

流苏石斛(*Dendrobium fimbriatum*) 迁地保护种群的数量动态^{*}

刘 强^{1,2} 殷寿华^{1**} 兰芹英¹

(¹ 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 运用静态生命表、生殖力表和 Leslie 矩阵模型,研究了保存于中国科学院西双版纳热带植物园兰科植物迁地保护区中的濒危物种流苏石斛种群数量动态过程,评价了流苏石斛的迁地保护效果。结果表明:迁地保护种群的年龄锥体为壶型锥体,种群的净增长率、内禀增长率和周限增长率较低,种群正处于下降态势;Leslie 矩阵模型分析表明,在未来 50 年内,该种群各龄级的个体数及种群总数均表现出持续下降趋势。模型分析发现:1) 迁地保护区模拟生境尽管适宜流苏石斛的生长,但由于附着在树上,中龄级个体先端产生的无性繁殖芽不能及时附着在附主上掉落死亡。因此,需要改善迁地保护区的生境条件,如增加岩石生境(流苏石斛野生种群几乎都是岩生的)使幼龄级个体脱落后能够顺利进入种群;2) 种群下降的另一主要原因就是中龄级个体繁殖力太低。因此,建议加强对中龄级个体的管理提高繁殖能力以及深入研究实现种子的就地共生萌发,从根本上实现流苏石斛资源的保护。

关键词 流苏石斛; 迁地保护; 种群数量动态; Leslie 矩阵模型

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2011)12-2770-06

Numeric dynamics of *ex situ* *Dendrobium fimbriatum* population. LIU Qiang^{1,2}, YIN Shou-hua^{1**}, LAN Qin-ying¹ (¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2770–2775.

Abstract: By using static life table, fecundity schedule, and Leslie matrix model, this paper studied the numeric dynamics of *ex-situ* population of endangered orchid *Dendrobium fimbriatum* in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, and assessed the *ex-situ* conservation effect of the species. The age pyramid of the population was kettle-shaped, and the net reproduction rate (R_0), intrinsic increase rate (r_m), and finite increase rate (λ) were lower, being 0.569, -0.089, and 0.915, respectively, indicating that the *ex-situ* population was in a decreasing trend. The analysis of Leslie matrix model showed that in the next 50 years, the individual number and the total number of the *ex-situ* population would have a continuous decrease. Based on this analysis, it was suggested that 1) increase the lithophytic habitat in *ex-situ* conservation to make the asexual reproduction buds grow better after leaving maternal, and 2) enhance the mature individuals' reproductive capability by assisted management and carry out further study to realize the seed symbiotic germination.

Key words: *Dendrobium fimbriatum*; *ex-situ* conservation; population numeric dynamics; Leslie matrix model.

全球热带地区植物资源十分丰富,随着人类对资源需求的不断增加,热带地区的森林植被也遭到

不同程度的破坏,其生物多样性受到空前的威胁。因此,热带地区生物多样性的保护工作越来越受到重视(Janzen 2004; Brooks *et al.* 2006)。迁地保护是生物多样性保护的重要对策之一(孙儒泳, 2002),植物园在迁地保护中发挥着重要的作用(蒋

^{*} 中国科学院-云南省科技合作重大项目(2000WK-07)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: ysh@xtbg.org.cn

收稿日期: 2011-05-18 接受日期: 2011-08-20

高明,1997)。然而,长期以来植物园引种收集的目的在于作为标本供研究所用或作为植物资源供应用研究之所需。尽管引种收集的种类(分类单位)很多,但限于植物园土地面积和人力、物力资源的投入,每个分类单位的个体数量均十分有限;而且植物引地之后能否适应新的环境以及生长如何?这些都是引种和迁地保护时需要注意的问题。尽管国内在利用种群数量动态分析,为制定濒危物种保护策略和措施、合理利用现有资源提供依据方面已有许多报道(胡玉佳等,1988;岳春雷等,2002),但利用种群数量动态分析以阐明迁地保护兰科植物种群的年龄结构和未来发展趋势以制定保护策略的文章未见报道,而种群年龄结构和 Leslie 矩阵对有年龄结构的种群动态预测是非常有用的工具(肖宜安等,2004)。

