

三清山濒危植物天女花种群生殖对策研究

郭连金, 贺昱, 徐卫红*

(上饶师范学院, 江西上饶 334001)

摘 要: 天女花是国家Ⅲ级保护植物, 为了解其生存状况、生殖潜能、生态对策以及为该植物的保护提供理论依据, 运用种群年龄结构、生殖力表和生殖值表, 研究了三清山濒危植物天女花 (*Magnolia sieboldii*) 在三清宫和玉京峰 4 个样地中的种群动态及生殖策略。结果显示: (1) 三清山天女花种群幼苗较少 ($8.8 \sim 12.3$ 株/100 m²), 中龄个体数量多 ($12.0 \sim 15.0$ 株/100 m²); (2) 4 个样地种群生育力均较低, 但生境较好的样地最低 (177.0 粒/株), 而生境较差的样地最高 (218.3 粒/株), 生殖适度与之相反; (3) 生殖值 V_x 极大值出现的时间与群落的稳定性相反, 较差的生境条件往往导致天女花最短时间内达到最大生殖阶段; (4) 天女花种群生殖投资较少, 生态对策总体属于 k 对策者, 但在较差的生境中表现出增大生殖投资, 即存在 r 对策种群特征; (5) 海拔、郁闭度、坡向和岩石裸露率对天女花生殖产生显著影响, 与天女花生殖指标表现为多元线性关系。

关键词: 天女花; 生殖力; 生殖值

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2012)02-0153-08

Reproductive Strategy of Endangered Plant *Magnolia sieboldii* in Sanqing Mountain

GUO Lian-Jin, HE Yu, XU Wei-Hong

(Shangrao Normal University, Shangrao, Jiangxi 334001, China)

Abstract: *Magnolia sieboldii* is placed in the third class in rank of key species for conservation in China. To determine their living status, reproductive potential, ecological countermeasures and provide a theoretical basis for the conservation of this endangered plant, this paper studies the species' dynamics and reproductive strategy of the endangered plant in four sampling sites using age class, fecundity schedule and reproductive value. The results showed that: (1) *Magnolia sieboldii* seedlings were less ($8.8 - 12.3$ individual/100 m²), while the number of middle aged individuals ($12.0 - 15.0$ individual /100 m²) was more than other plants. (2) The population fecundities were low and differed in the four plots, with the lowest fecundity (177.0 seed/individual) in better habitat and the highest (218.3 seed/individual) in poor habitat. (3) The maximum reproductive value increased with decreasing stability of the community, which often led to *Magnolia sieboldii* reaching maximum reproductive stage in poor habitat at the shortest time. (4) Ecological countermeasures of *Magnolia sieboldii* showed mainly the k-strategy characteristics, but in less stable community the reproductive parameters were greatly changed, showing an r-strategy characteristics. (5) Altitude, slope aspect, canopy density, and percentage of exposed rock, significantly affected the reproductive index of *Magnolia sieboldii*. Stepwise regression analysis showed that multiple linear relationships

收稿日期: 2011-11-03, 修回日期: 2011-12-10。

基金项目: 江西省自然科学基金项目(2010GZ0148); 江西省教育厅科技项目(GJJ12608); 上饶师范学院植物学创新团队招标课题经费资助。

作者简介: 郭连金(1976-), 男, 硕士, 副教授, 从事植物生态学研究(E-mail: guolianjin@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: xwh321321@163.com)。

appeared between reproductive index of *Magnolia sieboldii* and environment factors, removed the moisture content of soil and litter layer.

Key words: *Magnolia sieboldii*; Fecundity; Reproductive value

植物生殖生态学是研究植物生殖与生物和非生物环境之间相互关系的科学,它以生殖生物学和生态学理论与方法为基础^[1],主要研究植物种群的生活史格局、生殖配置、生殖力、生殖值、生殖产量及生殖对策与生物、非生物环境条件的相互作用、相互适应关系以及在进化上的意义等^[2],现已成为植物生态学的研究热点之一^[3],国内外学者主要以草本植物为生殖生态学的研究对象,很少以灌木、乔木为研究对象。天女花(*Magnolia sieboldii* K. Koc),隶属于木兰科木兰属(*Magnolia*),为中国三级保护植物,分布于辽宁、安徽、浙江、江西等地。该物种在医药、化工以及生物多样性维持中发挥着极为重要的作用^[4]。天女花以种子繁衍后代,繁殖能力弱,自然更新差,更新不良。我们以三清山天女花为研究对象,对其种群结构、生殖对策进行研究,旨在了解濒危植物的生殖潜能,探讨濒危植物种群的生殖适应生态学机制,为濒危植物保护提供理论依据。

