

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.02.021

胡元洁, 巨天珍, 米彩燕 等. 小陇山国家级自然保护区华山松种群更新动态分析[J]. 广西植物 2013, 33(2): 247-252

Hu YJ, Ju TZ, Mi CY et al. Study on the populations regeneration dynamics of *Pinus armandii* in Xiaolongshan Nature Reserve[J]. *Guihaia* 2013, 33(2): 247-252

小陇山国家级自然保护区华山松种群更新动态分析

胡元洁^{1,2}, 巨天珍^{1,2*}, 米彩燕^{1,2}, 康晓亚³, 张宋智⁴, 马建伟⁴

(1. 西北师范大学, 兰州 730070; 2. 甘肃省生物电化学与环境分析重点实验室, 兰州 730070;

3. 中国农业大学, 北京 100083; 4. 天水小陇山林科所, 甘肃 天水 741022)

摘要: 以种群生命表及生存分析理论为基础, 将林木依胸径大小分级, 以林木径级结构代替年龄结构, 采用分段平滑技术编制小陇山国家级自然保护区华山松种群静态生命表, 对其种群年龄结构、死亡率曲线、损失度曲线、存活曲线、生存函数曲线及其幼苗的更新动态、死亡率和原因进行分析。结果表明: 该种群属于增长型, 表现出前期增长、中期稳定、后期衰退的特点; 该种群的整个生命过程, 显示了三次死亡高峰, 其中幼苗死亡率较高, 以后的死亡率低而平缓, 符合种群的动态规律, 也指出“天保工程”实施的意义和效果; 该研究指示了华山松的动态以及种群的变化趋势, 对保护区已经实施的生态监测和森林保护有着十分重要的意义。

关键词: 华山松种群; 更新动态; 静态生命表; 生存分析

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)02-0247-06

* Study on the populations regeneration dynamics of *Pinus armandii* in Xiaolongshan Nature Reserve

HU Yuan-Jie^{1,2}, JU Tian-Zhen^{1,2*}, MI Cai-Yan^{1,2},
KANG Xiao-Ya³, ZHANG Song-Zhi⁴, MA Jian-Wei⁴

(1. Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Provincial Biological Electrochemistry and Environmental Analysis Laboratory, Lanzhou 730070, China; 3. China Agricultural University, Beijing 100083, China; 4. Forestry Research Institute of Xiaolongshan Forestry Experimental Bureau, Tianshui 741020, China)

Abstract: The static life table of *Pinus armandii* population in the Xiaolongshan Nature Reserve in Gansu was compiled based on the population life table and theory of survival analysis using the size class structure represented by DBH class and smoothing out technique. The size class structure, curves of mortality rate, vanish rate, survival function of the *P. armandii* as well as the regeneration dynamics, mortality and causes of seedling were analyzed. The results were as follows: *P. armandii* population size class structure were developing, characterized early growth, medium stability and later recession; the whole life process of the population had demonstrated three death peaks, of which the mortality of seedlings coming to be low and stable later, was relatively high. Consistent with the natural dynamic rule of populations, it also showed the significance and effect of “Natural Forest Protection Project”; the study indicated the dynamic and change trends of *P. armandii* population were crucial for both the ecological monitoring and the forest protection applied in the

* 收稿日期: 2012-04-26 修回日期: 2012-10-19

基金项目: 国家自然科学基金(41161080); 甘肃省科技计划项目(2010GS05134)

作者简介: 胡元洁(1991-), 女, 陕西宝鸡人, 环境科学专业, (E-mail) huyuanzhenjie@163.com。

通讯作者: 巨天珍, 教授, 研究方向为城市生态学, (E-mail) huyuanzhenjie@163.com。

reserve.

