

历山自然保护区秃山白树天然种群生命表^{*}

李 豪 张钦弟 苗艳明 杨兆静 毕润成^{**}

(山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004)

摘 要 秃山白树是中国特有单种属植物山白树的变种,为国家二级保护植物,仅分布于山西历山自然保护区。为更好地了解其种群数量动态,保护该种群持续稳定发展,在历山自然保护区,采用样地与样方调查相结合的方法,调查了秃山白树的种群结构,编制了秃山白树静态生命表,绘制了其年龄结构图、存活曲线、死亡曲线、消失率曲线、生存函数曲线、累积死亡率函数曲线、危险率函数曲线和死亡密度函数曲线。结果表明:秃山白树种群幼龄级个体数量较多,老龄个体数量较少,表明现阶段秃山白树整体为增长型种群;种群死亡率生长前期高于后期,在Ⅱ和Ⅳ龄级的年龄阶段出现死亡率高峰,种群存活曲线趋于Deevey-Ⅱ型;生存率曲线单调下降,累积死亡率曲线单调上升,其下降或增加的幅度是前期高于后期;种群死亡密度函数曲线较为平缓,在Ⅲ龄级死亡密度较大;危险率函数随着龄级的增加不断增大。

关键词 年龄结构;秃山白树;存活曲线

中图分类号 Q948.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)1-0052-07

Life table of natural *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population in Lishan Nature Reserve, Shanxi Province. LI Hao, ZHANG Qin-di, MIAO Yan-ming, YANG Zhao-jing, BI Run-cheng^{**} (College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(1): 52-58.

Abstract: *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* is a variety of *S. henryi*, a Chinese endemic and monotypic species, and one of the national second-class protective plants in China, only distributing in the Lishan Mountain Nature Reserve in Shanxi. To better understand the quantitative dynamics of *S. henryi* var. *glabrescens* population and to facilitate its sustainable and steady development, the methods of plot survey and quadrat investigation were adopted to study the population structure of *S. henryi* var. *glabrescens* in the Reserve. The static life table of the population was compiled, and its age structure, survival curve, mortality curve, disappearance rate curve, survival function curve, cumulative mortality function curve, hazard rate function curve, and death density function curve were drawn. In this population, young and infant plants were in larger quantity, while aged ones were fewer, indicating that this population was overall a growing population. Its mortality was higher at early stage than at late stage, and peaked between the Ⅱ and Ⅳ age stages. The survival curve was more of Deevey-Ⅱ type, and the survival function curve decreased monotonically while the cumulative mortality function curve was in monotonic increase, the decreasing or increasing range being higher at early stage than at late stage. The death density function curve was relatively stable, with a higher rate during the Ⅲ age class. The hazard rate function curve was increasing with the growth of age class.

Key words: age structure; *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens*; survival curve.

^{*} 山西省出国留学基金项目(20081073)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: sxrcbi@126.com

收稿日期: 2012-06-20 接受日期: 2012-10-30

分析种群结构及动态是种群生态学的主要研究任务,编制种群生命表并进行种群生存分析,可以反映该种群不同年龄、大小个体间的存在状况,了解该物种在特定条件下存活与繁殖的可能性,可以重建总群过去的干扰历史(Lorimer, 1980),还可以反映出该种群的发展趋势、种群与环境间的相互关系及其在群落中的作用与地位等(吴承祯等, 2000; Sara *et al.*, 2000; 李先琨等, 2002; 陈远征等 2006; 王凯博和上官周平, 2006)。