1 研究地自然概况

三清山是中国第七个世界自然遗产地,国家4A级风景名胜区,位于德兴、玉山两县交界处,处在信江与饶河分水岭地带,地理坐标为北纬28°54'~28°57'、东经118°00'~118°06',最高峰为玉京峰,海拔1816.9 m,位于东北—西南走向的怀玉山脉东端,为信江河的发源地^[5]。风景区内主要有面东和面西2条栈道,分别称为东海岸和西海岸。本区属亚热带湿润性季风气候,山上山下气候差异较大。在山顶的三清宫处(海拔1532.8 m),年均温为10.9℃,最热月均温为20.7℃,最冷月均温为-0.6℃,年均降水量为1857.7 mm;山下年均温则为18.12℃,最热月均温为29.17℃,最冷月均温为6.00℃,年均降水量为1840.9 mm^[6]。植被以常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、山顶矮林、针叶林、竹林等类型为主。天女花大多散生于山顶矮林内,其伴生种有黄山杜鹃(*Rhododendron maculiferum*)、米心水青冈(*Fagus engleriana*)、黄山栎(*Quercus stewardii*)、华东槲(*Tilia japonica*)、四

照花(*Dendrobenthamia japonica*)、五角枫(*Acer mono*)、木蜡树(*Toxicodendron sylvestris*)、黄山花楸(*Sorbus amabilis*)、野珠兰(*Stephanandra chinensis*)等等。

2 研究方法

2.1 样地设置及生态因子调查

在天女花分布区内选择有代表性的三清宫和玉京峰地段天女花种群为研究对象,分别设置2个样地,由于天女花主要分布于溪流沿岸,选取样地面积为10 m×100 m,进行野外调查。(1)群落生态学调查(表1):记录每个样地海拔、坡度、坡向、乔木层郁闭度、岩石裸露率、枯枝落叶层厚度等生境指标。用相邻格子法进行每木调查,以5 m×5 m为基本单位,记录全部乔木树种的树高、胸径、冠幅、树势等^[7]。(2)土壤含水量测定:土壤水分测定样品于10月2日完成取样,各样地沿对角线分别取3个0~20 cm土壤样品,测定水分含量。

表1 2010年10月天女花林内环境状况
Table 1 Environment survey in *Magnolia sieboldii* plantations in Oct. 2010

环境因子 Environmental factor	玉京峰 Yujing Peak		三清宫 Sanqing Temple	
	Q1	Q2	Q3	Q4
海拔(m) Altitude	1628	1705	1537	1521
坡向 Slope aspect	阴坡	半阳坡	半阴坡	半阳坡
郁闭度 Canopy density	0.55	0.81	0.71	0.67
土壤含水量(%) Soil moisture	9	16	18	13
岩石裸露率(%) Percentage of exposed rock	45	14	3	12
枯落物厚度(cm) Litter layer	2	3	5	2

注: Q1, Q2, Q3, Q4 分别代表4个样地,下同。

Notes: Q1, Q2, Q3, Q4 representing 4 plots, respectively. The same below.

2.2 种子数量及质量调查

于2009~2011年在天女花种子雨前,采用标准枝法^[8],随机选择4个样地中每颗母树一个标准

枝,采集所有种子,以获得每棵母树产生有活力的种子数[采用四唑(TTC)染色法检验种子活力^[9]]。

2.3 龄级划分

由于测定植物种群个体年龄较为困难,且部分学者认为,径级结构可能是比年龄更好地繁殖产量的预测者^[10,11],所以本试验以胸径代表个体的年龄来研究其组成结构。将径级分为10级,每2 cm为一个径级,即:0~2 cm为Ⅰ径级,2~4 cm为Ⅱ径级,4~6 cm为Ⅲ径级,6~8 cm为Ⅳ径级,8~10 cm为Ⅴ径级,10~12 cm为Ⅵ径级,12~14 cm为Ⅶ径级,14~16 cm为Ⅷ径级,16~18 cm为Ⅸ径级,>18 cm为Ⅹ径级。统计每级个体株数。

