

濒危兰科植物流苏石斛的种群数量动态*

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 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,研究了云南西双版纳地区流苏石斛两个种群——A种群(21°58'N, 101°13'E, 保护区之外)和B种群(21°54'N, 101°17'E, 保护区内)的种群数量动态. 结果表明: 种群存活曲线表现为Deevey-I型. A、B种群均表现出幼龄个体死亡率高, 中龄级个体数量少, 说明中龄阶段曾受到较大的人为干扰. 种群的净增长率(R_0)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)都较低, 表现为衰退种群, Leslie矩阵模型分析表明在未来25年种群各龄级的个体数及种群总数均表现出持续下降趋势. 种群下降可能是由于当地人采挖和严重的生境破碎化所导致. 图2 表4 参16

关键词 种群动态; Leslie矩阵模型; 濒危植物; 兰科; 流苏石斛; 西双版纳

CLC Q949.71+8.430.8

Numeric Dynamics of Population of Endangered Species *Dendrobium fimbriatum*, Orchidaceae *

LIU Qiang^{1,2}, YIN Shouhua^{1**} & LAN Qinying¹

(¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China)

(²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract This research studied the numeric dynamics of two populations of *Dendrobium fimbriatum* (21°58'N, 101°13'E, human disturbance and 21°54'N, 101°17'E, *in-situ* conservation), an endangered species of Orchidaceae in Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture, Yunnan, China. The static life table, the fecundity schedule and the Leslie matrix model were applied to understand the numeric dynamics and the age structure of the population. The results showed that the survival curves of two populations were the Deevey-I type. The net reproduction rate (R_0), the intrinsic increase rate (r_m) and the finite increase rate (λ) of the two populations were all very low, indicating that the two populations were in a situation of downward tendency. The Leslie matrix model predicted that in the next 25 years the number of the two populations would continuously decrease. The key threats to this species are most likely human's disturbance and deforestation and habitat fragmentation. Fig 2, Tab 4, Ref 16

Keywords population dynamics; Leslie matrix model; endangered plant; Orchidaceae; *Dendrobium fimbriatum*; Xishuangbanna

CLC Q949.71+8.430.8

现代物种的灭绝一方面与人为胁迫有关, 另一方面也取决于与其本身生物学特性相关的脆弱性^[1]. 多数兰科植物有着十分独特的生活史特征和生态需求, 如种子萌发需要特定的共生菌, 受精需要特定的传粉者, 只能生存于某一特定(如某一山坡、岩石或土壤、某类植物上)的生境条件下等, 保护在相当大的程度上取决于其自身的生物学特性, 因而要求人们对兰科植物必须有一个全面深刻的认识, 需要对其生

态学、种群生物学、传粉生物学、繁育生物学以及其他生物学分支学科进行深入研究^[2].

流苏石斛 *Dendrobium fimbriatum* Hook, 又名马鞭石斛、旱马鞭、草石斛等, 隶属于兰科 (Orchidaceae) 石斛属 (*Dendrobium*), 在我国产于广西、云南和贵州, 印度、不丹、缅甸、越南、泰国也有分布^[3]. 流苏石斛是《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^[4-5], 因而受到人们的过度采挖利用. 加之流苏石斛自身生长缓慢、繁殖率低和对生长环境具特殊要求等原因, 流苏石斛野外资源已临近枯竭^[6], 已被列入《中国植物红皮书: 稀有濒危植物》^[7]. 为了揭示其濒危的原因和机制, 本研究组已经对其遗传多样性和

收稿日期: 2011-06-02 接受日期: 2011-09-14

*中国科学院-云南省科技合作重大项目 (No. 2000WK-07) 资助
Supported by the Key Science & Technology Project cooperated by the Chinese Academy of Sciences and Yunnan Province (No. 2000WK-07)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: ysh@xtbg.org.cn)

繁殖生物学作了初步研究^[8],而有关种群动态方面的研究还未见报道.本文运用种群生命表、生殖力表探讨种群的动态过程,在此基础上建立了预测种群数量动态的Leslie矩阵模型,为深入研究该种的濒危机制及其有效保护和利用提供理论依据.

