

梵净山自然保护区珙桐天然种群生命表与生存分析*

吴明开^{1,2} 沈志君^{2,3} 刘海^{2,3} 吴沿友^{1**} 何汝态⁴ 邱阳⁴ 杨妮⁴ 杨宁⁴

(¹中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; ²贵州省现代中药材研究所, 贵州省农业生物技术重点实验室, 贵阳 550006; ³贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001; ⁴贵州梵净山自然保护区管理局, 贵州江口 554400)

摘要 以种群生命表和生存分析理论为基础, 采用空间代替时间法和分段平滑技术, 编制梵净山自然保护区珙桐天然种群特定时间生命表, 绘制其死亡率曲线、消失率曲线、存活曲线和生存函数曲线, 分析种群数量动态变化。结果表明: 珙桐种群结构存在波动性, 趋于Deevey III型, 其幼年阶段的个体较丰富; 珙桐种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致, 在这一发育过程中有两个死亡高峰, 一个出现在幼苗向幼树的过渡期(I龄级→II龄级), 另一个出现在从中龄向老龄过渡的阶段(VIII龄级→IX龄级); 种群生存分析表明, 珙桐种群的生存率单调下降, 累计死亡率单调上升, VIII龄级后, 种群生存率小于8%, 累计死亡率大于92%, 危险率超过生存率; 4个生存函数曲线表明, 梵净山珙桐有前期锐减、中期稳定和后期衰退的特点。幼苗和中龄级个体的不足是导致珙桐濒危的重要原因。

关键词 种群生命表; 存活曲线; 生存分析; 珙桐

中图分类号 Q145 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)6-1419-06

Life table and survival analysis of natural *Davidia involucrata* population in Fanjing Mountain Nature Reserve, Guizhou Province of Southwest China. WU Ming-kai^{1,2}, SHEN Zhi-jun^{2,3}, LIU Hai^{2,3}, WU Yan-you^{1**}, HE Nu-tai⁴, QIU Yang⁴, YANG Ni⁴, YANG Ning⁴ (¹State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; ²Key Laboratory of Agricultural Biotechnology of Guizhou Province, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Modern Chinese Medical Materials Development of Guizhou Province, Guiyang 550006, China; ³School of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; ⁴Guizhou Administrative Bureau of Fanjingshan National Nature Reserve, Jiankou 554400, Guizhou, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(6): 1419-1424.

Abstract: Based on the population life table and the theory of survival analysis, and by using the age class structure represented by DBH (diameter at breast height) class and the stage-smoothing technique, a specific life table of *Davidia involucrata* population in Fanjing Mountain Nature Reserve was compiled, and the mortality rate curve, killing power curve, survival rate curve, and survival function curve were analyzed, aimed to reveal the quantitative dynamics of the population. There was a fluctuation in the structure of the *D. involucrata* population. The survival curve of the population appeared to be of Deevey III type, and the individuals at young stage were abundant. The mortality rate curve and disappearance rate curve in the lifespan had similar variation trend, and the population had two distinct peaks of mortality, i. e., from I to II age class and from VIII to IX age class. The survival analysis showed that the population mortality rate was increasing all along, while the survival rate was decreasing all the time. After VIII age class, the mortality rate would exceed 92%, and the survival rate would decrease to below 8%, which indicated that hazard rate surpassed survival rate. The survival functional curve showed that the individual number of the population decreased rapidly in early age period, was stable in middle age period,

* 梵净山自然保护区管理局、贵州科学院、中国科学院昆明分院专项合作项目、中国科学院“百人计划”择优项目和贵州省科技基金项目(黔科合J字[2011]2351号)资助。

** 通讯作者 E-mail: wuyanyou@mails.gyig.ac.cn

收稿日期: 2011-12-17 接受日期: 2012-02-29

and declined in old age period. The high mortality of seedlings and the deficiency of middle-age trees could be the main reasons leading to the *D. involucrata* population becoming endangered.