2.4 生殖力表的编制

在编制静态生命表的基础上编制生殖力表,其中, b_x 为生育力(生物产生后代的能力,本研究以可育种子为后代),为 x 径级所有植株个体生产的可育种子总数除以该径级中所有植株个体总数的平均值; R_0 为净生殖率^[12,13],一般也称之为生殖适度,即: $R_0 = \sum l_x \times b_x$ 。式中的 l_x 表示年龄 x 的存活率。

2.5 生殖表的编制

生殖值 V_x 是一个特定年龄的个体在死亡以前可能产生的子代数目的量度,通常指一个年龄为 x

的平均个体在死亡之前对下一代的相对贡献,其计算公式为^[14]:

$$V_x = b_x + \sum_{i=1}^a (\frac{l_{x+i}}{l_x} \times b_{x+i})$$
 (式中 i 表示年龄,从1到 a)。

剩余生殖值(RRV)表示 x 龄后下一生殖期产生更多子代的机会,即:

$$RRV_x = \frac{l_{x+1}}{l_x} \times V_{x+1}。$$

累积剩余生殖值($SRRV$)表示植物在 x 季节后到死亡时产生更多子代的机会,即:

$$SRRV_x = \sum_{i=1}^a (\frac{l_{x+i}}{l_x} \times V_{x+i})。$$

整个生活史的总生殖值(TRV)为:

$$TRV_x = V_x + \sum_{i=1}^a (\frac{l_{x+i}}{l_x} \times V_{x+i})。$$

生殖投资策略(ORE)为^[15]:

$$ORE_x = V_x / \sum TRV_x。$$

2.6 数据处理

所有数据采用SPSS 13.0 进行统计分析,其中将环境因子坡向赋值,赋值标准:正南方为0°,向左、右旋转,最北方为180°。

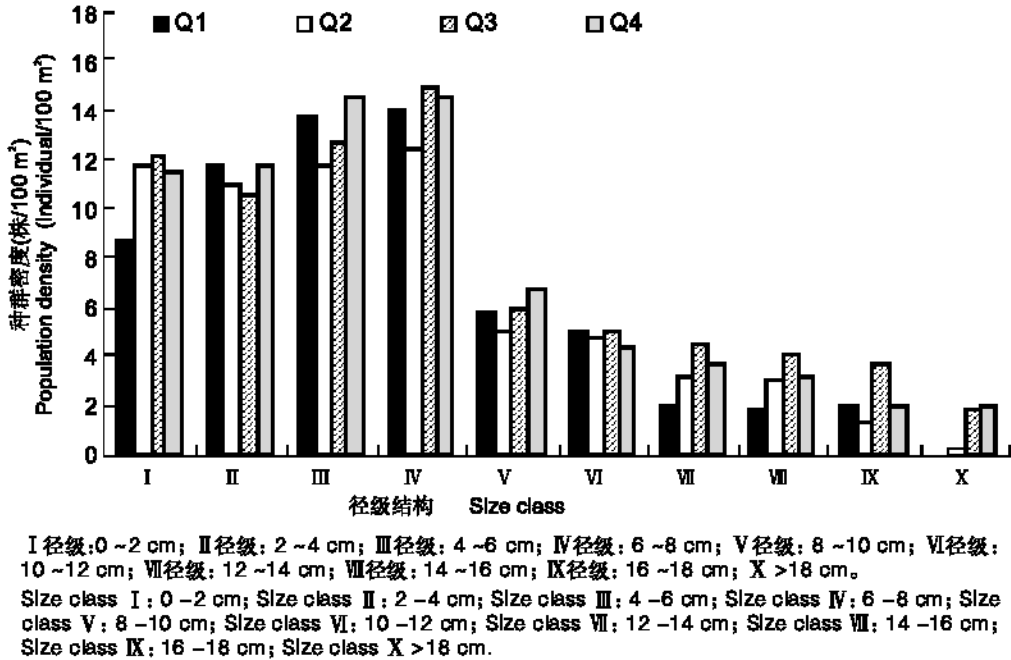


图1 天女花种群径级结构
Fig.1 Size-class structure of *Magnolia sieboldii* population

3 结果与分析

3.1 天女花种群的年龄结构

三清山4个样地中的天女花种群幼苗数量存在一定差别,Q1样地天女花幼苗最少(密度为8.8株/100 m²),而Q2、Q3、Q4样地的幼苗相对较多(11.8株/100 m²、12.3株/100 m²、11.5株/100 m²)。由图1可知,4个样地中幼苗数量总体较少,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ龄级个体数量多,且3个龄级个体数量均在15株/100 m²左右,老龄个体少。

