濒危植物长柄双花木自然种群数量动态

肖宜安^{1 2} 何平^{1*} 李晓红² 邓洪平¹

(1 西南师范大学生命科学学院, 重庆 400715)

(2 井冈山师范学院生命科学系, 江西吉安 343009)

摘要 运用种群生命表、生殖力表、Leslie 矩阵模型和时间序列预测分析方法, 研究了濒危植物长柄双花木 (*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*) 种群的动态变化过程, 揭示了长柄双花木各龄级植株的数量动态规律。结果表明: 长柄双花木为缓慢负增长型种群, 种群的净增殖率、内禀增长率以及周限增长率都较低, 世代平均周期较长; Leslie 矩阵模型和时间序列预测分析均表明在未来 50 年内长柄双花木各年龄级种群数量会出现波动性的消长, 但其种群总数将逐步下降。导致种群下降的主要原因可能是人为砍伐及由此造成的生境破碎化等。

关键词 种群动态 时间序列 Leslie 矩阵模型 濒危植物 长柄双花木

STUDY ON NUMERIC DYNAMICS OF NATURAL POPULATIONS OF THE ENDANGERED SPECIES *DISANTHUS CERCIDIFOLIUS* VAR. *LONGIPES*

XIAO Yi-An^{1 2} HE Ping^{1*} LI Xiao-Hong² and DENG Hong-Ping¹

(1 School of Life Science, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China)

(2 Department of Science Life, Jinggangshan Normal College, Ji'an 343009, China)

Abstract *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* is an endangered plant species which is only distributed in Jinggang Mountain, Junfeng Mountain and Guanshan, Jiangxi Province, Longquan, Zhejiang Province, and Mangshan, Hunan Province, China. At present, its population is small and decreasing. In order to better understand its decline, we studied the population dynamics of this species using static life tables, fecundity schedules, Leslie matrices and time sequence analysis based on an in-depth investigation of age structure, seed production and seed germination rate. The results are as follows: Net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m) and finite ratio fineries (λ) are 0.833 7, -0.004 7 and 0.995 3, respectively. Values of the separameters ($R_0 < 1$, $r_m < 0$, $\lambda < 1$) indicated that the population is decreasing. The Leslie matrix model predicted that over the next 50 years the number of populations would decrease from 227 1 to 764, i.e., only 30% will remain. The results of the time sequence analysis agreed with the Leslie matrix model prediction. The key threats to this species are most likely deforestation and habitat fragmentation.

Key words Numeric dynamics of population, Time sequence analysis, Leslie matrix model, Endangered plant, *Disanthus cercidifolius* var. *longipes*

双花木属 (*Disanthus*) 系金缕梅科子遗的单种属, 该属在探索长柄双花木 (*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*) 系统发育和东亚长柄双花木地理方面具有一定的科学意义。长柄双花木是该属中国-日本植物区系的替代种 (傅立国, 1989), 仅零星分布于江西、湖南和浙江等省的部分县, 分布区局限, 且个体数量稀少 (傅立国, 1992; 肖宜安等, 2002), 目前已处于濒危状态, 被列为国家二级重点保护的濒危物种。为了揭示其濒危的原因和机制, 作者曾对其群

落物种多样性、种群形态分化及其与环境因子的关系等进行了初步研究 (肖宜安等, 2002, 2003a, 2003b; 2003c)。而有关其种群动态、生殖生态等方面的研究则尚未见报道。本文运用种群生命表、生殖力表探讨其种群的动态过程, 在此基础上建立了预测种群数量动态变化的 Leslie 矩阵模型, 并进一步运用时间序列对种群数量动态进行了预测, 为深入研究该物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

研究地点设于江西省井冈山的长柄双花木全分布区,该分布区位于井冈山市东上乡境内,属于罗霄山脉中段。所处区域植被为亚热带常绿阔叶林被破坏后形成的天然次生林或次生灌丛。海拔 600 ~ 1 300 m,土壤主要为红棕壤。分布地年均气温 15.1℃,1 月平均气温 3.9℃,7 月平均气温 23.7℃,极端最低温 -13.4℃,极端最高温 35.2℃。年降水量 1 872 mm,无霜期 247 ~ 263 d。气候温凉、雨水多、云雾重,湿度较大。与浙江龙泉、江西军峰山等分布区植被、气候(傅立国,1992;饶军等,1997)相似。