Key words: population life table; survival curve; survival analysis; *Davidia involucrata*.

珙桐(*Davidia involucrata*)为我国特有的珙桐科(Davidiaceae)单型属植物,起源古老,第三纪时曾广泛分布于世界各地,受第四纪冰期的影响多数种群灭绝,现仅局限于我国西南山地深山峡谷中的亚热带地区(27°01'N—31°07'N, 98°06'E—111°01'E),呈间断性零星分布,在我国7个省区,约40多个市县有分布,其自然分布区呈现一较连续的马蹄形和两个远离马蹄形的孤立种群,珙桐适应性较差,自然更新困难,素有“活化石”之称,为国家一级重点保护珍稀濒危植物(贺金生等,1995)。陈艳等(2011)对珙桐研究进展情况作了较为全面的总结,到目前为止,主要在珙桐濒危原因、群落学、地植物学、种群生态学、生物学特性、繁殖特性、生理特性、形态解剖学、组织化学、细胞学、分子生物学,以及组织培养、人工繁育与引种栽培技术等方面开展了大量研究工作,为拯救和保护这一珍稀濒危物种奠定了基础。

梵净山作为珙桐主要分布地之一,从现有研究报告上看,梵净山珙桐种群数量动态方面研究不足,而这正是濒危物种保护与种群恢复的基础研究工作。生命表是研究种群数量动态的重要工具,生命表的结构分析是解释种群数量变化的前提和首要工作。生命表记录任一龄级种群生存到下一龄级的数目比例的一览表,通过对种群生命表编制可得出存活率、死亡率和消失率等重要参数,预测种群的生命趋势,反映种群从出生到死亡的动态关系。综合判断种群的数量变化;生存分析的4个函数辅助种群生命表的分析,可以更好地阐明种群的生存变化规律(张志祥等2008;冯金朝等2009)。

本研究在对梵净山自然保护区境内分布相对集中的珙桐群落进行野外调查的基础上,采用特定年龄生命表技术和生存函数分析法对该区珙桐种群的结构、动态及生存状况进行分析,以阐明梵净山天然珙桐种群数量特征与动态发展趋势,从而为保护天然珙桐种群资源和珙桐人工造林管理提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

梵净山地处贵州省东北部江口、印江和松桃三县

交界地带(27°49'50"N 28°01'30"N, 108°45'55"E 108°48'30"E),是武陵山脉的主峰,同时也是乌江水系和沅江水系的分水岭,与湘、鄂、川毗邻,山地高大,山势雄伟,层峦叠嶂,坡陡谷深,其自然环境复杂多样,≥10℃积温1500~5500℃,年均降雨量1100~2600mm,年均相对湿度80%以上,特征为典型的中亚热带季风山地湿润气候,植物种类十分丰富,自然植被保存完整。中山常绿、落叶阔叶混交林是梵净山保护区分布范围最广的一种植被类型,从海拔800~1800m均有分布,是我国东部亚热带山地常绿阔叶林向寒温带性针叶林的一种过渡类型,其组成结构比较复杂,树种丰富,受到的人为干扰较小,是梵净山其他生物资源最主要的庇护场所,也是珙桐主要分布区域(吉占和,1993;杨海龙等2010)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 在野外踏查的基础上,在梵净山自然保护区内珙桐集中分布的黑湾河管理总站、徐家沟管理总站、闵孝管理总站等区域,海拔1000~1800m内,选择了5个具有代表性的样地,每个样地选取3个20m×30m的样方,每个样方再分别选取5个5m×5m与5个1m×1m的样方调查灌木、草本层,记录各样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、土壤类型、岩石裸露率和郁闭度等生境指标(表1)。

按照中国科学院生态系统调查表的要求,对样方内所有植物进行每木调查,以每个样方的两边为坐标轴,测定每株植物的坐标(x, y)。每木调查时,以基株为单位进行统计,如果一个树桩上有多个无性系分株,则记录径级最大的一株。记录包括:1)样方内胸径≥5cm植株的胸径、树高、冠幅、枝下高;2)胸径<5cm的植株,记录株数和高度。