3.2 天女花种群的生殖力分析

野外调查发现,三清山天女花种群个体胸径达到7 cm左右时开始开花结实,为避免匀滑技术的使用掩盖种群结构的真实情况,本文在编制生殖力表时把0~6 cm的个体算作Ⅰ'级,6 cm<Ⅱ'<8 cm,8 cm<Ⅲ'<10 cm,依次类推。而后根据各样地天女花个体存活个体数、种子总产量和生育力等作为基础数据,编制不同生境天女花母树密度、种子总产量、生育力等生殖指标表(表2)。

由表2可见,三清山天女花各生境中母树密度存在一定差异,Q3样地母树密度显著高于其他样地,Q1、Q2较低。天女花母树各生境种子生育力均较弱,每株产生可育种子数在各样地存在一定差异,Q1样地中最大(165.8粒),显著高于其他生境,其次为Q2(136.1粒),Q3最小,为134.3粒。净增值率即生殖适合度,值越大表明物种所在环境越适合该物种生存^[2],本研究中各样地净增值率(R_0)Q3最大,表明Q3样地生境较好,比较适合天女花生存。但该生境中天女花母树平均产种量却最少,显著小于Q1、Q4样地母树产种量,可见天女花的生殖能力受环境的影响较大。在较差的Q1生境条件下,由于种子萌发率、幼苗成活率低,天女花母树尽量产生更多的有活力的种子,以稳定自身种群,甚至扩展种群数量。

3.3 天女花种群的生殖值分析

各样地生殖值 V_x 随龄级的变化趋势基本一致(表3),在Ⅱ'、Ⅲ'级(天女花母树胸径约7~10 cm)龄级迅速增加,而后缓慢下降。最大生殖值

表2 不同生境天女花母树密度、生育力以及生殖适合度
Table 2 Density, fertility and reproductive fitness of *M. sieboldii* seed tree in different squares

生殖指标 Reproductive Index	径级 Size class	Q1	Q2	Q3	Q4
母树密度(株/100 m ²) Density of seed trees (individual/100 m ²)	Ⅱ'	6.0±4.2c	7.5±2.4c	15.0±3.6a	11.6±3.5b
	Ⅲ'	2.4±0.8b	3.0±1.1b	6.0±2.1a	5.5±1.9a
	Ⅳ'	2.2±0.6c	2.9±1.0c	4.9±1.6a	3.5±1.5b
	V'	1.8±0.4b	2.0±0.6b	3.6±2.3a	3.0±1.2a
	Ⅵ'	1.7±0.4c	1.8±0.5c	3.5±1.6a	2.7±1.3b
	Ⅶ'	1.5±0.4c	0.8±0.4d	3.3±1.2a	1.6±0.8b
	Ⅷ'	0.0±0.0b	0.2±0.2b	1.8±1.1a	1.6±0.7a
	Total	15.1±5.4c	18.1±7.7c	38.6±8.0a	29.4±8.4b
生育力 Fertility (b_x)	Ⅱ'	27.0±42.5b	13.7±43.7c	23.9±95.0b	28.7±127.1a
	Ⅲ'	134.1±81.1b	74.1±76.0d	107.8±147.0c	191.8±354.0a
	Ⅳ'	191.5±101.3c	262.2±247.1a	194.8±318.9c	246.2±413.6b
	V'	206.3±92.4d	245.6±223.3c	399.3±645.9a	374.5±522.7b
	Ⅵ'	466.1±150.8a	367.2±255.9b	327.8±485.2c	365.7±471.4b
	Ⅶ'	284.8±213.1a	278.5±119.6b	168.3±314.9c	116.1±109.7d
	Ⅷ'	0.0±0.0c	116.3±11.6a	16.7±13.4b	27.4±34.2b
	Total	165.8±138.3a	136.1±149.5c	134.3±101.4c	155.2±103.6b
生殖适合度 Reproductive fitness (R_0)		110.7±39.2b	117.9±53.9b	156.2±118.3a	149.4±84.3a

