

木荷天然种群生命表分析

胡喜生¹, 洪伟², 吴承祯^{2*}, 洪滔², 范海兰², 宋萍²

(1. 福建农林大学 交通学院, 福州 350002; 2. 福建农林大学 林学院, 福州 350002)

摘要: 以种群生命表及生存分析理论为基础, 编制的木荷种群特定时间生命表, 绘制死亡密度函数曲线、危险率函数曲线及生存曲线, 分析种群动态趋势。结果表明, 木荷种群有 3 个死亡高峰, 个体平均生存能力的期望在第 3 龄级最大; 存活曲线属于典型的 Deevey-Ⅲ型, 种群前期存活数随龄级急剧下降, 只有 11% 的幼株能进入第 2 龄级, 而后期存活值波动不大。

关键词: 木荷; 种群; 生命表; 存活曲线

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)03-0469-06

Analysis of the life table of natural population *Schima superba*

HU Xi-Sheng¹, HONG Wei², WU Cheng-Zhen^{2*},
HONG Tao², FAN Hai-Lan², SONG Ping²

(1. College of Traffic, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Based on the life table of population and the theory of survival analysis, the life table of *Schima superba* population was worked out, the curves of mortality density function, hazard rate function and survival were drawn and the population dynamics were analyzed. The results showed that the population had three peaks of mortality. Individual average expectation of survival ability reached most heaviest in age class 3. The survival curve of the population trended to the typical type of Deevey-Ⅲ. The population survives suddenly dropped in the earlier stage, only 11% young could enter the age class 2. And in the later stage, the survivals did not fluctuate largely.

Key words: *Schima superba*; population; life table; survival curve

种群统计的核心是建立反映种群全部生活史的各年龄组或生活态级出生率、死亡率, 甚至包括迁移率在内的信息综合表, 即生命表 (Harcombe, 1987; 谢宗强等, 1999)。生命表能直观地表明种群各年龄或年龄段的实际生存个体数、死亡数及其预测种群的生命趋势, 是统计种群死亡过程的有效方式, 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 (李先琨等, 2002; 闫淑君等, 2002; 封磊等, 2003)。生命表始于人口寿命统计, 1963 年 Miller

最先应用于植物种群的研究 (张文辉, 1999)。常用的生命表主要有两类: 特定年龄生命表和特定时间生命表。其中特定年龄生命表又称为动态生命表, 它可分析影响种群数量变动的关键因素, 估算种群趋势和组建预测模式; 但在自然环境下, 要取得编表的完整数据很困难, 特别是世代重叠、年龄较长的种群更是如此, 故在多数动物和植物中使用较少 (江洪, 1992)。特定时间生命表在自然种群, 特别是世代重叠、年龄较长的种群中应用价值很大, 从表中可

收稿日期: 2005-12-19 修回日期: 2006-10-20

基金项目: 福建省自然科学基金重大项目 (2001F007); 福建农林大学青年教师基金 (06B13) [Supported by Natural Science Foundation of Fujian Province (2001F007); Foundation for Young Teachers of Fujian Agriculture and Forestry University (06B13)]

作者简介: 胡喜生 (1979-), 男, 福建莆田人, 硕士, 讲师, 从事生态学教学与科研工作。

* 通讯作者 (Author for correspondence)

判断出什么年龄的死亡危险最大。静态生命表可用 leslie 矩阵建立种群数量预测模型(闫淑君等, 2002), 另外还有动态混合生命表和图解生命表等类型(周纪伦等, 1992; Silvertown, 1982; 王伯荪等, 1995), 我国 80 年代后期在植物种群生命表的编制与研究方面做了大量工作(谢宗强, 1999; 吴承祯等, 2000b; 李先琨等, 2002; 洪伟等, 2004a), 但有关木荷种群生命表的研究尚未见报道。