Key words: *Pinus armandii* population; regeneration dynamics; static life table; survival analysis

华山松(*Pinus armandii*)属松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)常绿乔木,材质优良耐腐,供建筑、枕木用材;种子含油约42%,食用和供制硬化油,还可提取树脂、挥发油及栲胶等物质;分布于山西、河南、陕西、甘肃、四川、贵州、云南西北部和西藏东部及南部等省区。植物种群的动态处于自身和外界环境的调控之中,在时间(季节、年际间)和空间上保持着动态平衡(姜汉侨等,2010)。植物群落的稳定性很大程度上取决于群落优势种能否有效更新,对森林群落优势种群生命结构的分析能提供更多群落演替信息(曹祖宁,2010)。对于小陇山国家级自然保护区华山松种群,陈建平(2009)主要从华山松的坡位、林分以及闭郁度三个方面初步分析了其天然更新规律,旨在研究地形、环境等因素影响其更新的一般规律,而本文参考近年来对不同地域特有物种的更新规律的研究,采用编制种群静态生命表以及引入生存函数的分析方法,梳理华山松种群的整个生命过程并探索其种群历史,预测种群动态,从而更好地阐明种群的生存规律(Craw,1986;Fuchsa *et al.*,2000;Manuel & Molles,2002),是在前人(王勤花,2006;巨天珍等,2010)研究工作的基础上,对华山松林工作的有效补充和完善,同时为研究华山松种群更新和华山松的保护利用提供理论依据。

1 研究区自然概况

小陇山国家级自然保护区位于甘肃省东南部,地理坐标在 $106^{\circ}13'10'' \sim 106^{\circ}33'06''$ E $33^{\circ}35'12'' \sim 33^{\circ}45'11''$ N,全区海拔在2200~2500 m之间,地貌和植被类型多样,植被覆盖率在97%以上,生物多样性最为丰富,属森林生态系统类型的自然保护区。本区处于我国暖温带南缘与北亚热带的过渡地带,气候温暖湿润,大多数地域属于暖温带—中温带半湿润大陆性季风气候类型,年均气温 12°C 左右,极端最高气温 39.2°C ,极端最低气温 -23.2°C ,无霜期120~218 d;年降水量460~800 mm,降水集中分布在7~9月,一般春秋雨占年降水量的70%~80%,年蒸发量989~1658 mm,相对湿度68%~78%;年日照时数1520~2313 h。土层厚度30~60 cm,较湿润,有机质含量高,土壤质地多属轻壤

土,中壤土和轻粘土。

华山松是分布于我国亚热带西部山地的植物,小陇山保护区是其分布的过渡区,该区华山松群落有3种类型:(1)华山松纯林,华山松为建群种,少量盐肤木、锐齿栎等混生其间,林缘伴生少量的栓皮栎、盐肤木;(2)华山松针阔叶混交林,以华山松为建群种,与锐齿栎、辽东栎、栓皮栎等共为主要乔木成分,箭竹、美丽胡枝子、阔叶荚蒾等为林下灌木;(3)杂木林,华山松占一成到两成,其他为小陇山林区常见物种。华山松的分布与环境中的水热条件关系密切,多成片状纯林,主要分布于海拔1000~2300 m的阳坡或半阳坡,小陇山自然保护区华山松群落如在高海拔主要分布于阳坡,纯林较多,伴生树种多为山杨(*Populus davidiana*)、高山柳(*Salix cupularis*)等;在低海拔主要分布于半阳坡或阴坡,往往同栓皮栎(*Quercus variabilis*)、锐齿栎(*Q. aliena*)或油松(*Pinus*)等混交成林。本文所分析的主要是以华山松为主的群落(1)和(2)(巨天珍等,2010a,b)。

2 研究方法

2.1 调查方法

在小陇山国家级自然保护区内全面调查华山松林,选择11个具有代表性的华山松群落样地,每个样地确定好样方,面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 。对样方内植株通过每木调查法记录其种名、树高、胸径、冠幅等指标。

2.2 年龄结构划分

对于树种年龄的确定一般采用生长锥钻取木芯的方法(袁志忠等,2004),但是华山松本身脆弱,加之自然保护区树种的严格保护要求,故不推行这种方法而是利用空间推时间来确定年龄,即将林木依胸径大小分级,以立木级结构代替年龄结构分析种群动态。对于种群大小结构立木级的划分有许多不同的标准,根据华山松生活史特点,依据有关文献的方法将华山松种群划分为17个胸径级别(曹祖宁,2010;王伯荪等,1995;云南大学生物系,1980),把植株胸径从小到大的顺序看作是时间顺序关系,每一径级间距为3 cm, $D \leq 3\text{ cm}$ 为第1径级对应第1龄级, $3 < D \leq 6\text{ cm}$ 的植株对应第2龄级,之后一一对应,统计各龄级株数,编制华山松种群静态生命表,