1.2.2 年龄结构分析方法 珙桐为国家一级重点保护植物,不能测定每个个体的确切年龄,根据珙桐的生活史特点以及调查的资料,采用空间替代时间方法,以立木级结构代替种群年龄结构分析种群动态,即将林木依胸径大小分级,将种群划分为9个胸径级,第一径级胸径为0~5cm,第二径级胸径为5~10cm,之后每级间隔5cm;将树木径级从小到大的顺序看作是时间顺序关系,第一径级对应于第I龄级,以此类推;统计各龄级的植株数,编制珙桐

表 1 珙桐各种群基本情况

Table 1 Basic status of five *Davidia involucrata* populations

样地	调查面积 (m ²)	经纬度	海拔 (m)	坡度	坡向	郁闭度 (%)	土壤类型	岩石裸露率 (%)	优势植物
G1	1800	27°52'88"N, 108°43'37"E	1073	≥46°	WS20°	80	黄棕壤	35	珙桐 (<i>Davidia involucrata</i>)、枫香 (<i>Liquidambar formosana</i>)、茶树 (<i>Camellia sinensis</i>)
G2	1800	27°52'56.3"N, 108°43'37"E	1178	≥46°	EN25°	80	黄棕壤	40	珙桐、枫香、箬叶竹 (<i>Indocalamus longiauritus</i>)
G3	1800	27°50'74.7"N, 108°37'28.2"E	1345	≥46°	EN35°	80	黄棕壤	40	珙桐、缺萼枫香 (<i>Liquidambar acalycina</i>)、木姜子 (<i>Litsea cubeba</i>)
G4	1800	27°59'18.5"N, 108°45'51.6"E	1751	≥46°	EN35°	88	黄壤	30	珙桐、西南山茶 (<i>Camellia pitard</i>)、冷箭竹 (<i>Bashania fangian</i>)
G5	1800	27°59'18.7"N, 108°45'49.5"E	1760	≥46°	EN35°	88	黄壤	30	珙桐、西南山茶、冷箭竹 (<i>Bashania fangian</i>)

种群静态生命表,分析其动态变化。

1.2.3 静态生命表编制 梵净山自然保护区珙桐

静态生命表的编制,其中包括: 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 到 $x+1$ 期的标准化死亡数; q_x 为 x 龄级的个体死亡率; L_x 为从 x 到 $x+1$ 时期时的平均存活个数; T_x 为 x 龄级及以上各龄级的个体存活总数; e_x 为进入 x 龄级个体的平均期望寿命; a_x 为龄级开始的实际存活数; K_x 为种群消失率; S_x 为存活率(李玲等 2011)。通过野外调查获得实测值 a_x 或者 d_x ,再求得 $l_x, d_x, q_x, L_x, T_x, e_x, K_x, S_x$ (党海山等 2009)。由于研究的珙桐种群为野生分布或近自然林,调查所得数据在生命表的编制中出现死亡率为负值的情况,不能满足编制生命表的前提条件,因此参照其他濒危植物种群生命表编制过程中采用的匀滑技术对统计数据进行处理(江洪,1992; 张志祥等 2008; 李玲等 2011)。

1.2.4 生存分析方法 为了更好地分析珙桐种群动态,阐明其生存规律,引入生存分析中的 4 个函数,即种群生存率函数 $S_{(i)}$ 、累计死亡率函数 $F_{(i)}$ 、死

亡密度函数 $f_{(i)}$ 和危险率函数 $\lambda_{(i)}$ (杨凤翔等,1991; 冯金朝 2009; 李玲等 2011),其公式如下:

$$S_{(i)} = S_1 \times S_2 \times S_3 \dots \times S_i \quad (S_i \text{ 为存活率})$$

$$F_{(i)} = 1 - S_{(i)}$$

$$f_{(i)} = (S_{i-1} - S_i) / h_i \quad (h_i \text{ 为龄级宽度})$$

$$\lambda_{(i)} = 2(1 - S_i) / [h_i(1 + S_i)]$$

根据上述 4 个生存函数的估算值,绘制生存曲线、累计死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线。