流苏石斛(*Dendrobium fimbriatum* Hook.) 是《中华人民共和国药典》收录的 5 种药用石斛属植物之一,含有多种药效成分很高的化学物质,具有很高的药用价值(毕志明等,2001a,2001b),因而受到人们的过度采挖利用。加之自身的生长缓慢、繁殖率低和对生境的特殊要求等原因,使流苏石斛野生资源临近枯竭(刘强等,2007),已被列入《中国植物红皮书:稀有濒危植物》(傅立国,1992)。然而,对于流苏石斛濒危机制和保护策略方面的研究,国内外报道很少,仅见于马佳梅和殷寿华(2009)运用 ISSR 分析了分布于西双版纳地区的流苏石斛的遗传多样性,并结合研究结果提出了相应的保护措施。本文通过种群数量动态分析来评价保存于中科院西双版纳热带植物园野生兰花迁地保护区的流苏石斛种群的年龄结构和未来发展趋势,从而评价其迁地保护效果,并找出维持种群大小的关键因子,为种群的维持和增长找到适合的措施,为其他兰科植物的迁地保护提供理论参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

中国科学院西双版纳热带植物园位于云南西南部(21°41'N,101°25'E),地处亚洲热带北缘,海拔 570 m。终年受西南季风影响,一年分为明显的 3 个季节,3~4 月份为干热季,5—10 月份为湿热季,11—次年 2 月份为雾凉季,年平均温度 22.1℃,最热月均温 25.8℃,最冷月均温 16.5℃,年均降雨 1511 mm 左右,且降雨量的 83%~87% 集中在雨季(图 1)。

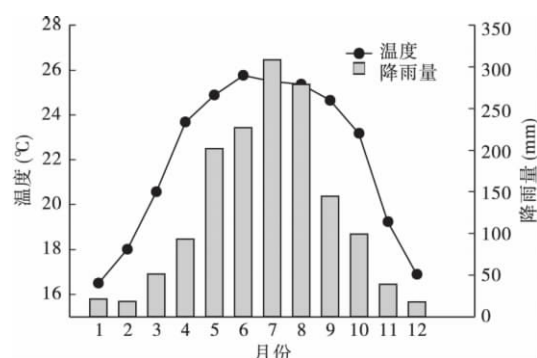


图 1 版纳植物园 2000–2010 年月平均温度和降雨量
Fig. 1 Mean monthly temperature and precipitation in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden in 2000–2010

中国科学院西双版纳热带植物园野生兰花迁地保护区建于 2000 年,占地面积近 6700 m²,现引种保存兰花约 120 种,其中地生兰科植物约 20 种,附生兰科植物 100 种左右。根据该园园林部提供的数据可知,现有流苏石斛种群在 2004 年引入兰园进行活植物迁地保护至今。其中迁地保护区流苏石斛的附主植物主要有披针叶楠木(*Phoebe lanceolata*)、粉花羊蹄甲(*Bauhinia variegata* var. *candida*)、黄牛木(*Cratogeomys ligustrinum*)、布渣叶(*Microcos paniculata*)、毛叶柿(*Diospyros mollifolia*)和印度栲(*Castanopsis indica*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样方的设置 流苏石斛为多年生草本,没有明显的特征来确定种群个体的年龄,且生长为单轴分枝类型,茎没有分枝,易于重复测量;每丛中具有许多不同大小的茎,茎的大小决定无性繁殖芽的产生能力,这是很多具有单轴生长型兰科植物普遍存在的一个现象,尤其在石斛属中。因此,该文尝试以“茎(stem)”为个体单位,根据茎的长度大小来划分龄级(表 1)。国外一些具有类似结构的兰科植物在种群动态研究中也是采取这种方法来划分年龄级的(Zotz,1998; Zotz & Schmidt,2006; Mondragon,2009)。流苏石斛尽管能够开花,但在连续 3 年的观察中未发现传粉昆虫,亦无果实产生,其种群靠无性繁殖来延续扩展,因此,用当年产生的无性繁殖芽数量来表示不同龄级个体平均产生的子代数。

中国科学院西双版纳热带植物园野生兰花迁地保护区占地面积约 6700 m²,流苏石斛全部附生在其树干上。因此,对迁地保护区中所有附着流苏石斛的树干进行取样,其中 23 棵附主,35 丛 266 株流苏石斛个体。调查样方中附主名称并详细记录每个