2 研究方法

2.1 野外调查

在井冈山长柄双花木全分布范围内,选择具有代表性的 5 个分布点各设置 2 ~ 4 个 400 m² 的样地,共 15 个样地,每样地划分成 16 个 5 m × 5 m 的小样方。对小样方内的长柄双花木进行每木调查,记录其高度、基径、胸径、冠幅。同时调查各植株林冠下(分布稀疏处调查树冠外围 2 m 以内)的一年生幼苗数。

采用年轮钻和年龄-基径回归相结合的方法确定其年龄,调查前随机选 10 个个体,先测其基径,并用年轮钻测其年龄,然后伐倒树木计算年轮数,最后根据所得数据建立年龄-基径回归方程。在实际调查时,结合年轮钻法和回归方程计算所得年龄来确定植株的年龄,当年轮钻法与回归法所得年龄有差异时,取二者平均值。根据自 1999 ~ 2002 年野外采样实验结果,建立长柄双花木单株结实量与植株年龄、基径之间的回归方程,并用此方程估算各个年龄级植株的结实量。利用 1999 ~ 2000 年连续两年的实验数据确定种子的饱满率和自然生境下饱满种子的发芽率,用植株结实量乘种子饱满率再乘发芽率得到有效种子产量。用一年生幼苗数与有效种子产量的比值计有效幼苗生产率,用以进行 Leslie 矩阵模型的建立,其结果是 0.38%。

2.2 种群静态生命表与生殖力表的编制

长柄双花木为多年生灌木或小乔木,本文以 5 年为 1 个年龄级,按照文献(岳春雷等,2002)以“空间代替时间”的方法编制其静态生命表,表中包含以下内容: x 为年龄级; l_x 为 x 年龄级开始时的标准化存活数; d_x 为从 x 到 $x+1$ 期的标准化死亡数; q_x 为

x 年龄级的个体死亡率, $q_x = d_x / l_x \times 1\,000$; L_x 为从 x 到 $x+1$ 的平均存活的个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$; T_x 为 x 年龄级及以上各年龄级的个体存活数, $T_x = L_x + L_{x+1} + \dots$; e_x 为进入 x 级个体的平均生命期望, $e_x = T_x / l_x$; a_x 为 x 年龄级开始时的实际存活数; K_x 为种群消失率, $K_x = \ln a_x - \ln a_{x+1}$ 。

种群的生殖力表中包含以下内容: $x, l_x, m_x, l_x m_x, x l_x m_x$ 。其中 x 代表年龄级, l_x 代表 x 年龄级时的存活率; m_x 表示 x 年龄级的植株平均生产的子代数。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)以及世代平均周期(T):

$$R_0 = \sum l_x m_x \lambda = N_{t+1} + N_t,$$

$$T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x,$$

$$r = (\ln R_0) / T, \lambda = e^{r_m}。$$

2.3 Leslie 矩阵模型的建立

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的元素,并可用计算机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(岳春雷等,2002;郑元润等,1997;祖元刚等,1999)。以 5 年为一个年龄级进行模拟计算。

2.4 时间序列分析

时间序列分析是统计学中的一个重要的分支,其内容非常丰富,在预报分析、林业生产的树木生长、病虫害等领域得到广泛应用(吴承祯等,1999;祖元刚等,1999),而将其应用到植物种群动态研究中目前报道很少。本文试图应用时间序列分析中的移动平均法对长柄双花木种群动态进行预测分析。本文所选的是一次移动平均法,其计算方法如下:

$$M_t^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t x_k$$

式中 n 表示需要预测的未来时间年限, $M_t^{(1)}$ 表示未来 n 年时 t 年龄级(此处以 1 年为一个年龄级)的种群大小, x_k 当前 k 年龄级的种群大小。