2 结果与分析

2.1 珙桐种群生命表与存活曲线

根据静态生命表的编制方法和 9000 m² 样地面积的调查数据,编制梵净山珙桐天然种群静态生命表(表 2)。珙桐种群结构存在波动性,幼年阶段的个体比较丰富,成年个体数量相对较少。种群在 I 龄级、II 龄级、III 龄级和 V 龄级出现了个体数量高峰。 e_x 反映了 x 龄级内个体的生命期望寿命,珙桐的生命期望表明,种群的期望寿命随着龄级的增加而减小,在成年阶段表现出高的生命期望。

表 2 珙桐种群静态生命表

Table 2 Static life table of *Davidia involucrata* population

龄级	径级 DBH (cm)	组中值	a_x	a_x^*	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x
I	0~5	2.5	66	66	1000	6.908	727.27	0.727	636.37	1803.05	1.803	1.299	0.273
II	5~10	7.5	18	18	272.73	5.608	45.46	0.167	250.00	1166.68	4.278	0.182	0.833
III	10~15	12.5	10	15	227.27	5.426	30.30	0.133	212.12	916.68	4.033	0.143	0.867
IV	15~20	17.5	4	13	196.97	5.283	30.30	0.154	181.82	704.56	3.577	0.167	0.846
V	20~25	22.5	11	11	166.67	5.116	30.31	0.182	151.52	522.74	3.136	0.201	0.818
VI	25~30	27.5	8	9	136.36	4.915	15.15	0.111	128.79	371.22	2.722	0.118	0.889
VII	30~35	32.5	3	8	121.21	4.798	15.15	0.125	113.64	242.43	2.000	0.134	0.875
VIII	35~40	37.5	7	7	106.06	4.664	30.30	0.286	90.91	128.79	1.214	0.336	0.714
IX	40~45	42.5	4	5	75.76	4.326	-	-	37.88	37.88	0.500	4.328	-

a_x : 存活数; l_x : 存活量; d_x : 死亡率; q_x : 死亡率; L_x : 区间寿命; T_x : 总寿命; e_x : 期望寿命; K_x : 消失率; S_x : 存活率。

存活曲线是一条借助于存活个体数量来描述特定年龄存活率,反映种群个体在各年龄级的存活状况的曲线。本文以径级相对应的龄级为横坐标,以存活量的自然对数 $\ln l_x$ 为纵坐标,绘制梵净山珙桐种群的存活曲线(图1)。珙桐种群生命表和存活曲线从整体上反映了珙桐种群的数量动态变化趋势及结构特征。由图1可见,梵净山珙桐各龄级间成活率下降趋势基本保持一致,只是在I龄级下降趋势明显。按Deevey的划分,存活曲线一般有3种基本类型。I型是凸曲线,该类型种群绝大多数能活到该物种的生理年龄,早期死亡率低,当活到一定生理年龄时,短期内几乎全部死亡;II型是直线,也称对角线,该类型种群各年龄死亡率基本相同;III型是凹曲线,早期死亡率高,一旦活到某一年龄,死亡率就较低(党海山等2009;冯金朝等2009)。从表2和图1可看出,梵净山珙桐种群的存活曲线趋向于Deevey III型。实地调查发现珙桐的种子萌发率低,在群落中很少见到实生苗,珙桐树基部出现了数量较多的萌蘖幼苗与幼树,II龄级胸径在5~10 cm的小树数量就已不多,珙桐自然种群中成年树的数量趋于稳定,存活率较高(沈泽昊等,1999;冯金朝等2009)。