秃山白树(*Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens*)为金缕梅科山白树属落叶灌木或小乔木,是第三纪遗留下来的古老植物(傅志军和高淑贞, 1992),为中国特有珍稀树种,又是古老的单种属植物,列为国家二级保护植物(宋朝枢等, 1989),并被列为山西省重点保护植物(卢景龙, 2009)。它仅分布于山西垣曲(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1979)。秃山白树最适宜生于山谷河岸、土壤湿润、通气良好、且有散射光、光片、光斑的稀疏落叶林中,一旦这种独特生境被破坏,它会逐渐消失;花单性,授粉率低,结籽少,种子又缺乏传播媒介,所以它的分布范围渐趋狭窄(张莹等, 2010);花粉及果实含有丰富的淀粉、蛋白质和矿物质,具有良好的食用及保健功能(傅志军和高淑贞, 1995);树形优美,叶片疏密得当,具有很高的观赏价值,适合用于庭院绿化和行道树。

为了揭示秃山白树的系统位置、生理机制及生物学特性,近年来学者们从传统分类学、分子系统学、形态解剖学、孢粉学、胚胎学、细胞学、地理分布和古生物学等方面对秃山白树进行多方面研究(熊向阳, 2008; 令狐昱慰等, 2009; 张莹等, 2011)。但由于受秃山白树种群大小及分布特征所限制,目前关于野生秃山白树群落和种群数量动态方面的研究较为少见,而这正是物种保护与种群恢复的研究基础。为阐明历山自然保护区秃山白树天然种群动态与数量特征,揭示其种群发生发展的一般规律,本文选择该保护区内分布相对集中的秃山白树群落进行调查,采用特定年龄生命表技术和生存函数分析法对该区秃山白树种群的结构、动态及生存状况予以分析,对了解该种群的发生发展过程及其资源保护和生态管理提供参考依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究区位于历山自然保护区的核心区,地处

山西省中条山东段,区内为暖温带大陆性气候,其特点为夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,盛行西北风;年平均气温为 12 ~ 14 °C,最冷月(1 月)平均气温 -1 ~ 2 °C,最热月(7 月)平均气温 27 ~ 28 °C;无霜期 180 ~ 200 d,最高达 228 d;年降水量 600 ~ 800 mm(张金屯等, 1997; 张峰和张金屯, 2003);土壤母质为第四纪黄土覆盖,属暖带半干旱森林草甸土——褐色土地带(张金屯等, 1997; 上官铁梁等, 2000; 张桂萍等, 2005, 2008)。

本研究对象秃山白树种群是在分布相对集中的典型秃山白树群落中展开群落学系统调查,样地包括 35°22'23.84"N、111°54'58.62"E、H1292 m 附近的样地 1(30 m×50 m)和 35°22'25.21"N、111°53'58.07"E、H969 m 附近的样地 2(30 m×100 m)。

样地 1 秃山白树群落乔木层盖度为 90% 左右,主要由秃山白树和色木槭(*Acer mono*)组成,此外还有一些枯木,其中秃山白树盖度为 80%。灌木丛盖度为 20% 左右,主要由溲疏(*Deutzia scabra*)、卫矛(*Euonymus alatus*)和太平花(*Philadelphus pekinensis*)、以及一些乔木幼树组成,幼树物种包括山白树、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、大果榉(*Zelkova sinica*)、色木槭和白蜡(*Ligustrum obtusifolium*)等。草本层盖度为 5% ~ 15%,植物种类较为丰富,主要由鹿药(*Smilacina japonica*)、蛇床(*Cnidium monnieri*)、透骨草(*Phryma leptostachya*)、橐吾(*Ligularia fischeri*)、盘果菊(*Prenanthes tatarinowii*)、短柄野芝麻(*Lamium album*)、艾麻(*Laportea cuspidata*)、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、蔓假繁缕(*Pseudostellaria davidii*)和迷果芹(*Sphallerocarpus gracilis*)等组成。