3 结 果

3.1 长柄双花木的静态生命表

按上述方法编制得到长柄双花木种群的静态生命表如表 1。从以上生命表可知,长柄双花木 1 ~ 5 年年龄级的种群死亡率相对较高。表 1 还表明,50 年年龄级时,种群死亡率又出现一个高峰。

3.2 种群生殖力表

长柄双花木种群生殖力表(表 2)。由表 2 可

表 1 井冈山长柄双花木种群的生命表
Table 1 Life table of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* population in Jinggang Mt.

x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	a_x	$\ln a_x$	$\ln l_x$	K_x
1	1 000	238	238	881	5 015	5.02	412	6.021	6.908	0.272
5	762	240	315	642	4 134	5.43	314	5.749	6.636	0.379
10	522	27	52	509	3 492	6.69	215	5.371	6.258	0.053
15	495	34	69	478	2 983	6.03	204	5.318	6.205	0.071
20	461	22	48	450	2 505	5.43	190	5.247	6.133	0.049
25	439	7	16	436	2 055	4.68	181	5.198	6.084	0.017
30	432	87	201	389	1 619	3.75	178	5.182	6.068	0.226
35	345	37	107	327	1 238	3.59	142	4.956	5.844	0.112
40	308	26	84	295	903	2.93	127	4.844	5.730	0.091
45	282	3	11	281	608	2.16	116	4.754	5.642	0.009
50	279	148	530	205	327	1.17	115	4.745	5.631	0.756
55	131	75	573	94	122	0.93	54	3.989	4.875	0.853
60	56	0	0	28	28	0.5	23	3.135	4.025	3.135

表 2 井冈山长柄双花木种群生殖力表
Table 2 Fecundity schedule of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* population in Jinggang Mt.

x	l_x	m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$
1	1	0	0	0
5	0.762	0	0	0
10	0.522	0	0	0
15	0.495	0	0	0
20	0.461	0.044	0.020	0.409
25	0.439	0.333	0.146	3.658
30	0.432	0.167	0.072	2.160
35	0.345	0.133	0.046	1.610
40	0.308	0.636	0.196	7.840
45	0.282	1.000	0.282	12.690
50	0.279	0.082	0.023	1.144
55	0.131	0.032	0.004	0.233
60	0.056	0.783	0.044	2.630
种群净增殖率 Net reproductive rate $R_0 = 0.833\ 7$				
内禀增长率 Intrinsic rate of increase $r_m = -0.004\ 7$				
周限增长率 Finite rate of increase $\lambda = 0.995\ 3$				
世代平均周期 Generation span $T = 38.83(a)$				

知,长柄双花木种群的净增殖率仅为 0.833 7,这说明每一世代种群将以 0.833 7 倍的数量增加;内禀增长率只有 -0.004 7,也就是说种群的瞬时死亡率高于瞬时出生率;周限增长率是 0.995 3,表示该种群将 -0.995 3 倍的速度作几何级数的下降。以上参数同时说明了长柄双花木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(下降)速度相对比较缓慢($\lambda = 0.995\ 3$),属缓慢负增长型种群。

3.3 Leslie 矩阵模型的建立与预测

根据实验、野外调查及计算获得的基础数据,建立了长柄双花木种群的 Leslie 矩阵模型(表 3),并由模型预测了种群未来 50 年的动态(表 4)。由表 4 可

知,该种群各个年龄级的个体数及种群总数均表现出持续下降趋势。虽然在这 50 年当中,各年龄级个体数量都出现“急剧下降、小量上升、稳步下降”的过程,但对这种“小量上升”只可认为是一种小的波动。

3.4 时间序列预测

根据一次移动平均法的计算方法对未来 2 年、5 年、10 年各龄级种群数量和种群结构动态进行预测,结果见表 5。从表 5 可知,长柄双花木种群总数将从目前的 2 271 株下降至 10 年后的 1 882 株,其结果与 Leslie 矩阵模型所预测的基本一致。但各年龄级种群数量则有增有减,部分年龄级个体数量出现先增后减或先减后增的趋势;大部分年龄级个体数稳步下降,如 15 年、26 年生个体的数量等;相反年龄级个体数尤其是老龄个体则稳步上升,如 59 年、62 年生个体的数量。上述结果仍说明该种群属于衰退型种群。