注:Ⅰ'径级:0~6 cm(非母树,略);Ⅱ'径级:6~8 cm;Ⅲ'径级:8~10 cm;Ⅳ'径级:10~12 cm;Ⅴ'径级:12~14 cm;Ⅵ'径级:14~16 cm;Ⅶ'径级:16~18 cm;Ⅷ'径级:>18 cm,下同。a、b、c、d为多重比较差异程度, $p<0.05$ 。
Notes: Size class Ⅰ': 0~6 cm (No seed trees, omitted in table 2); Size class Ⅱ': 6~8 cm; Size class Ⅲ': 8~10 cm; Size class Ⅳ': 10~12 cm; Size class Ⅴ': 12~14 cm; Size class Ⅵ': 14~16 cm; Size class Ⅶ': 16~18 cm; Size class Ⅷ': >18 cm. The same below. a, b, c, d represent multiple comparison difference degree, $p<0.05$.

表3 天女花种群生殖值表
Table 3 Reproduction value table of *M. sieboldii* population

径级 Size class	Q1					Q2				
	V_x	RRV	$SRRV$	TRV	ORE	V_x	RRV	$SRRV$	TRV	ORE
I'	980.244	411.720	3361.412	4341.656	0.053	690.757	255.347	2552.023	3242.780	0.051
II'	1007.244	453.082	2949.692	3956.936	0.055	704.757	303.663	2296.676	3001.433	0.052
III'	1103.155	908.377	2496.610	3599.765	0.060	759.157	833.014	1993.014	2752.170	0.056
IV'	1044.633	392.733	1588.233	2632.867	0.067	676.857	466.354	1160.000	2036.856	0.064
V'	981.833	815.500	1195.500	2177.333	0.063	681.594	531.246	693.646	1375.240	0.050
VI'	1087.333	380.000	380.000	1467.333	0.059	575.517	139.000	162.400	737.917	0.042
VII'	285.000	0.000	0.000	285.000	0.015	333.600	23.400	23.400	357.000	0.024
VIII'						117.000	0.000	0.000	117.000	0.009
Σ	6489.444	3361.412	11971.447	18460.891		4739.237	2552.023	8881.159	13620.396	

径级 Size class	Q3					Q4				
	V_x	RRV	$SRRV$	TRV	ORE	V_x	RRV	$SRRV$	TRV	ORE
I'	1040.767	449.901	3860.745	4901.511	0.052	1015.530	401.210	3535.173	4550.702	0.054
II'	1064.767	380.256	3410.843	4475.610	0.053	1044.530	513.945	3133.963	4178.492	0.055
III'	1140.767	1017.510	3030.588	4171.354	0.057	1104.030	745.360	2620.018	3724.047	0.059
IV'	1130.567	1139.567	2013.078	3143.644	0.057	1183.808	965.955	1874.657	3058.465	0.063
V'	1139.567	634.578	873.511	2013.078	0.047	1094.749	738.933	908.703	2003.451	0.058
VI'	713.900	231.000	238.933	952.833	0.036	852.615	142.769	169.769	1022.385	0.045
VII'	246.400	7.933	7.933	254.333	0.012	232.000	27.000	27.000	259.000	0.012
VIII'	17.000	0.000	0.000	17.000	0.001	27.000	0.000	0.000	27.000	0.001
Σ	6493.733	3860.745	13435.631	19929.365		6554.261	3535.173	12269.282	18823.543	

注： V_x ：生殖值； RRV ：剩余生殖值； $SRRV$ ：累计剩余生殖值； TRV ：总生殖值； ORE ：生殖投资策略。下同。
Notes: V_x : Reproductive value; RRV : Residual reproductive value; $SRRV$: Accumulative residual reproductive value; TRV : Total reproductive value; ORE : Reproductive Invest strategy. The same below.

出现的时间 Q1 最早,天女花胸径在 8~10 cm 即达到了最大生殖值,Q3 最晚,在 12~14 cm 才达到最大值。天女花种群剩余生殖值 RRV 在 I 龄级数值均较小,在 III'~IV' 龄级(8~12 cm)达到最大,呈现出先增后减的趋势,其间,Q1、Q2 样地剩余生殖值 RRV 存在波动,这可能是由于生境比较严酷,在有限的资源竞争中处于劣势,该龄级死亡率较高所导致。累积剩余生殖值 $SRRV$ 作为天女花整个生活史的生殖值的消耗过程随年龄增加而单调下降。总生殖值 TRV 和 $SRRV$ 变化趋势一致,成单调下降趋势。 ORE 反映了生殖可能实现或分配的程度,在稳定性较差的环境条件下,植物种群加大实现较大程度的生殖可能,以便尽快恢复其种群和迅速占领地盘,因而会改变生殖投资策略, ORE 值较大。因此 ORE 值和群落的稳定性相反^[2],本研究中 Q1 样地生境较差,林地内砾石较多,郁闭度低,环境容纳量