木荷(*Schima superba*)是中国亚热带特有分布的区系成分, 产于长江以南各省市, 分布较广, 其地理范围大致在 31° N 以南, 105° E 以东的广大地区。其分布的海拔在西部可达 2 000 m, 至中部逐渐降低, 一般在 700 m 以下, 而到了赣东北和闽西南的武夷山地区, 由于气候变暖, 分布在 1 000~1 500 m。木荷林是指以木荷为优势种或与栲类、樟类树种共优组成的常绿阔叶林类型, 作为典型中亚热带水平地带性植被类型之一, 主要分布在长江以南至北回归线以北的广大丘陵地带, 其北界基本上与中亚热带的北界相吻合(倪健, 1996; 张文标等, 2006)。当前为了加快生态公益林的建设 and 恢复天然阔叶林, 加之近年在一些迹地上木荷天然更新林分的不断出现, 木荷在植被恢复及林业生产上的地位显得愈益重要。本文以种群生命表及生存分析理论对木荷的种群统计进行初步探讨, 为木荷资源的保护与管理及其人工造林奠定理论基础。

1 研究地点概况

万木林自然保护区位于 118°02'22"~118°09'23"

E, 27°02'28"~27°03'32" N, 地处闽北建瓯市房道镇境内, 面积 189 hm²。万木林属于森林生态型自然保护区, 主要保护对象为中亚热带常绿阔叶林。保护区属于中亚热带季风型气候。阳光充足, 雨量充沛, 温暖湿润, 四季分明。土壤为红壤。森林群落主要由壳斗科、樟科、山茶科、木兰科、杜英科、金缕梅科和冬青科组成。木荷群落是万木林分布面积最大的一种常绿阔叶林。乔木层主要种类有苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)、虎皮楠(*Daphniphyllum glaucescens*)、冬青(*Ilex chinensis*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*), 以及枫香(*Liquidambar formosana*)和马尾松(*Pinus massoniana*)等, 灌木层有杜茎山、沿海紫金牛、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)、狗骨柴(*Tricaly siadubia*)、山矾(*Symplocos caudata*)、薄叶山矾(*S. anomala*)等, 草本层以狗脊为主, 层间植物有假荔枝(*Stauntonia chinensis*)、藤黄檀(*Dalbergia hancei*)、网络崖豆藤(*Millettia reticulata*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)等。

2 研究方法

2.1 调查方法

在全面勘查的基础上, 在福建省建瓯万木林自然保护区天然木荷林典型的木荷群落, 选择具有代表性的地段作为标准地, 设置 5 块 40 m×40 m 的样地, 每样地测出海拔、坡向、坡位、坡度、土壤条件和群落类型等因子(表 1), 并将每一样地再划分 10 m×10 m 的样方 16 个, 对样方内植株进行每木

表 1 天然林不同地段的群落环境概况

Table 1 Environmental survey of community in different site in natural forest

地段 Site	海拔 Elevation (m)	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	郁闭度 Canopy density	林型 Forest type
Q1	350	东南坡 ES	18	0.80	木荷+米槠(<i>Schima superba</i> + <i>Castanopsis carlesii</i>)
Q2	380	东坡 E	29	0.85	木荷+浙江桂(<i>S. superba</i> + <i>Cinnamomum chekiangense</i>)
Q3	240	东北坡 EN	15	0.75	木荷+枫香(<i>S. superba</i> + <i>Liquidambar formosana</i>)
Q4	340	东南坡 ES	27	0.80	木荷+罗浮栲(<i>S. superba</i> + <i>Castanopsis fabri</i>)
Q5	330	东北坡 EN	32	0.7	马尾松+木荷(<i>Pinus massoniana</i> + <i>S. superba</i>)

检尺, 记录每一个体树高、胸径、基径及生长状况。

2.2 龄级划分

由于木荷生长周期长, 在一个同种群内追踪所有个体的命运是不大可能的, 因此, 只能通过现实不同年龄阶段的个体数量来推测种群时间上的动态过程, 即在特定的时间点上观察种群内各个年龄组上

的存活状况。对于木荷每个个体来说, 由于其木材坚硬, 不易钻取木芯, 因而要确定其个体年龄较为困难, 而通过伐木来得到每个个体年龄又破坏性较大, 鉴于此, 这里采用空间推时间的方法。对于种群大小结构立木级的划分标准, 许多学者提出了不同的标准, 根据万木林木荷生活史特点, 依据有关文献的