4 讨 论

4.1 长柄双花木濒危原因及恢复

长柄双花木幼苗死亡率高,这可能与幼龄种群受到的环境筛的强烈作用有密切关系,这个环境筛主要是光因素。有研究表明(肖宜安等,2003b),长柄双花木幼苗为喜半阴类型,而其分布地人为形成的裸露地不能为其提供足够的荫蔽环境,可能致使幼苗因强光照射而死亡。在野外调查中也发现,长柄双花木幼苗只分布于林缘半阴半阳的生境中,而且幼苗数量稀少,成丛分布。而 50 年年龄级的种群死亡率高,则可能有两个主要原因:一是与其生理活动的衰退有关;二是人为砍伐造成的,虽然野外发现少量长柄双花木植株在砍伐后能萌发新枝,但多次

表 3 井冈山长柄双花木种群 Leslie 矩阵模型
Table 3 Leslie matrix model of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* population in Jinggang Mt.

0	0	0	0	0.171	0.162	0.160	0.128	0.114	0.104	0.103	0.048	0.021
0.729												
	0.792											
		0.940										
			0.941						0			
				0.968								
					0.892							
						0.840						
		0					0.904					
								0.951				
									0.731			
										0.456		
											0.299	0

表 4 井冈山长柄黄花木种群 50 年内年龄结构及其数量动态预测
Table 4 The age structure and numeric dynamics of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* population in 50 years in Jinggang Mt.

年龄级 Age class	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}
1	412	150	146	146	150	153	132	112	95	83	74
5	314	300	109	107	106	110	111	96	82	69	61
10	215	249	238	87	84	84	87	88	76	65	55
15	204	202	234	224	81	79	79	82	83	72	61
20	190	192	190	220	210	77	75	74	77	78	67
25	181	184	186	184	213	204	74	72	72	74	76
30	178	161	164	166	164	190	182	66	65	64	66
35	142	150	136	138	139	138	160	153	56	54	54
40	127	128	135	123	125	126	125	144	138	50	49
45	116	121	122	129	117	118	120	119	137	131	48
50	115	85	88	89	94	85	87	87	87	100	96
55	54	52	39	40	41	43	39	39	40	40	46
60	23	16	16	12	12	12	13	12	12	12	12
总计 Total	2 271	1 990	1 803	1 662	1 537	1 419	1 282	1 145	1 018	892	764

砍伐后其萌枝能力就可能下降甚至完全丧失。

长柄双花木种群数量的不断下降说明其濒危状况仍在加剧。虽然种群数量下降的原因常是多方面的,长柄双花木从其结实率、种子自然萌发率、到成苗率等都很低,这必然导致其种群数量的下降,而有关其生殖生态等方面对种群数量动态的影响则正在进一步的研究中。另外,人为因素是导致种群数量急剧下降的一个主要原因。一方面是由于人为直接砍伐及其引起的生境破碎化的结果。据了解,该分布区域内的森林在近 20 年来不断遭到大量砍伐,其中在 1997 年前后,各分布点均修筑了简易的机动车道,部分分布点周围的森林被彻底砍伐,改种了人工杉木林。这不但造成长柄双花木种群数量的直接锐减,也使其原有生境破碎化,进一步加剧现有种群的下降趋势。需要指出的是,分布区周围农民常将该植株当作“樵柴”砍伐的现象一直在持续。甚至直到

作者前往该地开展野外实验时,仍少有人知该物种是国家保护物种。另一方面则是有些外来个体户的采挖,仅 2000 年有外来个体户在分布区采挖数百棵各龄级植株。另外长柄双花木结实率低的生理生态机制还需进一步研究。

从种群动态预测结果看,长柄双花木种群数量在下降过程中还存在一定的波动,这种波动是由于该年龄级内部个体的死亡和由低龄级向高龄级的迁移而产生的。从另一方面看,这种波动的出现也正预示了该种群仍存在一定的恢复潜能,只要保护得当,其种群数量有可能逐步恢复,作者认为其中最好的保护方法就是保护好其生境,严格控制人为采挖及其它方式的破坏。

4.2 关于种群动态研究的方法

植物种群数量动态研究的方法和模型较多,主要在于如何有效运用于种群研究中。

表 5 井冈山长柄双花木种群年龄结构的时间序列预测
Table 5 Time sequence analysis of age structure of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* population in Jinggang Mt.