样地 2 秃山白树群落乔木层盖度为 90% 左右,主要由秃山白树组成,此外还有君迁子(*Diospyros lotus*)、蒙桑(*Diospyros lotus*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)和葛萝槭(*Acer grosseri*)等及一些枯木,其中秃山白树盖度为 75%。灌木丛盖度为 40% 左右,主要由乔木幼树组成,包括山白树、建始槭(*Acer henryi*)、小叶朴(*Celtis bungeana*)、葛萝槭和青檀等。草本层盖度为 35% ~ 45%,物种较为丰富,主要由龙牙草(*Agrimonia pilosa*)、迷果芹、羊齿天门冬(*Asparagus filicinus*)、披针叶苔草(*Carex lanceolata*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、三叶木通(*Akebia trifoliata*)、荷青花(*Hylomecon japonica*)、橐吾、蔓假繁缕、蝎子草(*Girardinia suborbiculata*)和菝葜(*Smilax china*)等组成。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查方法 经过野外踏查,采用样地与样方相结合的调查方法,每个样地内依据实际情况设置样方,乔木样方大小为 10 m×10 m,在每个样方内按对角线选取 2 个 5 m×5 m 的灌木样方,并在四个角分别设置 1 个 1 m×1 m 的草本样方。共计调查样地面积 4500 m²,包括 2 个样地,45 个乔木样方,90 个灌木样方,180 个草本样方。对每个样方内乔木层的所有物种进行每木调查,记录环境因子、物种及其高度、胸径、冠幅等;灌木层和草本层记录物种、高度、盖度等(冯金朝等,2009;张兴旺等,2012)。

1.2.2 动态指数计算 因不能测定每个个体的确切年龄,又无解析木资料,根据秃山白树生活史特点及调查资料,采用“空间代替时间”法(Kohyama, 1991;李玲等,2011),将秃山白树种群按胸径(DBH)划分为 7 个径级,每级间隔 3 cm,小于 3 cm 的记为幼苗,即第 I 径级胸径为 0~3 cm(即第 I 龄级,以此类推)。统计各龄级的植株数,绘制秃山白树年龄结构图,编制其种群静态生命表,分析动态变化。

种群结构特征分析采用陈晓德(1998)的量化方法,推导出衡量秃山白树种群年龄结构的动态指数。

种群内两相邻级间个体数量变化动态指数(V_x):

$$V_x = \frac{l_x - l_{x-1}}{\max(l_x, l_{x+1})} \times 100\%$$

式中 l_x 、 l_{x+1} 分别为第 x 与 $x+1$ 龄级种群标准化个体数(一般转化为 1000), $\max(\dots)$ 表示取括号中数列极大值, V_x 表示种群从 x 到 $x+1$ 级的个体数量变化动态, $-1 \leq V_x \leq 1$, V_x 取正、负、零值时分别反映出种群两相邻年龄级个体数量的增长、衰退、稳定的结构动态关系。

整个种群年龄结构的数量变化动态指数(V_{pi}):

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{x=1}^{k-1} l_x} (l_k - l_1)$$

式中, K 值为最大年龄值。

当考虑种群年龄级数量(K)及种群年龄级个体数(l_x)因素等外部干扰时,种群年龄结构的数量变化动态指数(V_{pi}):

$$V_{pi} = \frac{\sum_{x=1}^{k-1} (l_x \times V_x)}{K \times \min(l_1, l_2, l_3 \dots l_x) \times \sum_{x=1}^{K-1} l_x}$$

式中, V_{pi} 为整个种群年龄结构的数量变化动态指

数, $-1 \leq V_{pi} \leq 1$, V_{pi} 取正、负、零值时分别反映出种群整体数量的增长、衰退、稳定的结构动态关系。

1.2.3 静态生命表编制 历山自然保护区秃山白树静态生命表的编制,包括: x 为年龄级, a_x 为在 x 龄级内现有个体数, l_x 为在 x 龄级开始时标准化存活个体数(一般转换为 1000), d_x 为从 x 到 $(x+1)$ 龄级间隔期内标准化死亡数, q_x 为从 x 到 $(x+1)$ 龄级间隔期间死亡率, L_x 为从 x 到 $(x+1)$ 龄级间隔期间还存活的个体数, T_x 为从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数, e_x 为进入 x 龄级内个体的平均生存能力, K_x 为消失率(损失度)(冯云等,2009)。