从而分析其动态变化。

2.3 生命表编制

静态生命表包括以下指标,且各指标间相互关联,通过实测值可求得。其中, x 为年龄级(径级); ΔX 为径级距; N_x 为 X 龄级内的树木存活数; N_x^* 为 X 龄级内存活的实际株数的匀滑修正值; l_x 为 X 龄级开始时的标准化存活数 $l_x = N_x/N_0 \times 1000$; d_x 为

从 X 到 $X+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数 $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x 为从 X 到 $X+1$ 龄级间隔期内的死亡率 $q_x = d_x/l_x \times 100\%$; L_x 为从 X 到 $X+1$ 龄级间隔期还存活的个体数 $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; T_x 为从 X 龄级到超过 X 龄级的个体总数, $T_x = \sum L_x$; E_x 为进入 X 龄级个体的生命期望 $E_x = T_x/l_x$; K_x 为消失率(损失度), $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。

表 1 小陇山国家级自然保护区华山松静态生命表

Table 1 Static life table of *Pinus armandii* population in Xiaolongshan Nature Reserve

龄级 X Size class	径级距 DBH class	N_x	N_x^*	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	E_x	K_x
1	0~3	87	87	1000	6.908	379	0.379	810	2603	2.063	0.4769
2	3~6	54	54	621	6.431	356	0.574	443	1793	2.889	0.8535
3	6~9	23	23	264	5.577	46	0.174	241	1351	5.109	0.1911
4	9~12	17	19	218	5.386	23	0.105	207	1109	5.079	0.1112
5	12~15	18	17	195	5.275	23	0.118	184	902	4.618	0.1252
6	15~18	15	15	172	5.150	23	0.133	161	718	4.167	0.1431
7	18~21	20	13	149	5.007	23	0.154	138	557	3.731	0.1671
8	21~24	7	11	126	4.840	23	0.182	115	420	3.318	0.2007
9	24~27	9	9	103	4.639	23	0.222	92	305	2.944	0.2513
10	27~30	8	7	80	4.388	23	0.286	69	213	2.643	0.3365
11	30~33	7	5	57	4.051	11	0.200	52	144	2.500	0.2231
12	33~36	3	4	46	3.828	12	0.261	40	92	2.000	0.2877
13	36~39	0	3	34	3.540	11	0.333	29	52	1.500	0.4055
14	39~42	0	2	23	3.135	12	0.522	17	23	1.000	0.6931
15	42~45	0	1	11	2.422	11	1.000	6	6	0.500	—
16	45~48	1	0	0		0		0	0	—	—
17	48~51	1	0	0				—	—	—	—

由于静态生命表是反映多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间,而不是对这一种群全部生活史的追踪,并且在研究过程中采用了空间推时间的方法,所以调查数据并不完全满足编制静态生命表须符合的 3 个假设:①种群数量是静态的,即密度不变;②年龄组合是稳定的,即种群的年龄结构与时间无关;③个体的迁移是平衡的,即迁入等于迁出。在编制过程中可能会出现死亡率为负的情况,对此, Wretten(1980)认为“生命表分析中产生的一些负的 d_x 值,这与数学假设技术不符,但仍能提供有用的生态学记录,即表明种群并非静止不动,而是在迅速发展或衰落之中”,因此采用匀滑技术(江洪,1992)对调查数据进行处理,经匀滑修正后,得 N_x^* ,编制出华山松种群静态生命表(表 1)。

2.4 生存分析方法

为了更好地分析小陇山国家级自然保护区华山松的种群结构形式,阐明其生存规律,引入生存分析的 4 个函数(杜彦昌等,2007):(1)种群生存率函数: $S(i) = p_1 p_2 \cdots p_i$ (p_i 为存活率 $p_i = 1 - q_i$);(2)累

计死亡率函数: $F(i) = 1 - S(i)$; (3)死亡密度函数: $f(t_i) = (S_{i-1} - S_i) / h_i$ (h_i 是第 i 个间隔期的时间长度,即径级距);(4)危险率函数: $\lambda(t_i) = 2(1 - p_i) / [h_i(1 + p_i)]$ 。