年龄 Age (a)	原始数据 Primary data	$M_2^{(1)}$	$M_3^{(1)}$	$M_{10}^{(1)}$	年龄 Age (a)	原始数据 Primary data	$M_2^{(1)}$	$M_3^{(1)}$	$M_{10}^{(1)}$	年龄 Age (a)	原始数据 Primary data	$M_2^{(1)}$	$M_3^{(1)}$	$M_{10}^{(1)}$
1	97				23	33	30	42	43	45	37	39	25	27
2	81	89			24	30	32	42	41	46	26	32	30	28
3	51	66			25	31	31	38	39	47	41	34	32	29
4	98	75			26	43	37	33	40	48	23	32	34	29
5	85	92	82		27	41	42	36	39	49	21	22	30	27
6	49	67	73		28	26	34	34	38	50	5	13	23	24
7	37	43	64		29	34	30	35	39	51	37	21	25	28
8	43	40	62		30	37	36	36	37	52	27	32	23	27
9	54	49	54		31	59	48	39	36	53	32	30	24	29
10	44	49	45	64	32	34	47	38	37	54	7	20	22	26
11	51	48	46	59	33	25	30	38	36	55	12	10	23	23
12	39	45	46	55	34	34	30	38	36	56	10	11	18	22
13	31	35	44	53	35	26	30	36	36	57	16	13	15	19
14	43	37	42	48	36	13	20	26	33	58	17	17	12	18
15	51	47	43	44	37	31	22	26	32	59	9	13	13	17
16	41	46	41	43	38	30	31	27	32	60	2	6	11	17
17	45	43	42	44	39	39	35	28	33	61	5	4	10	14
18	35	40	43	43	40	29	34	28	32	62	1	3	7	11
19	31	33	41	41	41	5	17	27	27	63	3	2	4	8
20	52	42	41	42	42	29	17	26	26	64	7	5	4	8
21	69	61	46	44	43	15	22	23	25	65	7	7	5	8
22	27	48	43	43	44	41	28	24	26	合计 Total	2 271	2 219	2 094	1 882

生命表只给我们一个种群的年龄结构状态 ,没有给我们提供一个计算种群在各个年龄组中的个体随时间变化的简单方法 ,而 Leslie 矩阵模型即为这种计算的一种有效工具 ,是研究种群发展的一种决定链模型(臧润国等 ,1994) ,能够预测种群数量及其结构的动态变化 ,是种群数量动态预测的理想手段 ,在濒危物种保护和管理方面具有一定的应用价值(郑元润等 ,1997)。但是它也存在一些难以克服的缺点(祖元刚等 ,1999) ,对衰退的种群(幼年个体数量少的种群) ,尤其是珍稀濒危物种大多是衰退种群 ,无法编制生命表 ,也就无法建立 Leslie 矩阵模型从而达不到预测种群数量动态的目的。虽然如此 ,目前仍有大量研究使用上述模型来预测濒危物种种群(包括衰退种群) 的动态(岳春雷等 ,2002 ;倪红伟 ,1999)。

时间序列分析具有较高的预测准确性 ,并适用于多种复杂条件下的预测。该方法无论是对增长型种群还是衰退型种群都可以用其进行分析和预测 ,弥补了 Leslie 矩阵模型的不足(祖元刚等 ,1999) ,因此是对濒危物种种群动态预测的理想手段 ,所得结果是可靠的(刘金福等 ,1999)。同时该方法不仅能

从所得结果中获得随预测年限增加而出现的同龄级种群数量的波动状态 ,还可以推算出大于时间间隔年限的种群总数。从本文研究结果看 ,如能在实际研究中将上述两种方法结合起来应用 ,应该是更为理想的手段 ,所得出的结论也将更有价值。