附主上的流苏石斛茎的数量、长度、基径、开花结果数量及无性繁殖芽的数量。

1.2.2 静态生命表与生殖力表的编制 根据多年观测和扦插实验发现,流苏石斛以2年为1个年龄级。采用静态生命表来表述世代重叠、寿命较长、多年生和年龄结构稳定的流苏石斛比较合适(Grawley, 1991; 江洪, 1992)。其具体内容有: x 为年龄级; l_x 为 x 龄级开始时的标准化存活数; d_x 为从 x 龄级到 $x+1$ 龄级的标准化死亡数; q_x 为 x 龄级的个体死亡率 $q_x = d_x / l_x \times 1000$; L_x 为从 x 到 $x+1$ 的平均存活个体数 $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$; T_x 为 x 龄级至超过各龄级的个体总数 $T_x = L_x + L_{x+1} + L_{x+2} + \dots$; e_x 为进入 x 年龄个体的生命期望 $e_x = T_x / l_x$; a_x 为 x 龄级开始时的实际存活数; K_x 为种群消失率 $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。种群生殖力表包含一下内容: x 为年龄级; l_x 为 x 龄级时的存活率; m_x 为 x 龄级个体平均生产的子代数(以实测数计算)。并按照下列公式计算种群净增殖率(R_0)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ) = e^r 以及世代平均周期(T):

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

$$T = \sum X l_x m_x / \sum l_x m_x$$

$$r_m = \ln R_0 / T$$

$$\lambda = N t + 1 / N_t \text{ 或 } \lambda = e^{r_m}$$

1.2.3 存活曲线和死亡率曲线的绘制 通过各年龄组的个体数量相对时间作图而得到,以描述特定年龄的死亡率。以死亡率为纵坐标,年龄为横坐标绘制死亡率曲线。以存活数量的对数值(即 l_x 的对数值)为纵坐标,以年龄为横坐标绘制存活曲线。

1.2.4 Leslie 矩阵模型的构建和动态数量预测 Leslie 矩阵模型是将生命表中研究出来的种群年龄结构、各年龄级的存活率及其生育力作为矩阵元素,

并可利用计算出任何时刻的种群年龄的理论数量及总数量。其计算方法参照文献(郑元润等, 1997; 祖元刚等, 1999; 岳春雷等, 2002)。以2年为一个年龄级进行模拟计算。

2 结果与分析

2.1 流苏石斛种群的静态生命表

迁地保护区流苏石斛种群的静态生命表见表1。流苏石斛迁地保护种群最大编表年龄为9龄级。2、3龄级个体死亡率为负,说明幼龄的成长未能顺利进入下一龄级,幼龄个体严重不足,在进入性成熟之前(2~3龄级,“种群”消失率(K_x)较高。成长到性成熟个体(4龄级)死亡量为3.3%,而5~6龄级个体累积死亡量为86.8%,以后各龄级的累积死亡量仅为6.67%,这一方面说明了该种群的维持主要依赖于中龄级个体,另一方面说明该种群进入中龄期后,个体对营养空间的需求不断增大,基于对水分、光照、养分和空间的竞争,种群自疏作用增强,导致较高的死亡量,这可能与流苏石斛无性繁殖有关;8龄级个体进入生理衰老期后直至最大龄级。

通过各龄级植株的统计表明,迁地保护流苏石斛种群中,幼龄个体比例较少,老年个体比例最少,尽管中年个体占很高比例,但种群的死亡率大于出生率,年龄锥体属于壶型锥体(图2),表明迁地保护区流苏石斛为下降型种群。

2.2 种群的存活曲线分析

采用多项式方程和指数方程2种模型描述存活曲线Deevey-I型和Deevey-III型,并进行检验。Deevey-II型则符合直线分布,就地保护流苏石斛中种群存活曲线的决定系数结果为(图3a): Deevey-II型(0.860)明显大于Deevey-II型(0.172)和Deevey-III型(0.198)。因此,可以判断野外流苏石斛