根据以上计算公式,对华山松种群的统计数据进行处理,可得到其生存函数估算值(表 2)。

3 结果与分析

3.1 龄级分析

以龄级为纵坐标,以存活数为横坐标,绘制出华山松种群的年龄结构图(图 1)(Larcher,1995)。

华山松种群龄级图中,中老年级的个体所占比例较小,幼龄级个体的比例最大,除补充已死去的老龄个体外仍有剩余,个体数量在结构上呈现了基部宽而顶部窄的形状,即种群属于增长型,表明华山松种群处于增长状态。

3.2 生命表分析

3.2.1 存活曲线 根据华山松种群静态生命表,以

龄级为横坐标,存活数的自然对数值 $\ln l_x$ 为纵坐标,绘制华山松种群存活曲线(图2)。存活曲线是借助于存活个体数量来描述特定年龄死亡率。

表2 华山松种群4个生存函数估算值
Table 2 Estimated values of survival analysis function of *Pinus armandii* population

龄级 X Size class	径级距 DBH class	S(i)	F(i)	f(t _i)	λ(t _i)
1	0~3	0.621	0.379	0.119	0.156
2	3~6	0.264	0.736	0.015	0.388
3	6~9	0.218	0.782	0.008	0.428
4	9~12	0.195	0.805	0.008	0.449
5	12~15	0.172	0.828	0.008	0.471
6	15~18	0.149	0.851	0.008	0.493
7	18~21	0.126	0.874	0.008	0.517
8	21~24	0.103	0.897	0.008	0.542
9	24~27	0.080	0.920	0.008	0.567
10	27~30	0.057	0.943	0.004	0.594
11	30~33	0.046	0.954	0.004	0.608
12	33~36	0.034	0.966	0.004	0.623
13	36~39	0.023	0.977	0.004	0.637
14	39~42	0.011	0.989	0.004	0.652
15	42~45	0.000	1.000	—	0.667
16	45~48	—	—	—	—
17	48~51	—	—	—	—

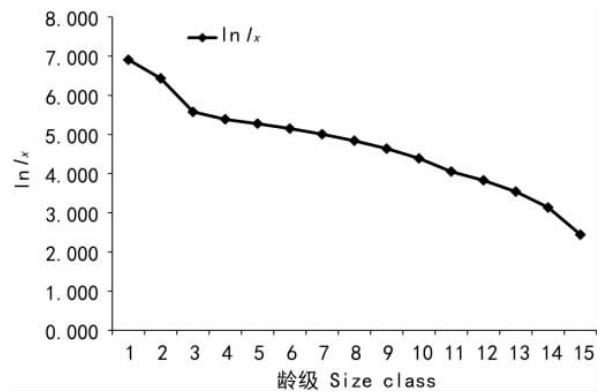


图2 华山松种群存活曲线
Fig. 2 Survival curve of *Pinus armandii* populations in Xiaolongshan

曲线 幂函数 $N_x = N_0 x^{-b}$ 用以描述 Deevey III 型存活曲线。运用 SPSS 统计软件进行拟合建立相应模型: 指数函数 $y = 7.280e^{-0.059x}$ ($R = 0.958, F = 146.161$); 幂函数 $y = 8.036x^{-0.305}$ ($R = 0.873, F = 41.476$)。由于指数模型的相关指数 R 值及 F 检验均大于幂函数模型的相关指数 R 值和 F 检验,因此可以认为,小陇山华山松种群的存活曲线更趋于 Deevey II,且由图2所示,可得同样结果:图中各龄级的死亡率基本相同,在局部稍有波动,幼年期死亡率较高,但仍然能够保证一定的数量,说明华山松种群的更新较快,幼龄树种在内外环境的共同作用下,随筛选而得到更优良的个体,确保种群稳定的更新和发展。第3龄级之后趋于平缓,进入老龄期后,下降趋势较之前有所增加,环境筛的选择强度变大。

3.2.2 死亡曲线 以龄级为横坐标,标准化死亡数 d_x 为纵坐标,绘制华山松种群死亡曲线(图3)。由图3可知,第2龄级到第3龄级的标准化死亡数较高,表明华山松种群幼树在向成熟阶段过渡时,死亡率较高,随后的各个龄级内,个体都能实现其平均的生理寿命。

3.2.3 死亡率和消失率曲线 以龄级为横坐标,分别绘制华山松的死亡率和消失率曲线(图4)。由图4可知,华山松种群的死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,都出现了3次波动,同时对应3个峰值。第一个高峰出现在第2龄级,可能是因为个体幼苗数量大,华山松种群密度较高,出现个体利用资源量的分化,从而抑制同种群内其他个体的生长,导致较高的死亡率。第二个高峰出现在第10龄级,可能是因为华山松进入了青壮年期,个体间对生存资源的需求不断扩大,光照、水分、养料等供不应求,导