方法(洪伟等,2004a,2004b;胡喜生,2004),将木荷种群划分为9个胸径级别,把植株胸径从小到大的顺序看作是时间顺序关系, $D \leq 2.5\text{cm}$ 的植株对应于第1龄级, $2.5 < D \leq 12.5\text{cm}$ 的植株对应于第2龄级,以后胸径每隔10cm划作一个龄级,统计各龄级的株数,编制木荷种群特定时间生命表,进而分析其动态变化。

2.3 生命表编制

木荷种群特定时间生命表编制和生存率函数 $S(t)$ 、积累死亡率函数 $F(t)$ 、死亡密度函数 $f(t)$ 和危险率函数 $\lambda(t)$ 等4个函数常用公式详见吴承祯等(2000b)、闫淑君等(2002)、封磊等(2003)、毕晓丽等(2001)和毕晓丽等(2002)。由于研究的木荷种群

为天然林,而且采用了“空间推时间,横向导纵向”的方法,故调查所得的数据并不完全满足编制特定时间生命表需符合的3个假设(吴承祯等,2000b):①种群数量是静态的,即密度不变;②年龄组合是稳定的,即种群年龄结构与时间无关;③个体迁移是平衡的,即没有移入和移出的差数。在编制过程中可能出现死亡率为负值的情况,S. D. Wreten 等认为这种情况与数学假设技术不符,但仍能提供有用的生态学记录,即表明并非静止不动,而是在迅速发展或衰落之中。江洪(1992)在云杉种群生命表的编制过程中采用了匀滑技术,这里也采用相似的方法进行处理,对 a_x 进行匀滑修正,得 a_x ,据此编制木荷种群静态生命表。

表2 木荷种群静态生命表
Table 2 Life table of *Schima superba* population

龄级 Age class	径级 Diameter class	a_x	a_x	l_x	$\ln_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	K_x	e_x
1	0~2.5	800	800	1000	6.908	890	0.890	555	780	2.207	0.780
2	2.5~12.5	88	88	110	4.700	55	0.500	83	225	0.693	2.045
3	12.5~22.5	56	44	55	4.007	11	0.200	50	142	0.223	2.582
4	22.5~32.5	21	35	44	3.784	14	0.318	37	92	0.383	2.091
5	32.5~42.5	24	24	30	3.401	12	0.400	24	55	0.511	1.833
6	42.5~52.5	15	14	18	2.890	9	0.500	14	31	0.693	1.722
7	52.5~62.5	7	7	9	2.197	1	0.111	9	17	0.118	1.889
8	62.5~72.5	6	6	8	2.079	5	0.625	6	8	0.981	1.000
9	72.5~82.5	2	2	3	1.099	3	1.000	2	2	—	0.667

表3 生存分析函数估算值
Table 3 Estimated values of survival analysis function

龄级 Age class	径级 Diameter class	q_x	p_x	$\hat{S}_x$	$\hat{F}_x$	$\hat{f}_x$	$\hat{\lambda}_x$
1	0~2.5	0.890	0.110	0.110	0.890	0.356	0.641
2	2.5~12.5	0.500	0.500	0.055	0.945	0.006	0.067
3	12.5~22.5	0.200	0.800	0.044	0.956	0.001	0.022
4	22.5~32.5	0.318	0.682	0.030	0.970	0.001	0.038
5	32.5~42.5	0.400	0.600	0.018	0.982	0.001	0.050
6	42.5~52.5	0.500	0.500	0.009	0.991	0.001	0.067
7	52.5~62.5	0.111	0.889	0.008	0.992	0.000	0.012
8	62.5~72.5	0.625	0.375	0.003	0.997	0.001	0.091
9	72.5~82.5	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.200

3 结果与分析

3.1 木荷种群生命表分析

根据静态生命表的编制方法和生存理论编制木荷静态生命表和生存分析函数值表(表2、3)及各年龄组死亡率、致死力曲线(图1)。木荷种群的存活率呈单调减少,相应的积累死亡率呈单调增加,其下降或增加的幅度是前期高于后期(表3、图1),显示

幼龄种群的死亡率较高。第1龄级以后,生存率都在5%以下,且除了第3龄级外,危险率均超过了生存率,这也反映出种群在幼苗以后具明显衰退的特点,其原因很可能是光照条件所致,这与生命表分析所得出的结论相吻合。种群死亡密度函数呈现前期下降,后期平缓稳定的特点。而危险率函数曲线与死亡率曲线形式一致,也出现了3个波动峰值,且在第1龄级具有最大峰值,同样显示出幼苗到幼树生长过程中的不稳定性。木荷种群结构存在波动性,