表1 迁地保护流苏石斛种群静态生命表

Table 1 Static life table of *ex-situ* *Dendrobium fimbriatum* population

龄级	茎长区间 (cm)	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	$\ln l_x$
SC1	<11	21	362	34	93.92	345	4639	12.81	0.10	5.89
SC2	12~24	19	328	-120	-365.85	388	4277	13.04	-0.31	5.79
SC3	25~38	26	448	-552	-1232.14	724	3880	8.66	-0.80	6.10
SC4	39~52	58	1000	34	34.00	983.0	3449	3.45	0.03	6.91
SC5	53~65	56	966	276	285.71	828.0	2449	2.54	0.34	6.87
SC6	66~79	40	690	276	400.00	552.0	1483	2.15	0.51	6.54
SC7	80~92	24	414	104	251.21	362.0	793	1.92	0.29	6.03
SC8	93~106	18	310	241	777.42	189.5	379	1.22	1.50	5.74
SC9	106~120	4	69	69	1000.00	34.5	69	1.00	4.23	4.23

种群的存活曲线应属于 Deevey-I 型。从种群消失率和死亡率曲线(图 3b)可以看出,消失率和死亡率曲线的变化趋势基本一致,各龄级之间存在着波动,幼龄级(1~3 龄级)个体数量不多,死亡率高,幼苗严重不足,表现为衰退之中;4~7 龄级,此阶段种群的生存质量较高,个体数量也较多;从 8~9 龄级死亡率又逐渐上升。整体而言,死亡率和消失率随龄级的增加而呈现逐渐增加的趋势,种群内大量的幼龄个体不能顺利成长进入生殖阶段,具有生殖能力的个体虽在旺盛繁殖期中不能够产生的大量幼龄个体,致使种群稳定性维持困难。

2.3 流苏石斛种群生殖力表和重要参数

从表2可知,流苏石斛净增长率(R_0)为0.569,

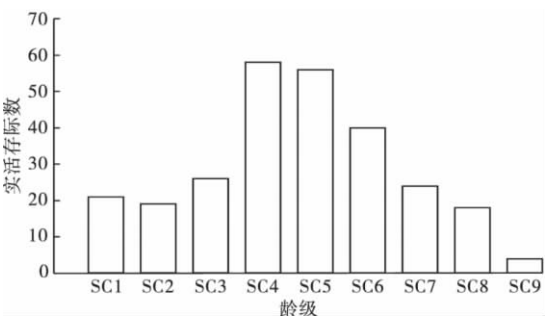


图2 迁地保护流苏石斛种群年龄结构
Fig. 2 Age structure of *ex-situ* *Dendrobium fimbriatum* population

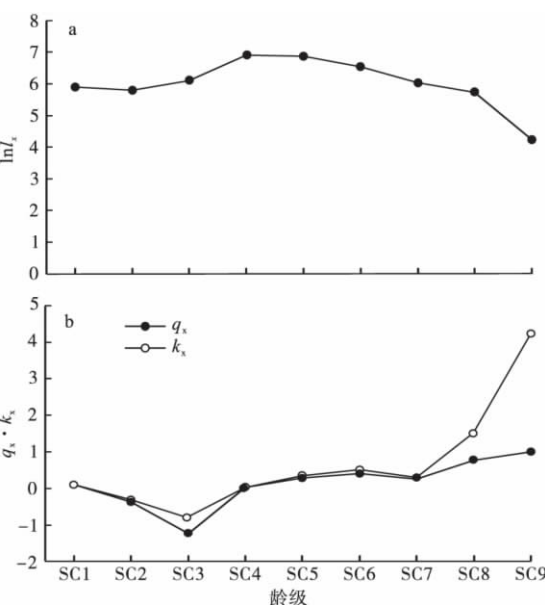


图3 迁地保护种群流苏石斛种群存活率(a)及消失率、死亡率(b)曲线
Fig. 3 Survival (a), disappearance and mortality curves (b) of *ex-situ* *Dendrobium fimbriatum* population
 $\ln l_x$: 存活率的自然对数; q_x : 死亡率; k_x : 消失率。

表2 迁地保护流苏石斛种群生殖力
Table 2 Fecundity of *ex-situ* *Dendrobium fimbriatum* population