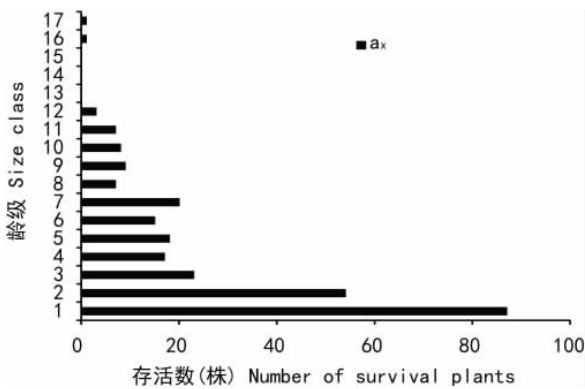


图1 华山松种群年龄结构图
Fig. 1 Age structure of *Pinus armandii* populations in Xiaolongshan

Deevey 将存活曲线分成3型: I型(又称a型),存活曲线呈凸型,表示在接近生理寿命前只有少数个体死亡; II型(又称b型),存活曲线呈对角线型,表示各龄级死亡率相等; III型(又称c型),存活曲线呈凹型,表示幼年期死亡率很高,以后的死亡率低而稳定(杨持,2008)。本文采用两种数学模型对华山松种群存活曲线进行检验(江洪等,2000),即用指数函数 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 用以描述 Deevey II 型存活

致种群内个体间竞争激烈,从而出现第二个死亡高

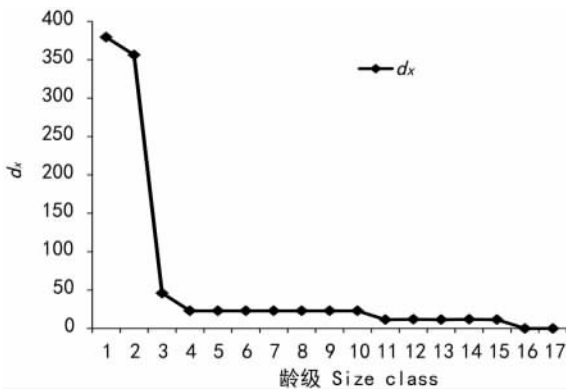


图3 华山松种群死亡(d_x)曲线
 Fig.3 Death number(d_x) curve of *Pinus armandii* populations in Xiaolongshan

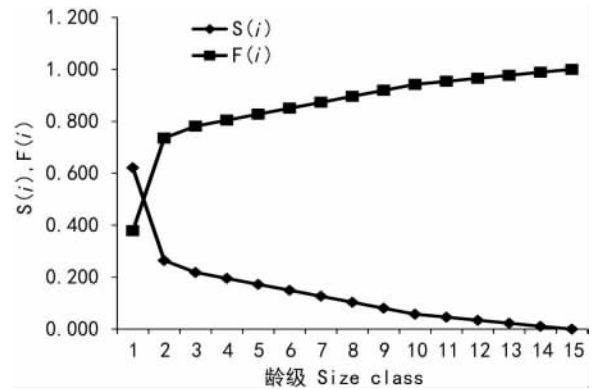


图5 华山松种群生存率函数 $S(i)$ 和累积死亡率函数 $F(i)$ 曲线
 Fig.5 Curves of survival rate $S(i)$ and cumulative mortality rate $F(i)$ of *Pinus armandii* populations

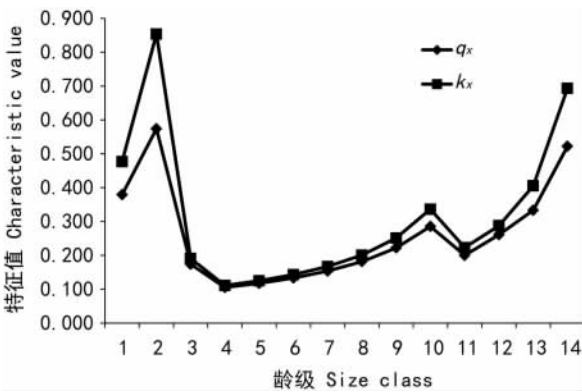


图4 华山松种群死亡率(q_x)和消失率(K_x)曲线
 Fig.4 Curves of mortality rate (q_x) and vanishing rate (K_x) of *Pinus armandii* populations in Xiaolongshan