幼苗阶段个体较丰富,成年阶段稳定,表明幼苗个体向成年阶段的发育是不连续的(表2)。幼苗在通过一个环境筛的强度过滤和筛选,以高死亡率为代价,仅有少量的个体穿越环境筛发育为幼树,并最终进入营养生长和生殖生长,完成全部生活史。

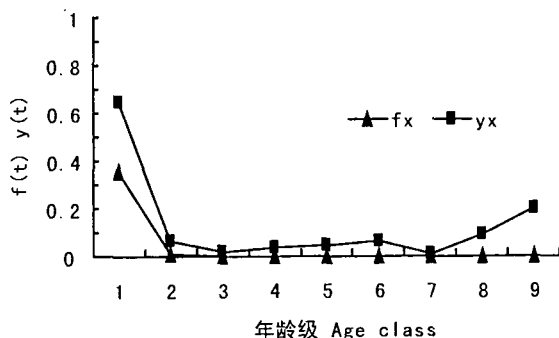


图1 木荷种群死亡密度函数 $[f(t)]$ 与危险率 $[y(t)]$ 函数曲线

Fig. 1 Curve of death density function $[f(t)]$ and danger scale $[y(t)]$ function of *Schima superba* population

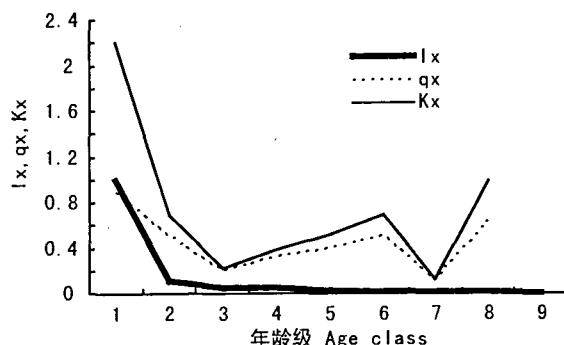


图2 木荷种群存活曲线 (l_x) 、死亡率曲线 (q_x) 和致死力曲线 (k_x)

Fig. 2 Survival curve (l_x) , mortality (q_x) and killing power (k_x) curve of *Schima superba* population

反映各龄级个体平均生存能力的期望 (e_x) 在第3龄级最大,表明经过环境筛作用后,生存压力减少带来种群个体的生长活力,这说明幼苗一旦长成小树后,则有最高的生命期望寿命。其后,随着竞争的增强,生存环境质量下降, e_x 也逐渐降低了。但是死亡密度的最小值出现在第7龄级,与生命期望的最大值不相符,这主要由于处于第7龄级的木荷主要聚集生长在稳定类型的群落里,该龄级木荷处于林冠上层,占据一定的空间,处于优势地位,所以死亡率较低。

3.2 存活曲线分析

存活曲线是一条反映种群个体在各年龄级存活

状况的曲线,它是借助生命表,由存活个体数量来描述特定年龄死亡率,通过把特定年龄组的个体数量相对作图而得到(吴承祯等,2000b)。Deevey (1947)把存活曲线分为三型(孙儒泳等,1997),I型是凸曲线,属于该型的种群绝大多数都是能活到该物种年龄,早期死亡率较低,但当活到一定生理年龄时,短期内几乎全部死亡;II型是直线,也称对角线型,属于该型的种群各年龄的死亡率基本相同;III型是凹曲线,早期死亡率高,一旦活到某一年龄,死亡率降低。本研究以年龄为横坐标,以存活量为纵坐标作图(图2),表明木荷种群存活曲线属于典型的Deevey-III型(图2),曲线斜率较大,种群前期存活数随龄级急剧下降,环境筛的选择强度大,致使幼龄个体大量死亡,只有11%的幼株能穿过此筛进入第2龄级。营养发育阶段,种群存活曲线在第8龄级向第9龄级过渡段中斜率有略微的增加,存活值下降相对较快;但从营养发育阶段总体来看,存活值波动不大,相对比较平衡。