龄级	l_x	m_x	$l_x \cdot m_x$	$x \cdot l_x \cdot m_x$		
SC1	0.362	0.000	0.000	0.000		
SC2	0.397	0.000	0.000	0.000		
SC3	0.431	0.000	0.000	0.000	净增长率	$R_0=0.569$
SC4	1.000	0.017	0.002	0.008	内禀增长率	$r_m=-0.089$
SC5	0.966	0.107	0.104	0.520	周限增长率	$\lambda=0.915$
SC6	0.690	0.350	0.242	1.452	世代平均周期	$T=12.656$
SC7	0.414	0.125	0.052	0.364		
SC8	0.310	0.444	0.138	1.104		
SC9	0.069	0.250	0.017	0.153		

表明它的每一世代种群可以增殖 0.569 倍;内禀增长率(r_m)为-0.089,表明瞬时出生率小于瞬时死亡率;周限增长率为(λ)为 0.915,表明流苏石斛种群将以 0.915 倍的速度做几何级数的下降;世代平均周期(T)为 12.656,表明流苏石斛生殖期个体的平均年龄为 12.656 年。参数 $R_0<1$, $r_m<0$, $\lambda<1$ 的结果说明迁地保护区流苏石斛种群在当前的环境状况下无法完成自我更新,种群将呈现负增长趋势,只不过其负增长速度相对比较缓慢($\lambda=0.915$),属缓慢负增长型种群。

2.4 Leslie 矩阵模型的构建和动态数量预测

Leslie 矩阵模型能够预测种群数量及结构动态变化,它在濒危物种保护和管理上具有重要的应用价值。本研究根据实验、野外调查及计算获得的基础数据,建立了迁地保护流苏石斛种群的 Leslie 矩阵模型(表 3),并以 5 年为时间间隔,用模型来预测了种群未来 50 年的动态(图 4,表 4)。由图 3、表 4 可知,该种群各龄级的个体数及种群总数均表现出持续下降趋势,但是中龄级(4~6 龄)个体数量则出现了“急剧下降,小量上升,稳步下降”的过程。其主要原因可能是:自身的衰老使其在最初几年出现急剧下降,现存幼龄级部分个体在未来几年能够进入中龄级,进而使中龄级个体出现了一个小量上升的过程,由于幼龄级个体数量本来就少,加之中龄级个体产生的无性繁殖芽没有补充到种群中,故而随着个体的逐渐衰老,中龄级个体数量将稳步下降。

将各龄级个体数 N_x 、存活率 P_x (x 龄级到 $x+1$ 龄级的总存活率)以及繁殖力 m_x 作为参数,运用 Leslie 矩阵模型来模拟种群的变化趋势,结果发现当 P_x 与 m_x 不变,增加各龄级个体数 N 或改变种群结构,尽管种群会有小幅度的上升,但不会改变种群走向灭绝的命运;若 N 与 m_x 不变,提高幼龄级 P_x ,种群

同样不会改变灭绝的命运;然而,当 N 与 P_x 不变, 0.35 提高到 0.63 种群将会保持现有数量,若 m_x 变为 0.75 50 年后种群个体数量将会从现在的 266 增加到 1600。

表 3 迁地保护流苏石斛种群的 Leslie 矩阵模型
Table 3 Leslie matrix model of ex-situ *Dendrobium fimbriatum* population

M =	0	0	0	0.015	0.071	0.230	0.065	0.081	0
	1.091	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1.728	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1.374	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0.842	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.667	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0.656	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.523	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.182	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4 未来 50 年内迁地保护流苏石斛种群数量动态预测
Table 4 Numerical dynamics of ex-situ *Dendrobium fimbriatum* population in the next 50 years

龄级	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	N ₁₀
SC1	21	12	7	5	4	3	2	1	1	1	1
SC2	19	12	9	6	4	4	2	2	1	1	1
SC3	26	25	18	12	8	7	5	3	2	2	1
SC4	58	40	27	18	12	9	7	5	3	2	2
SC5	56	37	26	16	10	8	6	4	3	2	1
SC6	40	31	17	10	7	6	4	3	2	2	1
SC7	24	17	10	8	6	5	3	2	2	1	1
SC8	18	7	6	5	3	3	2	1	1	1	0
SC9	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Total	266	181	122	82	55	45	32	22	16	11	8