小,为尽可能增加种群数量,天女花增大生殖策略,该生境中 ORE 最大,这与生殖力分析结果一致。

3.4 环境因子对天女花种群生殖指标的影响

运用逐步回归方法对天女花种群环境因子进行筛选(表 4),结果表明土壤含水量和枯落物厚度对天女花种群生殖指标无显著影响。环境因子与天女花种群生殖指标之间均存在多元线性关系,显著程度均达到极显著,其中海拔和郁闭度对各生殖指标均产生显著影响,坡向仅对生育力 b_x 和 V_x 影响不显著,岩石裸露率仅显著影响生殖值指标(V_x 、 TRV 、 ORE)。

4 讨论

4.1 天女花种群径级结构

木兰科树种是我国常绿阔叶林、常绿落叶阔叶林和热带季雨林的主要建群植物,包含有丰富的材

表 4 天女花种群生殖指标与环境因子的逐步回归模型
Table 4 Stepwise regression model between *M. sieboldii* reproductive index and environmental factors

生殖指标 Reproductive Index	逐步回归模型 Stepwise regression model	F 值 F value	显著性 Sig.
b_x	$y = -0.489 x_1 + 297.183 x_3$	59.025	0.00
R_0	$y = -0.331 x_1 + 0.132 x_2 + 228.712 x_3$	36.927	0.00
V_x	$y = -0.044 x_1 + 33.846 x_3 + 0.223 x_6$	23.249	0.00
$SHRV$	$y = -0.092 x_1 + 0.072 x_2 + 48.179 x_3$	33.742	0.00
TRV	$y = -0.154 x_1 + 0.089 x_2 + 87.200 x_3 + 0.353 x_6$	25.809	0.00
ORE	$y = -7.157 \times 10^{-6} x_1 + 4.717 \times 10^{-6} x_2 + 0.008 x_3 + 3.084 \times 10^{-6} x_6$	18.044	0.00

注: y : 生殖指标; x_1 : 海拔; x_2 : 坡向; x_3 : 郁闭度; x_6 : 岩石裸露率; b_x : 生育力; R_0 : 生殖适度。
Notes: y : Reproductive Index; x_1 : Altitude; x_2 : Slope Aspect; x_3 : Canopy density; x_6 : Percentage of exposed rock; b_x : Fertility; R_0 : Reproductive fitness.

用、药用、油用和观赏种质资源,但现今已有 38 种趋于濒危灭绝,是南方阔叶树资源濒危现状的突出典型^[16,17]。寻找木兰科植物的濒危原因、采取合理的抢救措施已迫在眉睫。从生殖角度探讨植物的濒危原因,进而采取相应对策恢复和扩大濒危物种种群,成为当今濒危植物保护生物学研究领域的一个热点。我们以三清山天女花种群个体数量以及野外调查获得的天女花母树种子生产率为基础,对天女花种群动态、生殖规律进行了研究,发现天女花种群在三清山幼苗数量较少,中龄个体较多,尽管种群中存在一定数量的幼龄个体,但幼龄和中龄个体在群落中竞争处于不利地位,死亡率高,这与大多数濒危植物类似^[18-20]。不同生境天女花种群年龄结构有一定差别。Q1 样地环境较差,土壤含水量少,含有大量裸露岩石,枯落物及腐殖质厚度少,导致种子无法发芽,幼苗仅 8.8 株/100 m²。Q3 样地生境较好,地处溪流旁,土壤水分充足,林地内含少量裸露岩石,枯落物较厚,含有一定的腐殖质层,有利于幼苗的萌发及定植,数量较多,12.3 株/100 m²。

4.2 天女花种群生殖策略

生殖对策的研究有助于人们更加深刻地理解植物在特定环境中的生殖过程、机制及适应意义^[21-23]。三清山天女花胸径 >7 cm 的具有开花结果能力,样地调查发现最大胸径 32.5 cm 的天女花个体也具有繁殖能力,因此其生殖持续时间较长。该物种生育力较弱,每株母树产有活力种子数在 134.3~165.8 粒之间。天女花种群 V_x 和 ORE 值变化趋势一致,随着龄级的增加均呈现出先增加后下降的趋势,这与长柄双花木的生殖值参数变化一致^[24],表明该种群的生殖能力也存在一定的最佳阶段,其胸径在 8~14 cm 之间的天女花母树生殖潜