3.3 种群死亡高峰期分析

从特定时间生命表(表2)及死亡率曲线(图2)可以看出,木荷种群生长过程中出现了三次死亡高峰期,同时致死力曲线与死亡率曲线(图2)表现出相一致的变化,即在死亡高峰期处出现致死力的极大值,反映出大的环境选择压力与高死亡率的对应。第一次死亡高峰期出现于第1龄级幼苗向第2龄级幼树的生长过程中,死亡率高达89%。在调查过程中发现木荷幼苗主要集中在林窗下或较开阔的地方。这说明高死亡率是由于林内较差的光照条件和木荷本身的生物学特性所决定的,木荷幼苗虽然有一定的耐荫能力,但其幼树需要充足的阳光才能生长良好,而木荷林下较差的光照条件影响了其幼树的生长,使其死亡率较高,因而导致了幼树个体的大量死亡。另外人为干扰现象可能也是导致木荷幼苗高死亡率的原因。幼苗时期的死亡高峰过后的一段较长时间内,木荷种群处于死亡平缓期,种群在相对平衡稳定的状态中发展,直至死亡次高峰期的到来。

种群由第6龄级向第7龄级的生长过渡中出现了死亡次高峰期。这一时期是木荷种群向主林层发展的时期,在它挤向主林层过程中,必然发生除了种内竞争之外的种间竞争,对水分、养分、光照和空间的激烈竞争,导致强烈的稀疏过程,死亡率、致死力再次上升。这一时期之后个体生存条件有所改善。

第三次死亡高峰发生于第8龄级向第9龄级的

过渡中,主要原因可能是木荷种群达到一定年龄,生理机能开始退化,而出现老死,也可能是由于病虫害。

4 结论与讨论

木荷种群特定时间生命表显示其幼苗个体相对丰富,种群结构为前期增长、后期相对稳定的类型。存活曲线属于典型的 Deevey-III 型,种群早期死亡率高,后期存活值波动不大。木荷存活曲线与米槠(毕晓丽等,2001)、珍稀濒危植物南方红豆杉(洪伟等,2004a)和冷杉(李先琨等,2002)的相似;而与丝栗栲(闫淑君等,2002)、珍稀濒危植物南方铁杉(封磊等,2003)和长苞铁杉(吴承祯等,2000b)的不同,它们的存活曲线属于 Deevey-II 型。从中可以看出珍稀濒危植物的存活曲线不是单一的,说明引起濒危的原因的复杂性,比如南方红豆杉除了种子休眠期长、发芽率低等原因外,幼苗死亡率可能也是导致其濒危的原因。木荷种群生长过程中出现了三次死亡高峰期,同时致死力曲线与死亡率曲线表现出相一致的变化,即在死亡高峰期处出现致死力的极大值。在三次高死亡率当中,前两次的形成原因与林内较差的光照条件和木荷本身的生物学特性有关。对一个植物机体来说,生活在一个复杂的群落中,它死亡的原因也是复杂的,植物的生长不仅受所生长的生物环境影响,而且还受气候条件及自然灾害等的影响,如洪涝灾害、冻害、厄尔尼诺等天气现象,也会导致植株的死亡,也就是说,种群的死亡和生存率是种群内在的变化与极端环境条件相互作用的结果(吴承祯等,2000a)。因此,关于木荷死亡高峰出现的原因还有待进一步探讨。

从木荷种群的存活曲线和三次死亡高峰期可以判断:由于木荷不耐顶部荫蔽,在木荷密林林冠下难以生苗,故在其自身林下更新较为困难(吴文谱,1989)。而木荷群落中的大树死亡或者倒伏极易在群落中的局部地段形成林间空地即林窗(蔡飞等,1997)。一旦形成林窗,在林窗或林缘较适宜的光照条件下,木荷种子能大量萌发并长成幼苗(本文指 $D \leq 2.5\text{cm}$),这时林窗已郁闭,使幼苗得不到充足的阳光而大量死亡,只有少部分长成幼树在相对平衡稳定的状态中发展。说明木荷幼苗通过环境筛的强度过滤和筛选,以高死亡率为代价,仅有少量的个体穿越环境筛发育为幼树。当进入林冠层时,林分郁闭度提高,来自种内种间的竞争加强,木荷再次出现