1.2.4 生存分析方法 为了更好地分析秃山白树种群动态,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 $f_{(ii)}$ 及危险率函数 $\lambda_{(ii)}$ (杨凤翔等, 1991;程红梅,2010)。

2 结果与分析

2.1 秃山白树种群径级结构

历山秃山白树群落中,秃山白树盖度为 75%~80%,此外还有少量的色木槭、君迁子、蒙桑、青檀和葛萝槭等及一些枯木,总体来看,秃山白树群落结构较为单一。从秃山白树种群径级结构来看,呈现金字塔形(图 1),各立木级均有分布,其中 I 龄个体数量最多,占总数的 33.64%;其次为 II 龄立木,占总数的 29.44%;数量最少的为 VII 龄立木,只占总数的 0.93%。最大胸径为 18 cm,>15 cm 的立木有 11 株,占总数 5.14%,说明该种群整体上为增长型种群。

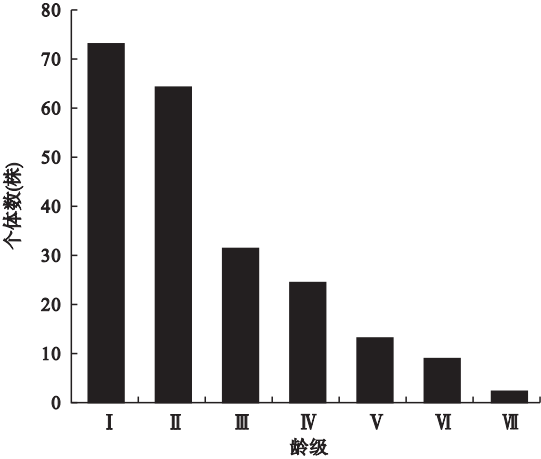


图 1 历山秃山白树种群年龄结构
Fig.1 Age structure of *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population in Lishan Mountain

依据量化分析方法进行分析,种群相邻各龄级间个体数量变化动态为 $V_1 = 12.50\%$, $V_2 = 50.79\%$, $V_3 = 22.58\%$, $V_4 = 45.83\%$, $V_5 = 30.77\%$, $V_6 = 77.78\%$ 。整个种群年龄结构的数量变化动态指数 $V_{pi} = 33.02\%$, 说明该种群为增长型种群; 在考虑到种群的外部干扰时, $V_{pi} = 0.17\% > 0$, 说明现阶段种群数量动态指数数值虽然为正值, 但数值很小, 说明种群整体增长幅度不大, 容易受到外部干扰。

2.2 秃山白树种群静态生命表与存活曲线

根据静态生命表的编制方法和样地调查数据, 编制历山秃山白树天然种群静态生命表。秃山白树种群结构呈金字塔形, 幼年阶段的个体较丰富, 中期次之, 成年个体数量相对较少。种群在第 I、第 II 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, 秃山白树的生命期望表明, 种群的期望寿命总体上随着龄级的增加而减小, 在幼年阶段表现出较高的生命期望, 说明此阶段秃山白树的生存质量最高, 生理活动旺盛; 在第 III 龄级生命期望出现波动, 可能由于第 II 龄级秃山白树在经过种内竞争之后个体数量大大减少, 导致群落在第 III 龄级环境较为宽松, 秃山白树生长良好; 在第 VI 龄级生命期望陡降, 说明此阶段秃山白树生理活性降低, 种群已进入生理衰退阶段。

存活曲线借助于存活个体数量以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。本文以龄级为横坐标, 以存活量的对数 $lg l_x$ 为纵坐标, 绘制历山秃山白树种群的存活曲线(图 2)。