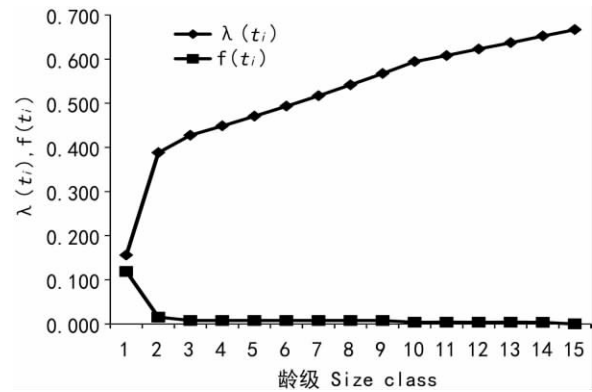


图6 华山松种群危险率 $\lambda(t_i)$ 和死亡密度 $f(t_i)$ 曲线
 Fig.6 Curves of danger scale function $\lambda(t_i)$ and mortality density $f(t_i)$ of *Pinus armandii* populations

峰期。第三个高峰出现在老龄期,华山松种群个体达到其生理年龄,开始死亡。

3.3 生存分析

根据上述华山松种群的4个生存函数的估算值(表2),以龄级为横坐标,4个函数值为纵坐标,分别绘制生存率曲线、累计死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线(图5,图6)。

由图5可知,小陇山自然保护区华山松种群的生存率单调下降,累计死亡率单调上升,二者互补。生存率和累计死亡率的下降和上升幅度都是前期高于后期,说明华山松种群幼苗死亡率较高,这也与静态生命表的分析结果相吻合。

由图6可知,华山松种群的危险率曲线和死亡密度曲线的变化趋势差别较明显,危险率曲线呈单调递增趋势,而死亡密度曲线在第2龄级之后基本

持平,均在0.01以下,总体上看,危险率均比死亡密度高。4个生存函数和生存曲线研究结果相吻合都表明小陇山自然保护区华山松种群具有前期增长,中期稳定,后期衰退的特点。

4 结论与讨论

对于小陇山自然保护区华山松种群,采用空间代替时间的方法,以立木级结构代替年龄结构,由此编制静态生命表同时分析种群动态,进而反映小陇山自然保护区华山松种群基本属性。由于群落演替是一个复杂的渐变过程,同时受到多种因素的共同影响,而且其研究一般要涉及到时间因子,因此,通过固定样地获得时间序列上的数据资料进行演替研究是理论上最理想的方法。然而,由于植物群落特

别是森林群落的演替跨越时间尺度太大,这种获取时间序列数据的方法在实践上存在很大的困难,因此实际采用的方法大多是时空替代方法,即按一定规则以样地的空间序列组成其时间序列,并据此进行生态系统的演替研究。虽然应用这种方法可能会产生较大的误差,但在实际调查过程中考虑了众多环境因素,严格控制了样方的选取条件尽量减小时间跨度造成的误差。因此,在没有其它可行的方法替代时,仍一直被沿用至今(江洪等,1992)。

统计分析显示,华山松种群的年龄结构表现为增长型,呈明显的金字塔结构。该种群静态生命表显示,种群的存活曲线基本趋于Deevey-II型,生存曲线、死亡曲线、死亡率曲线和消失率曲线从整体上反映了华山松种群的动态变化趋势。在整个生存过程中,华山松幼苗的死亡率较高,说明华山松幼苗通过环境筛的过滤和筛选,以高死亡率为代价,只有部分优势个体通过环境筛发育为幼树,进而保证华山松种群个体的有效更新,除了幼苗期的死亡率较高,在之后生长过程中又出现了两个死亡高峰,分别是华山松进入了中龄期,个体利用资源量加大,竞争日益加剧,环境淘汰率高,使种群产生自疏作用,导致较高死亡率;老龄期的死亡高峰,是由于种群个体达到生理年龄,这些特点都符合种群自然动态规律(姜汉侨等,2010)。

