J Appl Ecol, 16(3):413. [宋萍, 洪伟, 吴承祯, 等, 2005. 珍稀濒危植物桫欏种群结构与动态研究 [J]. 应用生态学报, 16(3):413-418.]
- SUN HM, CHEN Y, LIANG YX, et al, 2015. A brief study of cottage *in vitro* of *Loropetalum subcordatum* [J]. Xiandai Hortic, (4): 12-13. [孙红梅, 陈彦, 梁银兴, 等, 2015. 濒危植物四药门花的组织培养研究初探 [J]. 现代园艺, (4):12-13.]
- SUN RY, LI B, ZHUGE Y, et al, 1993. General ecology [M]. Beijing: High Education Press. [孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 等, 1993. 普通生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社.]
- XING FW, RICHARD TC, ZHOU JC, 1999. Study on the flora of Hong Kong [J]. J Trop Subtrop Bot, 7(4):295-307. [邢福武, Richard, 周锦超, 1999. 香港的植物区系 [J]. 热带亚热带植物学报, 4(4):295-307.]
- ZHANG HD, 1979. Flora Republicae Popularis Sinicae [Vol.35(2)]; Hamamelidaceae [M]. Beijing: Science Press. [张宏达, 1979. 中国植物志(第35卷第2分册):金缕梅科 [M]. 北京: 科学出版社.]
- ZHANG Q, SHI SH, HUANG YL, et al, 2001. ITS sequences of Hamamelidoideae and their systematic significance [J]. J Wuhan Bot Res, 19(6):445-448. [章群, 施苏华, 黄椰林, 等, 2001. 金缕梅亚科 ITS 序列分析及其系统学意义 [J]. 武汉植物学研究, (6): 445-448.]
- ZHANG XR, LI D, YANG XB, et al, 2016. Population characteristics of wild litchi resource in Wanning, Hainan Province [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 36(3):596-605. [张萱蓉, 李丹, 杨小波, 等, 2016. 海南省万宁市野生荔枝资源种群特征研究 [J]. 西北植物学报, 36(3):596-605.]
- ZHANG ZX, LIU P, CAI MZ, et al, 2008. Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered *Tsuga tchekiensis* in Jiulongshan Nature Reserve of China [J]. Chin J Plant Ecol, 32(5):1146-1156. [张志祥, 刘鹏, 蔡妙珍, 等, 2008. 九龙山珍稀濒危植物南方铁杉种群数量动态 [J]. 植物生态学报, 32(5):1146-1156.]
- ZHOU ZX, 1987. Scientific survey of the Maolan karst forest [M]. Guiyang: Guizhou People Press. [周政贤, 1987. 茂兰喀斯特森林科学考察集 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社.]
- ZUO JF, 1991. Preliminary study on the flora of Hamamelidaceae in Guizhou Province [J]. Guizhou For Sci Technol, (1):1-6. [左家喙, 1991. 贵州金缕梅科植物区系地理学的初步研究 [J]. 贵州林业科技, (1): 1-6.]