由图 2 可见, 历山秃山白树各龄级间成活率下降趋势基本保持一致, 只是在 II、IV 和 VI 龄级的下降趋势比其他龄级较为明显。以往研究表明大多数木

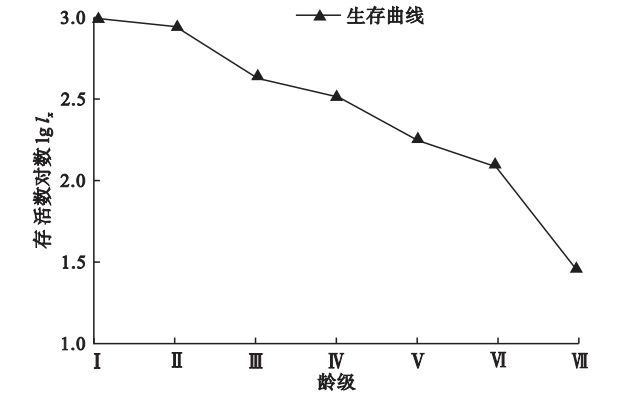


图 2 秃山白树种群的存活曲线
Fig.2 Survival curve of *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population

本植物的存活曲线趋于 II、III 型(吴承祯等, 2000; 陈远征等, 2006; 王凯博和上官周平, 2006; 程红梅 2009), 通常在检验其存活状况是符合 Deevey-II 型曲线还是 Deevey-III 型曲线时, 采用 2 种数学模型: 用指数方程式 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 描述 Deevey-II 型存活曲线; 用幂函数方程式 $N_x = N_0 x^{-b}$ 描述 Deevey-III 型存活曲线。本研究采用上述 2 种模型对历山秃山白树种群存活曲线类型进行检验, 建立其相应模型得到下式:

$$N_x = 3.627e^{-1.08x}$$
$$(R = 0.927, F = 30.796, P = 0.003)$$
$$N_x = 3.405x^{-3.03}$$
$$(R = 0.825, F = 10.629, P = 0.022)$$

从以上结果可以看出, 指数模型的相关系数 R 值大于幂函数模型的相关系数 R 值, 而且指数模型检验结果极显著, 幂函数模型检验结果显著, 说明指数模型比幂函数模型更适合描述秃山白树存活曲线, 因此认为, 历山秃山白树的存活曲线更趋于 Deevey-II 型, 即表示历山秃山白树各龄级具有相同的死亡率。

2.3 秃山白树的死亡率和消失率曲线

以死亡率(q_x)和亏损率(K_x)为纵坐标, 以龄级为横坐标, 作死亡率和消失率曲线, 可以反映出秃山白树种群的一般特征。从图 3 可以看出, 历山秃山白树种群在 21 cm 范围内的死亡率(q_x)变化趋势为: 在幼龄时个体死亡率最低, 在 I 龄级的死亡率为 0.125, 随着个体的生长, 死亡率有逐渐增加的趋势, 死亡率峰值出现在 II 和 IV 龄级的年龄阶段, 死亡率分别增大到 0.508 和 0.458, 是 I 龄级的 4 倍, 在 II 龄级表现出最大值, 分析 II 龄级由于种内竞争激励, 自疏效应强出现死亡率高峰; IV 龄级由于种间竞争及环境等因素影响而出现死亡率高峰; 且死亡率 II 龄级高于 IV 龄级。从一定程度说明, 历山秃山白树种群幼年时期种内竞争强于成年时期种间竞争及其

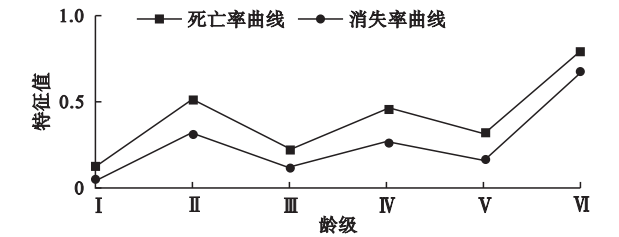


图 3 秃山白树种群的死亡率和消失率曲线
Fig.3 Mortality rate and vanishing rate curves of *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population

他因素对种群动态的影响。

消失率(K_x)和死亡率动态变化趋势基本一致,幼龄时消失率低,随着年龄增长有逐渐增加的趋势。

2.4 秃山白树的生存分析

根据上述 4 个生存函数的估算值(表 2),以龄级为横坐标,以函数值为纵坐标,绘制历山秃山白生存率函数曲线、累计死亡率函数曲线、死亡密度函数曲线和危险率函数曲线(图 4、图 5)。