以华山松种群静态生命表为基础,引入4个生存函数,分别绘制生存率曲线、累计死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线,对华山松种群进行生存分析。生存分析函数,是任意时间(龄级)的函数,其描述实际情况更直观具体,合理,在辅助分析静态生命表的同时,又可以将分析结果与之进行比较,最终都得出小陇山自然保护区华山松种群的生存特点,即在种群生长过程中表现出前期增长,中期稳定,后期衰退的特点,尽管华山松在幼苗期的死亡率较高,但是幼苗数量多,保证了种群的动态更新(张钦弟,2010)。

种群新成员的补充与更新,是一个种子生态特征性和幼苗更新能力与环境筛相互作用的过程,幼苗的更新及分布特征都取决于种子的萌发。华山松种群幼苗死亡率较高,但新个体补充及时,可能是因为种子数量能够得到保证,但是外界环境的干扰,在一定程度上影响了种子的萌发和生长。由于小陇山国家级自然保护区华山松的分布区域过于干燥,水分的缺失成为主要的影响因素,因此选择合适的恢

复和保存方法促进华山松种子的萌发和幼苗的存活,是延续其种群发展的必要措施。

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: 132 - 148
- 云南大学生物系. 1980. 植物生态学[M]. 人民教育出版社: 195 - 196
- 江洪. 1992. 云杉种群生态学研究[M]. 中国林业出版社: 7 - 26
- 陈建平,李银梅. 2009. 小陇山林区辽东栎和华山松天然更新规律初探[J]. 甘肃科技 25(10): 143 - 144
- 杨持. 2008. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社: 51 - 54
- 姜汉侨,段昌群,杨树华,等. 2010. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社: 168 - 169, 173 - 174, 184 - 190
- 曹祖宁. 2010. 天然小叶青冈种群更新规律研究[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报 23(3): 31 - 32
- Crawley MJ. 1986. Plant Ecology[M]. London: Blackwell Scientific Publications: 97 - 185
- Du YC(杜彦昌), Ma JW(马建伟), Li AM(李安明) et al. 2007. Analysis on life table of *Euptela pleiospermum* in Xiaolongshan Forest Area (小陇山林区濒危植物领春木种群生命表分析) [J]. *J Gansu For Sci & Technol*(甘肃林业科技) 32(4): 9 - 12
- Fuchsa MA, Krannitzb PG, Harestad AS. 2000. Factors affecting emergence and first years survival of seeding of Garry oaks (*Quercus garryana*) in British Columbia, Canada [J]. *For Ecol Man*, 137: 209 - 219
- Ju TZ(巨天珍), Kang LD(康丽丹), Wang LF(王立峰) et al. 2010a. Interspecific association analysis of dominant species in shrub layer of Armandii community in Xiaolongshan Mountain of Gansu Province(甘肃小陇山华山松群落灌木层优势种间关联性分析) [J]. *Guihaia*(广西植物) 30(6): 829 - 834
- Ju TZ(巨天珍), Wang LF(王立峰), Kang LD(康丽丹) et al. 2010b. Ecological niches of the eight major populations of *Pinus armandii* Community, Xiaolongshan Nature Reserve(小陇山自然保护区华山松群落8个主要种群的生态位研究) [J]. *J Ecol Rural Environ*(生态与农村环境学报) 26(5): 461 - 465
- Larcher W. 1995. Physiological Plant Ecology[M]. 3rd ed. New York, Berlin: Springer Verlag: 279 - 448
- Manuel C, Molles J. 2002. Ecology, Concept and Applications[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Company: 186 - 254
- Wang QH(王勤花), Ju TZ(巨天珍), Chang CH(常成虎) et al. 2006. Study on the structure of *Quercus aliena* var. *acuteserata* population in Xiaolongshan, Gansu(甘肃小陇山锐齿栎种群结构分析) [J]. *Guihaia*(广西植物) 26(1): 38 - 42
- Wretten S. 1980. Field and Laboratory Exercises in Ecology[M]. London: Edward Arnold Publishers limited
- Zhang QD(张钦弟), Zhang JT(张金屯), Suriguga(苏日古嘎) et al. 2010. Life table and spectral analysis of *Larix principis-rupprechtii* populations in the Pangquangou Nature Reserve(庞泉沟自然保护区华北落叶松种群生命表与谱分析) [J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报) 16(1): 1 - 6