1 研究地点及其自然概况

本研究的地点位于北纬 21°09'~22°36'、东经 99°58'~101°50' 之间的西双版纳地区,本区域地形基本特征是随着山脉的北南走向,海拔高度逐渐下降.西双版纳的石灰岩主要分布于勐腊县的勐仑至勐远一带和景洪的亚诺一带,呈北南走向,以块片状分布于本区东部海拔600~1 500 m的地带^[9].该地区地处亚洲热带北缘,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月至次年2月份为雾凉季^[10],年平均温度21.8℃,最热月均温25.3℃,最冷月均温15.6℃,年均降雨量1 506 mm左右,且降雨量的83%~87%集中在雨季.其中流苏石斛种群主要的伴生物种中,木本有:闭花木 *Cleistanthus sumatranus*、油朴 *Celtis wightii*、常绿榆 *Ulmus lanceaefolia*、四数木 *Tetrameles nudiflora*; 灌木有:小叶九里香 *Murraya microphylla*、缅甸树萝卜 *Agapetes burmanica*、中华鹅掌柴 *Schefflera chinensis*、灰毛浆果楝 *Cipadessa cinerascens*; 草本有:滇金石斛 *Flickingeria albopurpurea*、流苏贝母兰 *Coelogyne fimbriata*、多花脆兰 *Acampe rigida*、直唇卷瓣兰 *Bulbophyllum delitescens*、锈色蛛毛苣苔 *Paraboea rufescens*、禾叶贝母兰 *Coelogyne viscose*、小毛姜花 *Hedychium villosum* Wall. var. *tenuiflorum*.

2 研究方法

2.1 野外调查

根据多年的野外调查和2008年参与的“西双版纳国家

级自然保护区野外兰科植物资源调查”项目,我们发现:尽管西双版纳很多石灰岩山区有流苏石斛的分布,但是种群数量都比较小,多则十几丛,少则仅有几丛,无法满足实验的要求.最后我们选择了2个种群数量较大的流苏石斛种群开展研究,一个是受人为干扰的种群(21°58'N, 101°13'E),流苏石斛生长在石灰岩山顶,山脚几乎都被橡胶树包围,而且当地村民经常对其进行采挖,简称为A种群;另一个是受保护的种群(21°54'N, 101°17'E),流苏石斛生长在石灰岩半山腰,在西双版纳国家级自然保护区勐仑片区的绿石林内,简称为B种群(图1).其中每个分布点设置1~2个400 m²的样地,共6个样地,每个样地划分为100个2 m × 2 m的小样方.对小样方中的流苏石斛进行每株调查,记录其长度、基径、叶片数量、开花和结果率,同时调查各株产生的无性繁殖芽数量.

尽管流苏石斛每年基部都能产生一个分蘖芽来维持基株的数量,但是分蘖芽生长速度与基株长度有密切联系,如具有相同分蘖株的两丛流苏石斛,基株长度和基径大的分蘖芽生长得更长、更粗,而且更早进入成熟期进行有性繁殖和无性繁殖.且流苏石斛为多年生草本,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,本文尝试以“茎(Stem)”的大小(Size classes)来替代年龄级(Age classes).在多年的野外调查中发现,西双版纳地区两个流苏石斛种群分布点都没有传粉昆虫,亦无结实现象,种群的维持和发展主要依靠无性繁殖,因此我们尝试着用当年的茎的顶端产生的无性繁殖芽数量来表示不同龄级植株平均产生的子代数.