历山秃山白树种群的生存率呈单调下降,相应的累积死亡率呈单调上升,其下降或增加的幅度是前期高于后期,显示幼龄种群的死亡率高(表 2)。第Ⅳ龄级种群累计死亡率开始趋于平缓,此后种群死亡率较为均一,种群开始进入生理衰退阶段,虽然这个阶段种群死亡率较低,但是由于种群个体数量少,个体的死亡对种群动态的影响很大。种群死亡密度函数曲线较为平缓,在Ⅲ龄级死亡密度较大,说明Ⅱ龄级种群种内竞争激烈,死亡个体数量多,而危

险率函数随着龄级的增加不断增大。

种群前期死亡率高的特性与个体的生物学特性和环境因素有关。前期秃山白树处于向成熟个体发育的过渡期,个体间对环境资源的需求较大,光照、土壤、养分和空间等因子不能充分满足其要求,自疏作用强,种内竞争激烈,导致死亡率高。同时,随着成年植株个体年龄的增加,秃山白树个体抵抗外界干扰的能力也会下降。

3 讨论

种群的年龄结构、生命表、存活曲线、死亡率曲线是种群生物学特性与环境因素共同作用的结果(谢宗强等,1999)。历山秃山白树种群整体上以幼龄数量相对较多,定量分析数量动态指数为正值,说明其为增长型种群,但考虑外部干扰时数值很小,说明种群增长幅度不大,当受到持续干扰时,种群甚至会发出衰退,这与汪松和解焱(2004)在《中国物种红色名录 第 1 卷 红色名录》中推测山白树在过去 3 个世代内致危因素没有停止、种群至少减少 30% 一致,致危因素可能与秃山白树的生理特性及环境因素有关,尚需进一步研究。种群生命表反映出该种群死亡率较为均一,存活曲线趋于 Deevey II 型。

种群的死亡率曲线与消失率曲线趋势一致,在Ⅱ龄级和Ⅳ龄级出现死亡率高峰,且 4 个生存函数也很好解释了秃山白树的生存规律,累积死亡率单调增加,生存率单调下降,其增加或下降幅度为前期高于后期,同样表明种群在幼龄死亡率高;死亡密度函数在第Ⅲ龄级出现波动,也说明种群在第Ⅱ龄级的高死亡率导致大量个体死亡,故第Ⅲ龄级死亡密度较高;危险率函数则随着龄级的增加不断增大。

秃山白树在幼龄时个体死亡率最低,在Ⅱ龄级出现死亡率峰值可能是由于秃山白树幼苗具有一定的耐荫性,在林冠下可以生长发育,但随着年龄增加,它对光照的要求也逐渐增加,第Ⅱ龄级秃山白树正处于逐渐成熟阶段,因受到上层林冠的抑制而过于荫蔽,导致其年生长量减小,此时种群为争夺资源种内竞争激烈,种群自疏及它疏作用增强,环境筛选强度增大,个体间的分化现象严重,使得部分秃山白树得不到充足的营养而逐渐死亡(冯云,2009;程红梅,2010)。从个体水平来看,这个阶段的高死亡率对种群个体不利,但对于整个种群而言,这个过程

图 4 秃山白树种群生存率函数和累积死亡率函数曲线
Fig.4 Survival rate and cumulative mortality rate functional curves of *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population