死亡高峰,只有少数存活下来,在上层空间保持相对的稳定。到了一定阶段,由于耐荫树种如米槠、罗浮栲等也逐渐挤入上层空间,并与木荷争夺上层营养空间,况且木荷这时到了一定年龄,衰老、生理机能开始衰退等使木荷种群的优势地位被削弱,再一次出现死亡高峰。木荷大树死亡会形成林窗,群落进入新一轮的更新。在整个生活史中,木荷种群出现了三次死亡高峰,而亚热带常绿阔叶林常见的建群种丝栗栲(闫淑君等,2002)只出现了二次死亡高峰,这说明了木荷种群的特殊性。从演替的角度来分析,因为木荷种群不是稳定森林类型,不同于栲、樟类等亚热带建群种,但又不同于枫香、拟赤杨阳性阔叶林,也不是荒山空地更新树种,它不是阳性先锋群落,但可与阳性先锋树种混交,它在森林演替位置上属居中间性的(吴文谱,1989)。

新引入生命表栏中的生存分析函数能很好地说明种群结构和动态变化。其中生存率及积累死亡率函数反映了种群在特定年龄级上的生存及死亡状况,木荷种群的存活率呈单调减少,相应的积累死亡率呈单调增加,其下降或增加的幅度是前期高于后期;死亡密度函数曲线可较好地说明生命期望曲线的起伏,两者呈互补形式,生命期望曲线的凸点往往与死亡密度曲线的凹点相对应(曹广侠等,1991),然而本文所研究的木荷种群死亡密度的最小值出现在第 7 龄级,与生命期望的最大值出现在第 3 龄级不相符,这主要是由于处于第 7 龄级的木荷主要聚集生长在稳定类型的群落里,该龄级木荷处于林冠上层,占据一定的空间,处于优势地位,所以死亡率较低。木荷种群死亡密度函数曲线呈现前期下降,后期平缓稳定的特点,凹点出现于第 7 龄级;危险率函数曲线与死亡率曲线形式一致,但前者在说明种群结构上显得更直观、更合理(曹广侠等,1991)。4 个函数之间是相互换算的,因此在实际工作中可按具体情况选择使用。

参考文献:

- 王伯荪,李鸣光,彭少麟. 1995. 植物种群学[M]. 广州:广东高等教育出版社
- 江洪. 1992. 云杉种群生态学[M]. 北京:中国林业出版社:1-7
- 孙儒泳,李博,诸葛阳,等. 1997. 普通生态学[M]. 北京:高等教育出版社:59-66
- 吴承祯,洪伟. 2000a. 杉木数量经营学引论[M]. 北京:中国林业出版社:129-132
- 周纪伦,郑师章,杨持. 1992. 植物种群生态学[M]. 北京:高等教育出版社