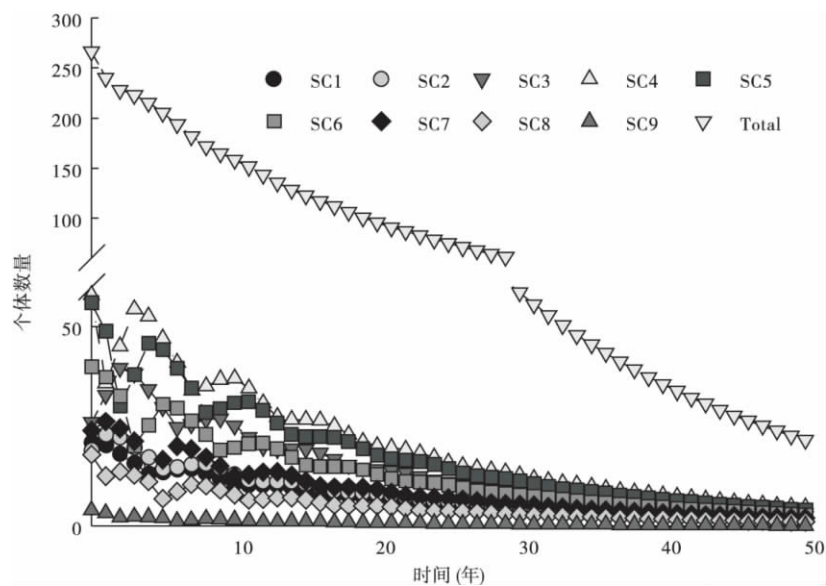


图 4 迁地保护流苏石斛种群负增长模型曲线
Fig.4 Negative growth model curve of *Dendrobium fimbriatum* population
SC — size classes; SC1-1 龄级 SC2-2 龄级 SC3-3 龄级 SC4-4 龄级 SC5-5 龄级 SC6-6 龄级 SC7-7 龄级 SC8-8 龄级 SC9-9 龄级 ,Total-种群总大小。

3 讨 论

迁地保护是挽救和保护珍稀濒危植物的重要手段之一。对于需要进行迁地保护的植物物种来说, 为了保证其能够长期生存, 完成生长发育过程, 达到保护的目的, 前期的引种工作和相关研究至关重要(赵俊斌等, 2009)。对于濒危物种来说, 迁地保护区模拟的生境是它们能否顺利生长、繁衍的基本保障。目前迁地保护区人工模拟的生境与原生境相比, 在土壤、水分、光照、通风以及伴生物种等方面存在很大的差异, 对许多濒危物种尤其是草本植物来说适应人工模拟生境还是一项严峻的考验。如中国科学院西双版纳热带植物园野生兰科植物迁地保护区建立初保存兰科植物多达 200 种, 而目前仅剩 120 种左右。流苏石斛与其他兰科植物相比, 对新的环境还是比较适应, 通过多年的物候观测, 发现迁地保护区流苏石斛花期基本与野外植株吻合, 植株长势良好, 尽管模拟生境没有传粉昆虫, 但是通过人工套袋实验, 发现流苏石斛是自交不亲和, 人工异花授粉结实率在 90% 以上, 表明种群内具有较高的遗传多样性。野外调查发现, 流苏石斛基本上都是附生在腐殖质丰富的石灰岩岩壁上, 而迁地保护区则是将流苏石斛附着在树干上, 导致产生的无性繁殖芽不能及时附着在附主上掉落死亡, 致使种群中幼龄个体缺乏, 种群处于下降趋势。因此, 建议改善迁地保护区的生境条件, 如增加岩石生境, 这适合于很多石斛属植物。

通过种群数量动态分析表明, 迁地保护流苏石斛种群下降的另外一个主要原因是种群生殖力 m_x 太低。尽管可以通过人工辅助管理以无性繁殖方式能够实现种群的增长, 但无法与其他植株进行基因的交流。然而迁地保护流苏石斛种群内具有较高的遗传多样性, 因此, 利用人工授粉将能得到种子, 而且流苏石斛每个果荚中有高达约 11 万粒种子。若产生的种子能够顺利萌发生长成幼苗, 那么将会从根本上改变种群的下降趋势。但是流苏石斛种子像其他兰科植物一样, 果实内虽然具有很多粒微小种子(Rolfe, 1962), 但大部分种类的种子没有分化完全, 缺乏子叶(Maheshwari & Narayanaswami, 1952)和胚乳(Rolfe, 1962), 萌发需要特殊的共生菌(Rasmussen, 1995)。这也是为什么生境破坏后, 许多兰科植物的生存极易受到威胁, 处于濒危状况的原因。因此, 对于流苏石斛的迁地保护不仅仅是将其植株