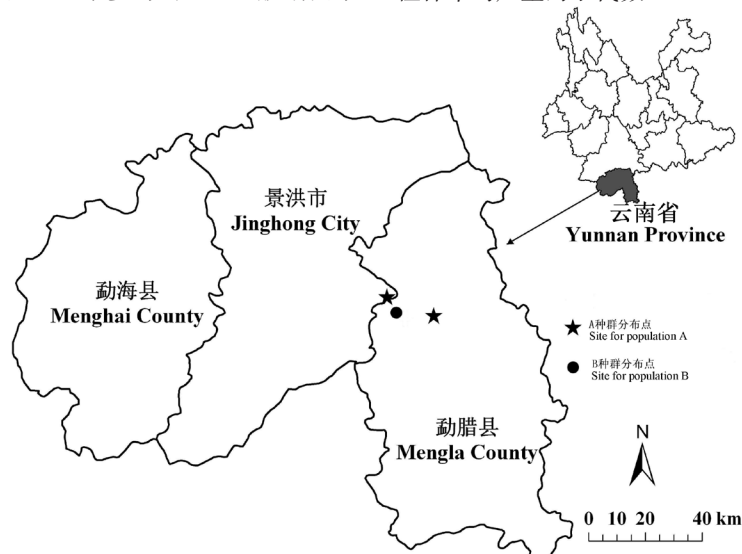


图1 流苏石斛种群调查分布图

Fig. 1 Map of investigated *Dendrobium fimbriatum* population sites

2.2 静态生命表的编制

根据多年观测和扦插实验发现,流苏石斛以2年为一个年龄级.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^[11].其具体内容有: X 为年龄级; l_x (存活率), X 龄级开始时的标准化存活数(1 000); d_x (死亡数),从 X 龄级到 $X+1$ 龄级的标准化死亡数; q_x (死亡率), X 龄级的个体死亡率, $q_x = d_x / l_x \times 1000$; L_x ,从 X 到 $X+1$ 的平均存活个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$; T_x , 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 (生命期望),进入 X 年龄个体的生命期望, $e_x = T_x / l_x$; a_x (存活数), X 龄级开始时的实际存活数; K_x ,种群消失率, $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$.

2.3 存活曲线和死亡率曲线绘制

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.

2.4 种群生殖力表的编制

种群生殖力表包含: X ,年龄级; l_x , X 龄级时的存活率; m_x , X 龄级个体平均生产的子代数(以实测数计算).计算种群净增殖率, $R_0 = \sum l_x m_x$;内禀增长率, $r_m = \ln R_0 / T$;周限增长率 $\lambda = e^r$;世代平均周期, $T = \sum X l_x m_x / \sum l_x m_x$ ^[11-12].

2.5 Leslie矩阵模型的构建和动态数量预测

利用生命表中存活率计算出总存活率 P_x (X 龄级到 $X+1$ 龄级的总存活率), $P_x = L_{x+1} / L_x = (l_{x+1} + l_{x+2}) / (l_x + l_{x+1})$;利用生殖力计算出 X 龄级平均生产的并能存活到 $X+1$ 龄级的后代

数 f_x , $f_x = P_x \cdot m_x$;从种群数量和分布推算出经过单位时间间隔后的种群数量和年龄分布 $N_{t+1} = M \cdot N_t = M^{t+1} \cdot N_0$,其中 M 为种群的射影矩阵(Population projection matrix)^[13].

$$M = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & \dots & f_{19} & f_{20} \\ p_0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_1 & 0 & \dots & \dots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & p_2 & \dots & \dots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \dots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & p_{19} & 0 \end{bmatrix}$$

3 结果与分析

3.1 流苏石斛种群静态生命表分析

以2年为龄级编制流苏石斛种群静态生命表,如表1.从表1可以看出,B种群个体数量多于A种群,而且种群总的生命期望(e_x)要大于A种群.在种群消失率(K_x)上,A种群要大于B种群,这主要是因为A种群处于保护区之外,人为干扰比较严重所导致的.两种群在种群消失率上(K_x)都是逐渐变大,说明随着龄级的增加,所受到环境筛选的作用变大,这主要是因为进入中期后,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.

3.2 流苏石斛种群存活曲线分析

采用多项式方程和指数方程两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.流苏石斛中种群存活曲线的决定系数结果(图2-a)为: Deevey-I型(0.959、0.964)大于Deevey-II型(0.870、0.875)和Deevey-III型(0.718、0.784).因此,可以判断流苏石斛种群