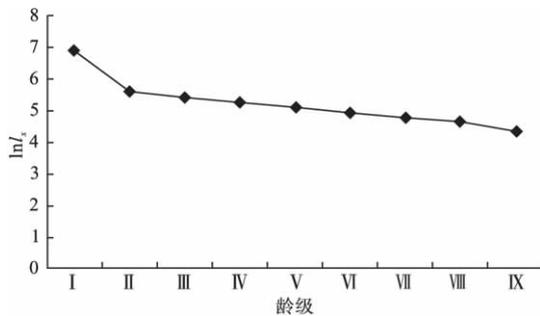


图1 珙桐种群的存活曲线
Fig. 1 Survival curve of *Davidia involucreta* population

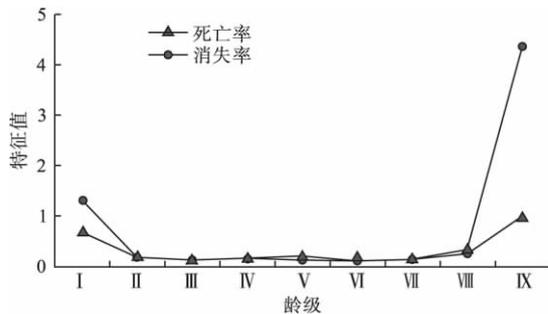


图2 珙桐种群死亡率和消失率
Fig. 2 Mortality rate and vanishing rate of *Davidia involucreta* population

2.2 死亡率和消失率曲线

以死亡率和消失率为纵坐标,以径级相对的龄级为横坐标,作死亡率和消失率曲线,梵净山珙桐的死亡率和消失率曲线(图2)反映了珙桐种群的一般特征。从图2可以看出,死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,存在2个峰值,第一个峰值最高,出现在I龄级阶段,损失度大,死亡率到达达72.7%;II龄级至VII龄级波动很小,第2个峰值出现在VIII龄级阶段,死亡率为28.6%。在此阶段只有少量珙桐个体生存下来。

2.3 生存分析

珙桐上述4个生存函数估算值见表3。以径级相对应的龄级为横坐标,分别以4个函数值为纵坐标,绘制生存曲线、累计死亡曲线、死亡密度曲线和危险率曲线,得到图3和图4。

由图3可知,珙桐种群的生存率单调下降,累计死亡率单调上升,二者互补;珙桐在I龄级出现较低的生存率和较高的死亡率,从II龄级阶段开始,种群生存率曲线和累计死亡率曲线的升降都比较平缓,分别呈逐步下降和上升趋势。珙桐树龄较长,各种环境因素对其生长历程造成各种可能的影响,

表3 4个函数估算值

Table 3 Estimated values of four functions

龄级	径级 (cm)	组中值	$S_{(i)}$	$F_{(i)}$	$f_{(ii)}$	$\lambda_{(ii)}$
I	0~5	2.5	0.273	0.727	0.145	0.370
II	5~10	7.5	0.227	0.773	0.000	0.122
III	10~15	12.5	0.197	0.803	0.000	0.100
IV	15~20	17.5	0.167	0.833	0.004	0.114
V	20~25	22.5	0.136	0.864	0.006	0.132
VI	25~30	27.5	0.121	0.879	0.000	0.084
VII	30~35	32.5	0.106	0.894	0.003	0.094
VIII	35~40	37.5	0.076	0.924	0.032	0.196
IX	40~45	42.5	0.000	1.000	-	-

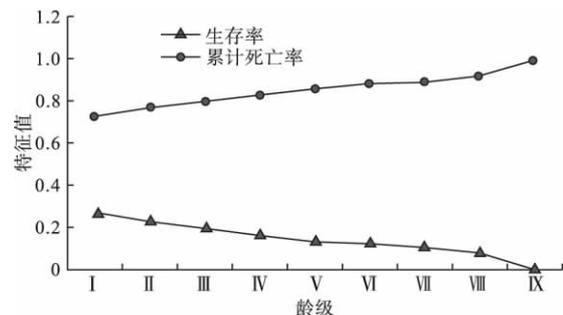


图3 珙桐种群生存率和累计死亡率
Fig. 3 Survival rate and cumulative mortality rate of *Davidia involucreta* population