进行保护, 还需要对其原生境中的共生菌进行保护, 在此基础上深入开展种子的共生与非共生萌发实验, 从而使流苏石斛在迁地保护区得到有效的保护。

致谢 在实验中得到中国科学院西双版纳热带植物园园林艺部的支持, 以及在实验实施中白智林、王晓静给予的帮助; 西双版纳热带雨林生态系统研究站提供气象资料; 高江云老师在文章写作中给予的宝贵建议, 在此一并感谢。

参考文献

- 毕志明, 王峰涛, 张 勉, 等. 2001a. 流苏石斛化学成分的研究(II). 中国药科大学学报, **32**(6): 421-422.
毕志明, 杨毅生, 王峰涛, 等. 2001b. 流苏石斛化学成分的研究(I). 中国药科大学学报, **32**(2): 200-202.
傅立国. 1992. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物(第1册). 北京: 科学出版社.
胡玉佳, 王寿松. 1988. 海南岛热带雨林优势种——青梅种群增长的矩阵模型. 生态学报, **38**(2): 104-110.
江 洪. 1992. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社.
蒋高明. 1997. 植物生理生态学. 北京: 高等教育出版社.
刘 强, 殷寿华, 黄 文, 等. 2007. 流苏石斛濒危原因及其野生资源保护. 亚热带植物科学研究, **36**(4): 45-47.
马佳梅, 殷寿华. 2009. 西双版纳地区流苏石斛遗传多样性的 ISSR 分析. 云南植物研究, **31**(1): 35-41.
孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 2002. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社.
肖宜安, 何 平, 李晓红, 等. 2004. 濒危植物长柄双花木自然种群数量动态. 植物生态学报, **28**(27): 252-257.
岳春雷, 江 洪, 朱荫湄. 2000. 濒危植物南川升麻种群数量动态的分析. 生态学报, **22**(5): 793-796.
赵俊斌, 张一平, 宋富强, 等. 2009. 西双版纳热带植物园引种植物物候特征比较. 植物学报, **44**(4): 464-472.
郑元润, 张新时, 徐文铎. 1997. 沙地云杉种群增长预测模型研究. 植物生态学报, **21**: 130-137.
祖元刚, 张文辉, 闫秀峰, 等. 1999. 濒危植物裂叶沙参保护生物学. 北京: 科学出版社.
Brooks TM, Mittermeier RA, Hoffmann M, et al. 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science*, **313**: 58-61.
Grawley M. 1991. *Plant Ecology*. London: Blackwell Scientific Publications.
Janzen DH. 2004. Setting up tropical biodiversity for conservation through non-damaging use: Participation by parataxonomists. *Journal of Applied Ecology*, **41**: 181-187.
Maheshwari P, Narayanaswami S, Metcalfe CR. 1952. Embryological studies on *Spiranthes australis* Lindl. *Journal of the Linnean Society of London: Botany*, **53**: 474-486.
Mondragon D. 2009. Population viability analysis for *Guarianthe aurantiaca*, an ornamental epiphytic orchid harvested in Southeast Mexico. *Plant Species Biology*, **24**: 35-41.
Rolfe RA. 1962. Seeds and pollination. *Orchid Reviews*, **70**: 282-283.
Rasmussen HN. 1995. *Terrestrial Orchids from Seed to Mycotrophic Plant*. Cambridge: Cambridge University Press.
Zotz G. 1998. Demography of the epiphytic orchid, *Dimerandra emarginata*. *Journal of Tropical Ecology*, **14**: 725-741.
Zotz G, Schmidt G. 2006. Population decline in the epiphytic orchid *Aspasia principissa*. *Biological Conservation*, **129**: 82-90.

作者简介 刘 强, 男, 1980 年生, 硕士研究生, 助理研究员。主要从事兰科植物保护生物学研究。E-mail: liuq@xt-bg.org.cn
责任编辑 王 伟