表1 流苏石斛种群静态生命表

Table 1 Static life table of *D. fimbriatum* population

种群 Population	茎级 Size class	茎长区间 Stem length range (//cm)	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	$\ln l_x$
A	1	<11	178	856	-144	-0.169	927.88	3019	3.53	-0.16	6.75
	2	12~24	208	1000	558	0.558	721.15	2091	2.09	0.82	6.91
	3	25~38	92	442	62	0.141	411.06	1370	3.10	0.15	6.09
	4	39~52	79	380	87	0.228	336.54	959	2.53	0.26	5.94
	5	53~65	61	293	110	0.344	242.79	623	2.12	0.42	5.68
	6	66~79	40	192	9	0.050	187.50	380	1.98	0.05	5.26
	7	80~92	38	183	106	0.632	125.00	192	1.05	1.00	5.21
	8	93~106	14	67	38	0.571	48.08	67	1.00	0.84	4.20
	9	106~120	6	29	24	0.833	16.83	19	0.68	1.76	3.37
	10	>120	1	5	5	1.000	2.40	2	0.50	1.61	1.61
B	1	<11	227	780	-220	-0.282	890.03	3349	4.30	-0.25	6.66
	2	12~24	291	1000	316	0.316	841.92	2459	2.46	0.38	6.91
	3	25~38	199	684	151	0.221	608.25	1617	2.37	0.25	6.50
	4	39~52	155	533	244	0.458	410.65	1009	1.90	0.61	6.28
	5	53~65	84	289	93	0.322	242.27	598	2.07	0.39	5.67
	6	66~79	57	196	93	0.474	149.49	356	1.82	0.64	5.28
	7	80~92	30	103	0	0.000	103.09	206	2.00	0.00	4.64
	8	93~106	30	103	62	0.602	72.17	103	1.00	0.92	4.64
	9	106~120	12	41	31	0.756	25.77	31	0.75	1.39	3.72
	10	>120	3	10	10	1.000	5.16	5	0.50	2.33	2.33

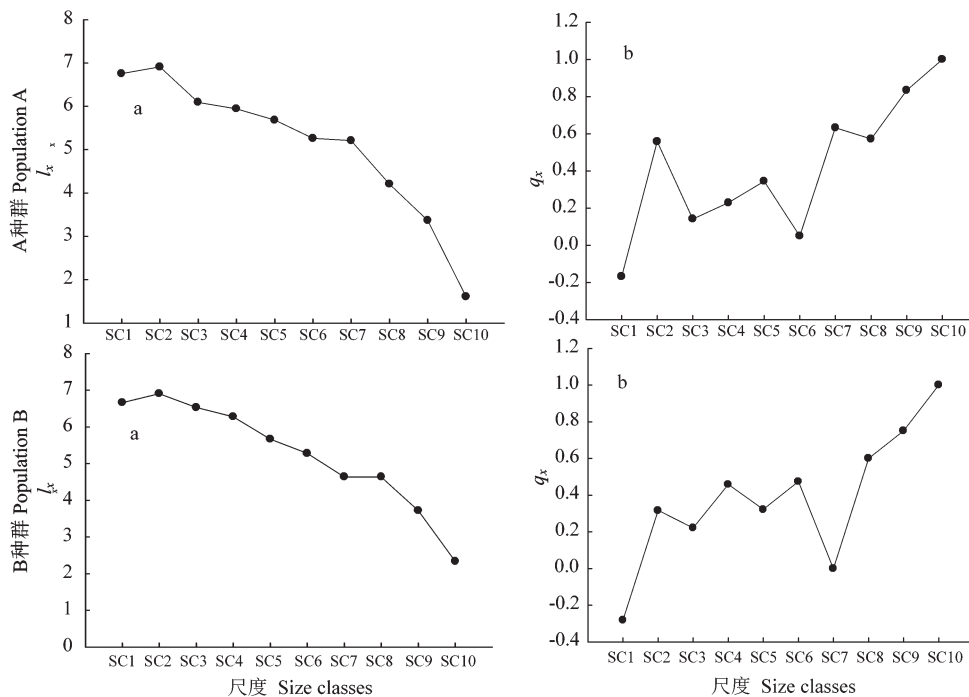


图2 流苏石斛种群存活率(a)及死亡率(b)曲线

Fig. 2 Survival (a) and mortality curves (b) of two *D. fimbriatum* populations

的存活曲线应属于Deevey-I型。从图2-b可以看出,流苏石斛2个种群各龄级之间存在着波动,在幼龄(1~2龄级)阶段虽然数量较多,但是死亡率很高;中龄级阶段(3~7龄级)虽然存活质量很高,但是个体数量较少,A种群6龄级个体为维持种群稳定的主要部分,而B种群则为7龄级个体,种群死亡率高峰出现在生理寿命的后期。