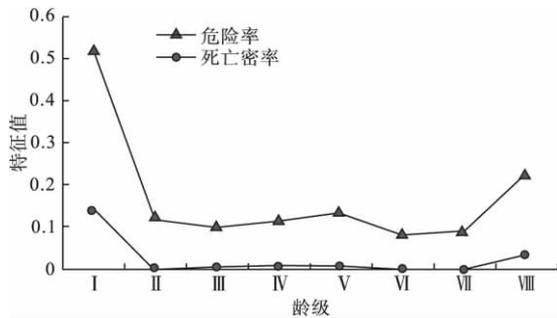


图4 珙桐种群死亡密度和危险率
Fig. 4 Mortality density and hazard rate of *Davidia involu-crata* population

幼苗更新又较慢(图3),累积死亡率随龄级的增加而加大。到Ⅷ龄级阶段以后,种群生存率<8%,累计死亡率>92%,说明珙桐种群在此龄级后逐渐进入生理衰老期,为衰退型种群。

由图4可知,珙桐种群的死亡密度曲线和危险率曲线变化趋势基本一致,都在I龄级和Ⅷ龄级阶段出现峰值。在第一个峰值处,危险率很高,达到了37.0%,而生存率只有27.3%,在第二个峰值处,危险率虽有一定的下降,为19.6%,但高于那个龄级阶段的生存率7.6%。4个生存函数曲线表明,珙桐具有前期锐减、中期稳定、后期衰退的特点,这与种群存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线的分析结果一致。

3 讨论

过去几十年的气候变化已对物种的分布范围和丰富度产生了极大影响,珙桐目前适宜分布范围随气候变化减小,其中最适宜分布范围减少了60%~80%,一般适宜分布范围减少了50%~80%。随气候变化,珙桐目前适宜分布范围中的西部及西南部地区的最适宜、较适宜和中等适宜分布范围将扩大,取代部分最不适宜范围(张清华等,2003; Parmesan *et al.*, 2003; 吴建国等,2009)。梵净山正处于保护珙桐种群较为有利的区域,加上梵净山已是国家级自然保护区,外界生态环境变化和人为干扰破坏不是造成梵净山珙桐种群濒危的主要因素(吴刚等,2000; 占玉燕等,2010)。

生命表结构分析是解释种群变化的前提,根据生命表可以预测出该物种在某些特定条件下存活与繁殖的可能性,了解种群的现存状态,分析过去种群的结构与受干扰状态,预测未来的种群动态(陈远

征等,2006)。梵净山珙桐的种群生命表显示,相对于生命表中其他龄级个体数目来说,珙桐种群具有较多数量的幼苗,但以珙桐大树根部萌条居多,由于梵净山珙桐种群分布区山坡坡度>45°,岩石裸露率>30%,地面土层较薄,加上珙桐种子自身生物学特性,珙桐种子自然萌发困难,实生幼苗稀缺;存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线从整体上反映了珙桐种群数量的动态变化趋势,存活曲线趋于Deevey III型,为衰退型种群;珙桐种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,在这一发育过程中有两个死亡高峰,一个出现在幼苗向幼树的过渡期(I龄级→II龄级),另一个出现在从中龄向老龄过渡的阶段(Ⅷ龄级→Ⅸ龄级);种群生存分析表明,珙桐种群的生存率单调下降,累计死亡率单调上升,Ⅷ龄级后,种群生存率<8%,累计死亡率>92%,危险率超过了生存率;4个生存函数曲线反映梵净山珙桐有前期锐减、中期稳定和后期衰退的特点。随着珙桐萌生幼苗向大树发育的全过程,环境因子作用加强,种内、种间竞争加剧,一般在枯死的母株上萌条才能发育成大树,幼苗、幼树呈现出较高的死亡率,成年植株数量有限,严重制约着珙桐种群的更新和发展,幼苗和中龄级个体的不足成为导致珙桐濒危的重要原因(陈远征等,2006; 李尤等,2006; 张志祥等,2008; 陈艳等,2011; 李玲等,2011)。