参 考 文 献

Fu, L. G. (傅立国). 1989. The rare and endangered plants in China. Shanghai: Shanghai Education Publishing House. 158 ~ 159. (in Chinese)

Fu, L. G. (傅立国). 1992. The red book of plants in China — rare and endangered plants (I). Beijing: Science Press. 324 ~ 325. (in Chinese)

Liu, J. F. (刘金福) & W. Hong (洪伟). 1999. Time series model of individual age and diameter in *Castanopsis kawakamii* population. Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), **23**: 283 ~ 288. (in Chinese with English abstract)

Ni, H. W. (倪红伟). 1999. Analysis on the dynamic of above-ground biomass and time sequence of different *Deyeuxia angustifolia* communities in Sanjiang plain. Bulletin of Botanical Research (植物研究), **19**: 88 ~ 93. (in Chinese with English abstract)

Rao, J. (饶军) & R. T. Li (李荣同). 1997. *Disanthus cercidifolius* Maxim. var. *longipes* H.T. Chang in Junfeng Mountains. Plants (植物杂志), **3**: 4. (in Chinese)

Wu, C. Z. (吴承祯) & W. Hong (洪伟). 1999. Multimenbion-

al time series analysis on tree growth. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 10: 395 ~ 398. (in Chinese with English abstract)

Xiao, Y. A. (肖宜安), P. He (何平), H. P. Deng (邓洪平) & X. H. Li (李晓红). 2002. Numerical analysis of population morphological differentiation of *Disanthus cercidifolius* in Jinggangshan. Journal of Wuhan Botanical Research(武汉植物学研究), 20: 365 ~ 370. (in Chinese with English abstract)

Xiao, Y. A. (肖宜安), P. He (何平), H. P. Deng (邓洪平) & M. Z. Shi (时明芝). 2003a. Study on population genetic diversity and genetic differentiation of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* H. T. Chang in Jinggangshan. Journal of Southwest China Normal University (西南师范大学学报), 28: 444 ~ 449. (in Chinese with English abstract)

Xiao, Y. A. (肖宜安), P. He (何平), H. P. Deng (邓洪平), X. H. Li (李晓红) & M. Z. Shi (时明芝). 2003b. Influence of different illumination on photosynthesis of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* H. T. Chang seedling. Journal of Southwest China Normal University(西南师范大学学报), 28: 440 ~ 443. (in Chinese with English abstract)

Xiao, Y. A. (肖宜安), P. He (何平), H. P. Deng (邓洪平) & C. Long (龙川). 2003c. Species diversity of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* community in Jinggang Mountains. Journal of Jinggangshan Normal College (井冈山师范学院学报), 24 (5): 5 ~ 9. (in Chinese with English abstract)

Yue, C. L. (岳春雷), H. Jiang (江洪) & Y. M. Zhu (朱荫湄). 2002. Analysis on numeric dynamics of population of *Cimicifuge nanchuanensis*, an endangered plant. Acta Ecologica Sinica (生态学报), 22: 793 ~ 796. (in Chinese with English abstract)

Zang, R. G. (臧润国), N. Zhu (祝宁) & J. Z. Li (李进中). 1994. Study on the population ecology of *Acanthopanax senticosus* in natural secondary forest communities (V)——A Leslie matrix model for predicting the growth of the population. Journal of Jilin Forestry Institute (吉林林学院学报), 10(2): 77 ~ 81. (in Chinese with English abstract)

Zheng, Y. R. (郑元润) & X. S. Zhang (张新时). 1997. Model forecast of population dynamics of spruce on sandy land. Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), 21: 130 ~ 137. (in Chinese with English abstract)

Zu, Y. G. (祖元刚), W. H. Zhang (张文辉), X. F. Yan (阎秀峰) & S. Ge (葛颂). 1999. Conservation biology of *Adenophora lobophylla* an endangered plant. Beijing: Science Press. 182 ~ 224. (in Chinese)

责任编辑：董 鸣 责任编辑 张丽赫