3.3 流苏石斛种群生殖力表和重要参数分析

流苏石斛2个种群生殖力表如表2。从表2可以看出,A种群净增长率(R_0)为0.434,表明它的每一世代种群可以增殖0.434倍;内禀增长率(r_m)为-0.146,表明瞬时出生率小于瞬时死亡率;周限增长率为(λ)为0.864,表明流苏石斛种群将以0.864倍的速度做几何级数的下降;世代平均周期(T)为11.416,表明流苏石斛生殖期植株的平均年龄为11.416年。参数 $R_0 < 1$ 、 $r_m < 0$ 、 $\lambda < 1$ 均表明,流苏石斛A种群下降,不能完

成自我更新,表现为衰退种群。B种群净增长率(R_0)为0.677,表明它的每一世代种群可以增殖0.677倍;内禀增长率(r_m)为-0.075,表明瞬时出生率小于瞬时死亡率;周限增长率为(λ)为0.928,表明流苏石斛种群将以0.928倍的速度做几何级数的下降;世代平均周期(T)为10.396,表明流苏石斛生殖期植株的平均年龄为10.396年。参数 $R_0 < 1$ 、 $r_m < 0$ 、 $\lambda < 1$ 均表明,流苏石斛B种群下降,不能完成自我更新,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($\lambda = 0.928$),属缓慢负增长型种群。

3.4 Leslie矩阵模型的构件与模拟分析

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,建立了流苏石斛人工种群的Leslie矩阵模型(表3),并以5年为时间间隔,用模

表2 流苏石斛种群生殖力表

Table 2 Fecundity schedule of two *D. fimbriatum* populations

种群A Population A					种群B Population B				
X	l_x	m_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$	X	l_x	m_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$
1	0.856	0.000	0.000	0.000	0.780	0.000	0.000	0.000	
2	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	
3	0.442	0.054	0.024	0.072	0.667	0.152	0.024	0.072	
4	0.380	0.152	0.058	0.231	0.533	0.426	0.058	0.231	$R_0 = 0.677$
5	0.293	0.490	0.115	0.577	0.289	0.405	0.115	0.577	$r_m = -0.075$
6	0.183	0.543	0.091	0.548	0.196	0.421	0.091	0.548	$\lambda = 0.928$
7	0.192	0.727	0.115	0.808	0.103	0.267	0.115	0.808	$T = 10.396$
8	0.067	1.267	0.030	0.243	0.103	0.567	0.030	0.243	
9	0.029	0.000	0.000	0.000	0.041	1.333	0.000	0.000	
10	0.005	0.000	0.000	0.000	0.010	0.667	0.000	0.000	

表3 流苏石斛种群的Leslie矩阵模型
Table 3 Leslie matrix model of two *D. fimbriatum* populations

$M_A =$	0	0	0.041	0.099	0.397	0.303	0.210	0.807	0
	0.777	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0.570	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0.749	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0.656	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.810	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0.559	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.289	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.637	0
$M_B =$	0	0	0.103	0.251	0.250	0.290	0.187	0.202	0.267
	0.942	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0.721	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0.679	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0.590	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.617	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0.690	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.700	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.357	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.200	

表4 未来25年内流苏石斛种群数量动态预测
Table 4 Numerical dynamics of two *D. fimbriatum* populations in the 25 years

X	种群B Population B											
	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
1	178	42	10	3	1	1	277	65	22	8	3	1
2	208	40	9	3	1	1	291	79	26	9	3	1
3	92	23	7	2	1	0	197	69	24	8	3	1
4	79	19	7	2	1	0	155	50	20	7	2	1
5	49	13	6	2	0	0	84	30	14	5	2	1
6	35	31	7	2	0	0	57	38	11	4	1	1
7	33	26	5	1	0	0	30	36	10	3	1	0
8	15	6	1	0	0	0	30	24	8	3	1	0
9	6	4	1	0	0	0	12	10	3	1	0	0
10	1	1	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0
总计 Total	696	206	54	15	4	2	1086	403	139	49	17	6