能最大。操国兴等^[2]研究发现川鄂连蕊茶种群生殖极大值出现的时间与群落稳定性相反,四合木和太白红杉均在生境条件较差的群落中生殖值较高^[25,26]。天女花种群在不同生境中具有不同的生殖对策,环境较差的样地 Q1 中天女花胸径在 10~14 cm 的个体平均生育力较低,但总体平均生育力显著高于其他各样地,且生殖投资策略 ORE 值最大,表明该生境中天女花个体利用最短时间进入生殖阶段并达到最大生殖状态,以适应恶劣的环境,获得种群的稳定发展。

物种在漫长的进化过程中,由于生活环境不断变化,自然选择使其在生存与发展的策略上产生不同的抉择,这种抉择过程称为生态对策^[27]。生态对策概括了物种在不同环境下以何种方式完成其生活史以达到繁盛的策略^[2]。自然界的所有生物都可按 k 对策和 r 对策进行相对的划分和归类^[28,28-30], k 对策为种群个体间竞争激烈,种群内个体把更多的能量投入生殖以外的其他活动,而 r 对策相反,种群内个体把更多能量用于生殖,把较少能量用于生长、代谢等。三清山天女花高度与基(胸)径的速生期仅有 60 d 左右,开始生长迟、结束生长早^[31]、生长缓慢、树冠较宽、林冠下更新能力较弱等特性表明该物种生态对策为 k 对策,但本研究发现,该物种在环境较好的生境,生殖投资策略最小,单株母树产种量最少,但其存活率大,在生活史中可产生较多的后代,以此对策来提高竞争能力,最大限度地适应环境,表现出 k 对策的生态适应策略。而在环境较差的地段,该物种生殖时间和生殖高峰提前,单株母树产种量增高,生殖投资策略加大,以较早产生后代的方式尽快完成更新,表现出 r 对策的特征。但总体上天女花生殖投资值较低,略高于长柄双花木和川

鄂连蕊茶^[2,24],但远小于太白红杉^[25]。种子重量轻,净生殖率较低,因此该物种可视为r-k连续统上位于k端的对策者。

4.3 环境因子对天女花种群生殖的影响

本文采用逐步回归分析的方法,可以在建立多元回归方程的过程中,将对观测指标没有显著贡献的环境因子剔除,贡献显著的因子加以保存,并对回归方程进行优化^[32,33]。分析表明海拔对天女花生殖产生显著影响,海拔越高,其生殖能力越弱。坡向、郁闭度和岩石裸露率对天女花部分生殖指标产生显著影响,因此在天女花种群恢复和野生苗木繁育时应重点考虑这三个因子。其中郁闭度、坡向对各生殖指标产生正向影响,且由系数可以看出这两个因子对天女花生殖贡献率较大,表明三清山天女花分布区光照对耐阴植物天女花的生殖起到了一定的限制作用,在对其种群进行人工抚育中尽量减少砍伐群落中的乔木层。尽管岩石裸露率对天女花生殖贡献率较小,但它对天女花生殖值 V_N 、TV、ORE产生显著正向影响,即裸露岩石率越高, V_N 、TV、ORE值越高,从侧面证实了天女花在恶劣环境下采用通过提高生殖潜力扩大种群数量的生殖策略来适应环境。

参考文献:

- [1] 陈远征,马祥庆. 濒危植物生殖生态学研究进展[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1): 186-189.
- [2] 操国兴,钟章成,谢德体,刘芸. 川鄂连蕊茶种群生殖力分析[J]. 应用生态学报,2004,15(3): 363-366.
- [3] 吕玲. 禾本科植物生殖生态学研究进展[J]. 新疆农业科学,2010,47(11): 2319-2323.
- [4] 王茹萍,吴迪,高莹媛,孙博航,黄健,吴立军. 天女木兰叶中甾类化合物的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报,2009,26(11): 874-877.
- [5] 臧敏,卞新民. 江西三清山珍稀濒危植物考察研究[J]. 武汉植物学研究,2003,21(6): 515-520.
- [6] 臧敏,卞新民. 江西三清山被子植物调查研究[J]. 亚热带植物科学,2003,32(3): 38-41.
- [7] 李晓笑,王清春,崔国发,杨传东. 濒危植物梵净山冷杉野生种群结构及动态特征[J]. 西北植物学报,2011,31(7): 1479-1486.
- [8] 周志强,胡丹,刘彤. 天然东北红豆杉种群生殖力与开花结实特性[J]. 林业科学,2009,45(5): 80-85.
- [9] 霍平慧,李剑峰,师尚礼,张淑卿,赵文翰. 超干及老化处理对紫花苜蓿种子活力和生理变化的影响[J]. 中国草地学报,2011,33(3): 28-34.
- [10] Rebertus A J, Veblen T T. Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina[J]. *J Veg Sci*, 1993, 4(5): 641-654.
- [11] Zammit C A, Zedler P H. Size structure and seed production in even-aged populations of *Ceanothus greggii* in mixed chaparral[J]. *J Ecol*, 1992, 81: 499-511.
- [12] 吴明作,刘玉萃,姜志林. 栓皮栎种群生殖生态与稳定性机制研究[J]. 生态学报,2001,21(2): 225-230.
- [13] 张文辉. 裂叶沙参种群生态学研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社,1998: 44-54.
- [14] 江洪. 云杉种群生态学研究[M]. 北京: 中国林业出版社,1992: 93-105.
- [15] 孙凡,钟章成. 缙云山四川大茶种群繁殖适应性的数量特征研究[J]. 植物生态学报,1997,21(1): 1-8.
- [16] 姜景民,盛能荣. 试论我国木兰科植物濒危现状及其保护利用[J]. 浙江林业科技,1997,17(5): 54-58, 63.
- [17] Buide M L, Díaz-Peromingo J A, Guitián J. Flowering phenology and female reproductive success in *Silene acutifolia* Link ex Rohrb [J]. *Plant Ecol*, 2002, 163: 93-103.
- [18] 郭连金. 濒危植物香果树(*Emmenopterys henryi*)种群结构与动态[J]. 武汉植物学研究,2009,27(5): 509-514.
- [19] 张小平,郝朝运,范睿,李文良,张昱,谌小宝. 濒危植物永瓣藤的种群结构及与环境的关系[J]. 应用生态学报,2008,19(3): 474-480.
- [20] 张志祥,刘鹏,蔡妙珍,康华靖,廖承川,刘春生,楼中华. 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,2008,32(5): 1146-1156.
- [21] Wilson M F. Plant Reproductive Ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1983: 1-5.
- [22] Doust J L, Doust L L. Plant Reproductive Ecology: Patterns and Strategies[M]. New York: Oxford University Press, 1988: 2-11.
- [23] Stearns S C. Life history tactics: a review of the ideas[J]. *Q Rev Biol*, 1976, 51(1): 3-47.
- [24] 肖宜安,肖南,胡文海,李晓红,曾建军,黄族豪. 濒危植物长柄双花木自然种群年龄结构及其生态对策

- [J]. 广西植物, 2007, 27(6): 850-854.
- [25] 王志高, 王孝安, 肖娅萍. 太白红杉种群的生殖对策研究 II. 生殖力和生殖值[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2089-2093.
- [26] 徐庆, 刘世荣. 中国特有植物四合木种群的生殖生态特征——种群生殖值及生殖分配研究[J]. 林业科学, 2001, 37(2): 36-41.
- [27] 曹光球, 林思祖, 曹子林, 蔡宜尊. 杉木及其主要混交树种生态对策[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 180-183.
- [28] 赵惠勋. 群体生态学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990: 40-52.
- [29] Newell S J, Frammer E J. Reproductive strategies in herbaceous plant communities during succession [J]. *Ecology*, 1978, 59(2): 228-234.
- [30] Pianka E R. On r and k selection [J]. *Amer Naturalist*, 1970, 104(940): 592-597.
- [31] 宗世贤, 陶金川, 杨志斌, 黄致远, 程翔, 杨开红. 木兰属五种珍贵、稀有植物的生态特性分析[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(2): 113-123.
- [32] 谭禾平, 王桂跃, 胡贤女, 许巧贤. 影响玉米产量效应因子的多元回归与通径分析[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(4): 238-240.
- [33] 杨康伟, 王会福, 陈将赞, 丁灵伟, 戴以太, 于才连. 浙江省天台晚稻褐飞虱发生关键因子分析与逐步回归预测[J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 227-232.

(责任编辑: 张平)