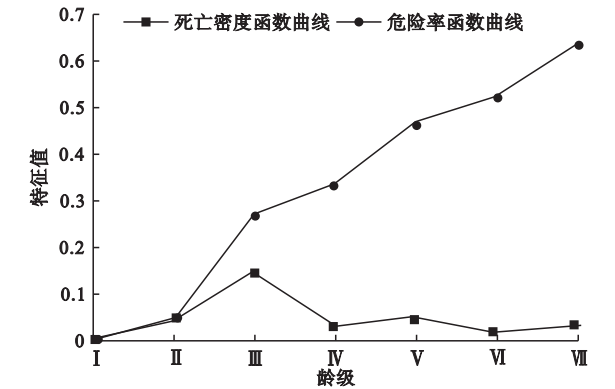


图 5 秃山白树种群死亡密度函数和危险率函数曲线
Fig.5 Mortality density and hazard rate functional curves of *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population

由于淘汰了较弱的个体,保存了较强的个体,有利于种群的进化与繁荣。

Ⅳ龄级秃山白树已处于成熟期,从历山秃山白树所分布群落整体来看,油松(*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、槲栎(*Quercus aliena*)、色木槭和青檀等是乔木层的主要树种,秃山白树集中分布于沟谷及干枯河床上,两侧均为高大的落叶阔叶乔木,秃山白树对于光照、营养、空间和环境资源等方面的竞争能力弱于其他乔木物种;三叶木通和山葡萄(*Vitis amurensis*)等是群落中数量较多的大型藤本,并且已进入乔木层上层,它们会导致树木顶芽产生变形,使乔木高生长受到很大影响,易受风雪等灾害天气影响而折断,同时还以茎叶包覆树冠,覆盖面积大,虽较少分布在秃山白树林中,但也在一定程度上导致处于沟谷地带的秃山白树同化量减少,发育衰退,种群开始进入衰老阶段;这一阶段,外界环境变化以及风害、雪灾等自然灾害都会对成年植株的生长造成较大影响,环境筛的选择强度较大,导致种群数量减少,死亡率高。秃山白树种群与其他种群在光照、水分、养分和空间上的竞争,加上其他因素如土层较薄、自然灾害天气等都会对秃山白树植株的生存造成一定程度的影响,故第Ⅳ龄级死亡率较高,出现第2个死亡率峰值。

从以上分析可以看出,历山自然保护区现存秃山白树天然种群死亡率有波动,但从总体来看趋于一致,处于较为稳定的阶段,目前形成的群落格局可能会在较长的一段时间内保持稳定。预计种群未来的发展趋势,由于该种群现存个体数量不多,种群幼龄时期死亡率高,又易受外界环境的干扰,种群可能会在经历某次强烈的雨雪风灾等干扰时完全衰退,逐渐被别的种群和群落替代;又由于该种群更新能力强,周围环境条件如光照、温度、水分等持续稳定,且保护区无人为因素干扰,加之全球气候变暖,温室效应逐步显著,暖温带逐渐北移,该地区及其以北地区将会成为秃山白树等暖温带树种的适宜生长地区,故预测历山秃山白树种群未来发展趋势还需进行持续的观察分析。

种子繁殖是秃山白树种群的重要更新方式,但野生秃山白树花单性,授粉率低,结籽少且休眠期长,种子又缺乏媒介传播,因此生殖困难(张莹等,

2010),种子繁殖由原来的主要繁殖方式逐渐丧失作用。选择合适的恢复和保存方法以促进秃山白树种子萌发和幼苗存活,对延续其种群发展至为重要。以上研究均表明,历山自然保护区秃山白树种群在第Ⅱ龄级死亡率高,种群个体数量减少多,故应对DBH在3~6 cm的秃山白树进行人工移植,既不损失种群个体数量,又能扩大种群,更好地保护秃山白树这种国家二级保护植物。