型来预测了流苏石斛种群未来25年的动态(表4)。

从表3、表4 Leslie矩阵模型模拟结果表明, 流苏石斛种群各龄级的个体数及种群总数均表现出下降趋势, 幼龄级个体数量虽多, 但死亡率较高, 中龄级(4~7龄)个体在最初几年出现了一个小的上升过程, 但种群仍将在25年后消失. A种群Leslie矩阵的平均特征值(λ_m)为 0.7737 ± 0.0161 , B种群Leslie矩阵的平均特征值(λ_m)为 0.8119 ± 0.0057 , 表明2个种群均为衰退种群. 运用SPSS16.0统计软件中的Paired-Sample *T-test*对两个种群的特征值(λ_m)进行差异显著性分析, 结果表明A种群和B种群之间存在着极显著差异性($t = -14.50, P < 0.001, N = 24$).

4 讨论与结论

通过流苏石斛种群静态生命表、存活曲线、生殖力表和Leslie矩阵模型分析, 得出一致的结果: A种群和B种群面临着同样的发展趋势, 但A种群消失率(K_x)较高, 种群生殖

力表参数净增长率 R_0 、内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 都低于B种群, 而A种群中龄级个体总体无性繁殖能力要强于B种群. 将各龄级个体数 N 、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2个种群的变化趋势, 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, 同时提高不同龄级的 P_x , 2个种群都会改变衰退趋势; 从表2中可以看出, A和B种群的繁殖力都很低, 从图1-b可以看出, A种群6龄级个体为维持种群的主要部分, 而B种群为7龄级个体. 因此, 当 N 与 P_x 不变, A种群繁殖力 m_x 从目前的0.543增加到8.31时, 才会改变衰退趋势; 而B种群繁殖力 m_x 也要从当前的0.267增加到8.30. 然而, 种群各龄级的存活率 P_x 主要是受自然环境的影响, 如降雨、温度以及养分, 而且版纳地区有长达半年的干旱季节, 也是导致幼龄个体死亡率高的主要原因, 因此要提高各龄级的存活率只能依靠环境条件和种群自身调节来实

现了. 通过多年的野外调查和室内观测, 发现流苏石斛种群的维持主要靠无性繁殖, 然而要是繁殖力增加到8.0以上靠无性繁殖是无法实现的. 但是, 流苏石斛还保留了有性繁殖特征, 通过人工异花授粉可以产生果实, 而且每个果荚中具有约11万粒种子. 然而, 兰科植物的果实虽然具有很多粒微小种子^[14], 但大部分种类的种子没有分化完全, 缺乏子叶^[15]和胚乳^[14], 萌发需要特殊的共生菌^[16]. 因此, 环境稍加改变, 兰科植物种子就很难萌发, 这也是导致当前兰科植物濒危的主要原因之一.

生长于不同分布点的2个流苏石斛种群, A种群山脚基本被橡胶树和经济作物包围, 而且时常有当地人采挖包括流苏石斛在内的兰科植物去集市上买卖, 对种群造成很大的干扰, 这也是造成A种群中龄级个体数量少的一个主要原因, 随着时间的推移, 这些人为干扰的积累效应会进一步加剧种群衰退的进程. B种群尽管在自然保护区中, 最大程度地免除了人为的干扰, 生长状况稍好于A种群, 但是种群依然处于衰退趋势, 其中幼龄级个体死亡率很高, 而维持种群稳定的中龄级个体数量少, 这很有可能是B种群在受保护之前也受到过严重的人为干扰, 导致种群结构的改变. 加之B种群所处生境缺乏其传粉昆虫(王晓静和刘强, 未发表), 居群遗传多样性很低($H = 0.084$)^[8], 所以看似被很好地保护于原生境中, 其生存未必就能得到保障. 流苏石斛不仅具有很高的药用价值, 而且其花大而艳丽, 深受当地人的喜爱, 并且其花期正好是傣族泼水节之际, 从而经常被用来装扮傣家姑娘的头饰, 说明流苏石斛还具有非常重要的文化价值. 因此, 对流苏石斛的保护是很有必要的. 本研究对流苏石斛种群数量动态进行了研究, 预测了未来种群的发展趋势, 根据流苏石斛种群下降的原因, 建议: 1) 相关执法部门加强野生资源贸易的管制, 且对保护区之外的种群采取迁地保护和就地保护区的种群增强和重建. 2) 就流苏石斛而言, 尽管保存于就地保护区, 但种群依然处于衰退趋势, 其主要原因是中龄级个体数量少, 繁殖力低, 加之缺乏传粉昆虫和居群遗传多样性低, 有性繁殖对种群的贡献几乎为零; 因此, 应尽快采取种群增强、传粉昆虫引入或人工辅助授粉以及种子的就地共生萌发等措施来阻止种群的进一步衰退; 3) 深入开展种子的非共生萌发实验, 通过人工扩繁技术满足市场上的需求, 从而切实减轻野生资源的压力, 达到真正意义上的保护.