- Bi XL(毕晓丽), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2001. Life table analysis of *Castanopsis carlesii* population in Wuyishan(武夷山米槠种群生命表分析)[J]. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), 9(3): 243-247
- Bi XL(毕晓丽), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2002. Population statistics analysis of *Pinus taiwanensis* (黄山松种群统计分析)[J]. *Sci Silv Sin* (林业科学), 38(1): 61-67
- Cai F(蔡飞), Song YC(宋永昌). 1997. A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi mountain (武夷山木荷种群结构和动态研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 21(2): 138-148
- Cao GX(曹广侠), Lin ZD(林璋德), Zhang LM(张敏敏). 1991. Life table of *Picea purpurea* and *Abies faxoniana* in southern Gansu Province(甘南地区紫果云杉、岷江冷杉生命表)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 11(3): 286-288
- Feng L(封磊), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2003. Study on the dynamics of the endangered plant population of *Tsuga tchekiangensis* (珍稀濒危植物南方铁杉种群动态研究)[J]. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), 21(5): 401-405
- Harcombe PA. 1987. Tree life tables[J]. *Biosci*, 37: 557-567
- Hong W(洪伟), Wang XG(王新功), Wu CZ(吴承祯). 2004a. Life table and spectral analysis of endangered plant *Taxus chinensis* var. *mairei* population (濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(6): 1109-1112
- Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), Yan SJ(闫淑君). 2004b. Modification of population growth model (对种群增长模型的改进)[J]. *J Trop Subtrop Bot* (应用与环境生物学报), 10(1): 23-26
- Hu XS(胡喜生), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2004. Height niche characteristics of dominant populations in the *Tsuga longibracteata* community (长苞铁杉群落优势种群高度生态研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), 24(4): 323-328
- Li XK(李先琨), Xiang WS(向悟生), Tang RQ(唐润琴). 2002. Analysis of the life table of endangered population *Abies yuanbaoshanensis* (濒危植物元宝山冷杉种群生命表分析)[J]. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), 10(1): 9-14
- Ni J(倪健). 1996. Relationship between geographical distribution of *Schima superba*, its forest and climate in China (中国木荷及木荷林的地理分布与气候的关系)[J]. *J Plant Res Environ* (植物资源与环境学报), 5(3): 28-34
- Silvertown JW. 1982. Introduction to plant population ecology [M]. London: Longman press; 75-155
- Wu CZ(吴承祯), Hong W(洪伟), Xie JS(谢金寿), et al. 2000b. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population (珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(3): 333-336
- Wu WP(吴文谱). 1989. The *Schima superba* forest in China (中国的木荷林)[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi* (江西农业大学学报), 13(8): 18-23
- Xie ZQ(谢宗强), Chen WL(陈伟烈), Lu P(路鹏), et al. 1999. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argophylla* (濒危植物银杉的种群统计与年龄结构)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(4): 523-528
- Yan SJ(闫淑君), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2002. Life process and spectral analysis of *Castanopsis fargesii* population (丝栗栲种群生命过程及谱分析)[J]. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 8(4): 351-355
- Zhang WB(张文标), Jin ZX(金则新), Ke SS(柯世省), et al. 2006. Diurnal photosynthetic characteristics of *Schima superba* and its correlation with environment (木荷光合特性日变化及其与环境因子相关性分析)[J]. *Guihaia* (广西植物), 26(5): 492-498
- Zhang WH(张文辉), Zu YG(祖元刚). 1999. Study on population life table and survivorship curves of *Adenophora lobophylla*, an endangered species, compared with *A. potaninii*, a widespread species (濒危种裂叶沙参种群生命表和存活曲线的研究及其与广布种泡沙参的对照)[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 23(1): 76-86

(上接第 434 页 Continue from page 434)

- Deng Y(邓艳), Jiang ZC(蒋忠诚), Cao JH(曹建华), et al. 2004. Characteristics comparison of the leaf anatomy of *Cyclobalanopsis glauca* and its adaption to the environment of typical karst peak cluster areas in Nongla (弄拉典型峰丛岩溶区青冈栎叶片形态特征及对环境的适应)[J]. *Guihaia* (广西植物), 24(4): 317-322
- Doley D. 1981. Tropical and subtropical forests and woodlands [M]. // Kozłowski TT (ed). Water deficit and plant growth. New York and London: Academic Press; 210-324
- Donselman HM, Flint HL. 1982. Genecology of eastern redbud [J]. *Ecology*, 63(4): 962-971
- Levitt J. 1972. Response of plants to environmental stress [M]. New York: Academic press
- Li JY(李吉夔). 1991. Studies on drought tolerance of some main tree species used in afforestation in Taihang Mountain Region (太行山区主要造林树种耐旱特性的研究(I)) [J]. *J Beijing Fore Univ* (北京林业大学学报), 13(增刊 1): 1-9
- Li ZL(李正理), Li RA(李荣敖). 1981. Anatomical observation of assimilating branches of nine xerophytes in Gansu (我国甘肃九种旱生植物同化枝解剖结构观察)[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 23(3): 181-185
- Shi GR(史刚荣). 2004. A study on ecological anatomy of leaves in 7 broad-leaved evergreen plants (七种阔叶常绿植物叶片的生态解剖学研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), 24(4): 334-338
- Zhao CX(赵翠仙), Huang ZC(黄子琛). 1981. A preliminary study of xeromorphism of some important xerophytes growing in Tugeli Desert (腾格里沙漠主要旱生植物旱性结构的初步研究)[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 23(4): 278-283