参考文献

- 陈晓德. 1998. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究. 生态学报, **18**(2): 104-107.
- 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.
- 程红梅. 2009. 大蜀山大叶樟种群数量动态研究. 中南林业科技大学学报, **29**(3): 65-69.
- 程红梅. 2010. 大蜀山短毛榉种群生命表与生存分析. 浙江大学学报(农业与生命科学版), **36**(3): 341-347.
- 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.
- 冯 云, 马克明, 张育新, 等. 2009. 北京东灵山地区辽东栎(*Quercus liaotungensis*)种群生活史特征与空间分布. 生态学杂志, **28**(8): 1443-1448.
- 傅志军, 高淑贞. 1992. 山白树属的系统研究——Ⅲ. 木材解剖与扫描特征. 西北植物学报, **12**(3): 188-192, 255-256.
- 傅志军, 高淑贞. 1995. 山白树花粉形态及组成成分研究. 国土与自然资源研究, (4): 69-70.
- 王凯博, 上官周平. 2006. 黄土高原子午岭天然柴松林种群结构与动态研究. 西北植物学报, **26**(12): 2553-2559.
- 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.
- 李先琨, 苏宗明, 向悟生, 等. 2002. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局. 生态学报, **22**(12): 2246-2253.
- 令狐昱慰, 张 莹, 黎 斌, 等. 2009. 3种外源激素对山白树种子无菌萌发的影响. 陕西林业科技, (3): 22-25.
- 卢景龙. 2009. 历山自然保护区珍稀濒危植物及其保护. 山西大学学报(自然科学版), **32**(3): 483-486.
- 上官铁梁, 张 峰, 樊龙锁. 2000. 中条山木本植物区系地理成分分析. 植物研究, **20**(2): 143-155.
- 宋朝枢, 徐荣章, 张清华. 1989. 中国珍稀濒危保护植物. 北京: 中国林业出版社.
- 汪 松, 解焱. 2004. 中国物种红色名录(第1卷 红色名录). 北京: 高等教育出版社.
- 吴承祯, 洪 伟, 谢金寿. 2000. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析. 应用生态学报, **11**(3): 333-336.
- 谢宗强, 陈伟烈, 路 鹏, 等. 1999. 濒危植物银杉的种群

统计与年龄结构. 生态学报, **19**(4): 523–528.

熊向阳. 2008. 基于广义形态学特征对白山树属 (*Sinowilsonia*) 系统位置的研究 (硕士学位论文). 陕西: 陕西师范大学.

杨凤翔, 王顺庆, 徐海根, 等. 1991. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用. 生态学报, **11**(2): 153–158.

张 峰, 张金屯. 2003. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, **23**(3): 421–427.

张桂萍, 张 峰, 茹文明. 2005. 旅游干扰对历山亚高山草甸优势种群种间相关性的影响. 生态学报, **25**(1): 76–82.

张桂萍, 张 峰, 茹文明. 2008. 旅游干扰对历山亚高山草甸植物多样性的影响. 生态学报, **28**(1): 407–415.

张金屯, 张 峰, 上官铁梁. 1997. 中条山植被垂直带谱再分析. 山西大学学报(自然科学版), **20**(1): 79–82.

张兴旺, 张小平, 郭传友, 等. 2012. 安徽皇藏峪自然保护区青檀种群数量动态. 生态学杂志, **31**(2): 282–291.

张 莹, 李思锋, 黎 斌, 等. 2011. 山白树种子营养成分及萌发特性研究. 种子, (3): 91–94.

中国科学院中国植物志编辑委员会. 1979. 中国植物志(第 35 卷第 2 分册). 北京: 科学出版社.

Kohyama T. 1991. Simulating stationary size distribution of trees in rain forests. *Annals of Botany*, **68**: 173–180.

Lorimer C. 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology*, **61**: 1169–1184.

Sara D, Carmen M, Sergio AC. 2000. Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* M. -F. Passini. *Forest Ecology and Management*, **134**: 249–256.

作者简介 李 豪,男,1988 年生,硕士研究生,主要从事植物生态学研究. E-mail: jiewushaonian88@126.com

责任编辑 张 敏

2011 年中国百篇最具影响国内学术论文

据中国科学技术信息研究所 2012 年发布信息,井冈山大学的叶子飘,发表在《生态学杂志》2007 年 26 卷 8 期 1323–1326 页的“光响应模型在超级杂交稻组合-2 优明 86 中的应用”一文,获“2011 年中国百篇最具影响国内学术论文”。