致谢 感谢中国科学院西双版纳热带植物园园林园艺部在实验中的支持以及同事白智林、谭运洪、李剑武、余涛在实验实施中的帮助.

References

- Xiong ZT (熊治廷). Environmental Biology. Wuhan: Wuhan University Press (武汉: 武汉大学出版社), 2000. 459~478
- Chen SC (陈心启), Luo YB (罗毅波). Advances in some plant groups in China. I. A retrospect and prospect of orchidology in China. *Acta Bot Sin* (植物学报), 2003, **45** (Suppl.): 2~20
- Tis ZH (吉占和). Flora Reipublicae Popularis Sinicae. Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 1999. 19. 90~91
- Bi ZM (毕志明), Yang YS (杨毅生), Wang ZT (王峥涛), Gong YQ (龚燕晴), He XJ (何秀菊), Tadato T. Chemical constituents of *Dendrobium fimbriatum* Hook. (I). *J China Pharm Univ* (中国药科大学学报), 2001a, **32** (3): 200~202
- Bi ZM (毕志明), Wang ZT (王峥涛), Zhang M (张勉), Xu DR (徐德然), Xu LS (徐璐珊), Xu GJ (徐国钧). Chemical constituents of *Dendrobium fimbriatum* Hook. (II). *J China Pharm Univ* (中国药科大学学报), 2001b, **32** (6): 421~422
- Liu Q (刘强), Yin SH (殷寿华), Huang W (黄文), Yin JT (殷建涛). Studies on the endangerment reasons and conservation strategies for *Dendrobium fimbriatum*. *Subtrop Plant Sci* (亚热带植物科学), 2007, **36** (4): 45~47
- Fu LK (傅立国). China Plant Red Data Book: Rare and Endangered Plants, I. Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 1992
- Ma JM (马佳梅), Yin SH (殷寿华). Genetic diversity of *Dendrobium fimbriatum* (Orchidaceae), an endangered species, detected by inter-simple sequence repeat (ISSR). *Acta Bot Yunnanica* (云南植物志), 2009, **31** (1): 35~41
- Wang H (王洪), Zhu H (朱华), Li BG (李保贵). Vegetation of limestone in Xishuangbanna Southwest China. *Guihaia* (广西植物), 1997, **17** (2): 101~117
- Zhang KY (张克映). An analysis on the characteristics and forming factors of climates in the south part of Yunnan. *Acta Meteorol Sin* (气象学报), 1963, **33**: 210~230
- Jiang H (江洪). The Study on Population of *Picea asperata*. Beijing: Chinese Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 1992
- Grawley M. Plant Ecology. London: Blackwell Scientific Publications, 1991
- Liu JF (刘金福), Hong W (洪伟). A study on forecast of population dynamics of *Castanopsis kawakamii*. *Chin J Appl & Environ Biol* (应用与环境生物学报), 1999, **5** (3): 247~253
- Rolfe RA. Seeds and pollination. *Orch Rev*, 1962, **70** (831): 282~283
- Maheshwari P, Narayanaswami S. Embryological studies on *Spiranthes australis* Lindl. *J Linn Soc (Bot)*, 1952, **53**: 474~486
- Rasmussen HN. Terrestrial Orchids from Seed to Mycotrophic Plant. Cambridge: Cambridge University Press, 1995