针对造成梵净山珙桐种群濒危的自身生物学生态学特性,开展相应的保护工作,加强人工抚育,开展种子育苗与扦插育苗技术研究与应用推广,扩大珙桐人工林规模;进行适度的人为干扰,增加珙桐自然种群青年树的数量,为珙桐种群更新层个体发育创造更好的生境,增强珙桐种群天然更新能力,保护和恢复梵净山珙桐资源(王献溥等,1995; 雷妮娅等,2007; 陈迎辉等,2010)。

参考文献

- 陈艳,苏智先. 2011. 中国珍稀濒危子遗植物珙桐种群的保护. 生态学报, 31(9): 5466-5474.
- 陈迎辉,彭春良,李迪友,等. 2010. 珙桐的生物生态特性和人工引种促花研究. 中南林业科技大学学报, 30(8): 64-67.
- 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. 生态学报, 26(12): 4267-4272.
- 党海山,张燕君,张克荣,等. 2009. 秦岭巴山冷杉(*Abies*

- fargesii*) 种群结构与动态. 生态学杂志, **28**(8): 1456-1461.
- 冯金朝, 袁飞, 徐刚. 2009. 贵州雷公山自然保护区秃杉天然种群生命表. 生态学杂志, **28**(7): 1234-1238.
- 贺金生, 林洁, 陈伟烈. 1995. 我国珍稀特有植物珙桐的现状及其保护. 生物多样性, **3**(4): 213-221.
- 江洪. 1992. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社.
- 吉占和. 1993. 梵净山兰科植物的分类和区系特点. 植物研究, **13**(4): 313-329.
- 李玲, 张光富, 王锐, 等. 2011. 天目山自然保护区银杏天然种群生命表. 生态学杂志, **30**(1): 53-58.
- 李尤, 苏智先, 张素兰, 等. 2006. 珙桐群落种内与种间竞争研究. 云南植物研究, **28**(6): 625-630.
- 雷妮娅, 陈勇, 李俊清, 等. 2007. 四川小凉山珙桐更新及种群稳定性研究. 北京林业大学学报, **29**(1): 26-30.
- 沈泽昊, 林洁, 陈伟烈, 等. 1999. 四川卧龙地区珙桐群落的结构与更新研究. 植物生态学报, **23**(6): 562-567.
- 王献溥, 李俊清, 张家勋. 1995. 珙桐的生物生态学特性和栽培技术. 广西植物, **15**(4): 347-353.
- 吴建国, 吕佳佳. 2009. 气候变化对珙桐分布的潜在影响. 环境科学研究, **22**(12): 1371-1381.
- 吴刚, 肖寒, 李静, 等. 2000. 珍稀濒危植物珙桐的生存与人为活动的关系. 应用生态学报, **11**(4): 493-496.
- 杨海龙, 李迪强, 朵海瑞, 等. 2010. 梵净山国家级自然保护区植被分布与黔金丝猴生境选择. 林业科学研究, **23**(3): 393-398.
- 张清华, 郭泉水, 徐德应. 2003. 气候变化对我国珍稀濒危树种珙桐地理分布的影响研究. 林业科学, **36**(2): 47-52.
- 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. 植物生态学报, **32**(5): 1146-1156.
- 占玉燕, 刘艳红, 熊文娟. 2010. 珙桐濒危原因研究现状及展望. 湖北林业科技, (1): 41-43.
- Parmesan C, Yehe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**: 37-42.
-
- 作者简介 吴明开 男, 1970年生, 博士后, 主要从事植物生态学方面研究. E-mail: bywmk1999@163.com
- 责任编辑 王伟
-