

文章编号: 1008 - 2786 - (2012) 1 - 36 - 05

小陇山国家级自然保护区油松种群更新及生存

巨天珍^{1 2} 米彩燕^{1 2*} 师贺雄^{1 2} 宋小伟^{1 2} 张彦文^{1 2} 张宋智³

(1. 西北师范大学,甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省生物电化学与环境分析重点实验室,甘肃 兰州 730070;
3. 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,以林木径级结构代表年龄结构,采用分段平滑技术,编制小陇山自然保护区油松种群特定时间生命表,绘制死亡率曲线、消失率曲线、存活曲线、生存函数曲线,分析种群数量动态特征,并对其年龄跟胸径进行线性回归。结果表明: 1. 油松种群年龄结构表现为稳定型。2. 油松种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,存活曲线趋于 Deevey - II 型。4 个生存函数曲线表明,油松种群具有前期稳定、中后期锐减和末期衰退的特点。3. 油松年龄与其胸径线性相关。

关键词: 油松; 种群生命表; 年龄结构; 更新

中图分类号: Q948

文献标识码: A

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.) 属松科松属植物,为乔木。具有喜光、耐贫瘠等生物学特性^[1-3]。油松林是华北黄土高原分布最广的温性针叶林之一,常和辽东栎(*Quercus liaotungensis*) 等构成温带、暖温带的地带性植被,自然分布集中于辽宁、吉林、内蒙古、甘肃、河北、河南、山西等地。

植物的自然更新影响着群落的物种组成、结构和动态变化,是种群得以增殖、扩散、延续和维持群落稳定的一个重要生态过程^[4]。研究种群结构及其更新机制对阐明种群生态特性、更新对策乃至群落的形成及其稳定性与演替规律等都具有重要意义。关于小陇山油松林的研究,程堂仁在 2008 年建立了小陇山油松林乔木层生物量相容性线性模型^[5],证明了小陇山油松林分各组分生物量与林分活立木蓄积量、与林分平均胸径 - 平均树高 - 林分密度均存在极其显著的线性相关关系。但有关小陇山油松种群更新的研究资料还很少。本文以小陇山自然保护区为研究基地,以自然保护区油松林为研究对象,进行油松种群更新的研究,为小陇山森林植

被的抚育更新及保护提供理论依据。

1 研究区域自然地理概况

研究区位于 105°30' ~ 106°30'E, 34°00' ~ 34°40'N, 海拔 700 ~ 2 500 m 的秦岭西部山地,相对高度 500 ~ 1 100 m。该区处于我国暖温带南缘与北亚热带过渡地带,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 7 ~ 12℃,降水的年际变化较大,枯、丰年降水量相差近 1 倍,年蒸发量 989 ~ 1 658 mm,相对湿度 68% ~ 78%; 年日照时数 1 520 ~ 2 313 h,无霜期 120 ~ 218 d。区内的地带性土壤,秦岭以北为灰褐土,以南为黄褐土,垂直分布比较明显。土层厚度 30 ~ 60 cm,较湿润,有机质含量高,一般氮含量中度,磷、钾含量较低,pH 值 6.15 ~ 7.5,土壤质地多属壤土、轻壤土和轻土。

本区有苔藓、蕨类、裸子、被子植物 224 科 945 属 2 700 多种,其中草本植物 1 900 多种,木本植物

收稿日期(Received date): 2011 - 09 - 06; 改回日期(Accepted): 2011 - 12 - 08。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41161080) 和甘肃省科技计划项目(2010GS05134) 。[The National Natural Science Foundation of China(41161080) and the Science and Technology Projects of Gansu Province(2010GS05134) .]

作者简介(Biography): 巨天珍(1965 -),女,教授,环境科学与工程系主任,实验室主任,硕士,研究方向为城市生态学。[Ju Tianzhen, (1965 -), female, professor of North West Normal University, mainly engaged in city ecology.] E - mail: jujutz@ 126. com

通讯作者(Author for Correspondence): 米彩燕(1987 -),女,硕士研究生,主要从事城市生态学方向的研究。[Mi Caiyan (1987 -), female, master degree candidate, mainly engaged in city ecology.] E - mail: micaiyan_3344@ 126. com

800多种(不包括引种栽培),温带科属占优势,热带、亚热带属种比较少^[6]。

2 研究方法

2.1 样地

对小陇山油松分布基本情况实地考察的基础上,考虑林木立地环境、群落类型,选择了11个具有代表性的样地,每个样地作为一个样方,面积为20 m×20 m。在每个样地进行逐木调查法,记录样地内所有个体的种名、树高、年龄、胸径、冠幅、树枝下高。

2.2 年龄结构

年龄结构是种群的重要特征,本文采用等级度分析法替代年龄结构,即把样方内一树种所有个体,按其高度与胸径划分为5个等级(size class)。凡幼苗高度在33 cm以下者为第I级苗木;高度在33 cm以上而茎干粗不足2.5 cm者为第II级苗木;胸高直径2.5~7.5 cm的幼树属第III级立木;胸高直径在7.5~22.5 cm的成年树木,列为第IV级;胸高直径22.5 cm以上者为第V级^[7]。

2.3 生命表编制

本文以径级代替年龄级来编制油松种群的静态生命表,根据小陇山油松种群的的生长规律和生活史较长等特征,将种群划分为14个胸径级,胸径在4 cm以下划为第1径级,之后每增加4 cm为一径级,将树木径级从小到大的顺序看作是时间顺序关系,第1径级对应第1龄级,第2径级对应第2龄级,如此一一对应,统计各龄级株数,编制小陇山油松种群静态生命表,进而分析其动态变化。计算公式如下

$$l_x = a_x / a_0 \times 1000 \quad (1)$$

$$d_x = l_x - l_{x+1} \quad (2)$$

$$q_x = d_x / l_x \times 100\% \quad (3)$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2 \quad (4)$$

$$T_x = \sum L_x \quad (5)$$

$$e_x = T_x / l_x \quad (6)$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1} \quad (7)$$

式中 a_x 是在 x 龄级内现有存活数; l_x 是在 x 龄级开始时标准化存活数; d_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数; q_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率; L_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数或区间寿命; T_x 是从 x 龄级到超过 x 龄级的个体

总数或总寿命; e_x 是进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命; K_x 是为消失率(损失度)^[8],表中各项都是相互关联的,可以通过实测值求得。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,并且调查中存在系统误差,在生命表中会出现死亡率为负的情况,因此本研究采用匀滑技术对数据进行处理。经匀滑修正后,得 ax ^[8],编制出油松种群特定时间生命表。

2.4 生存分析方法

为了更好地分析油松的种群结构形式,阐明其生存规律,本研究把生存分析中的4个函数引入种群生存分析中,即 $S_{(i)}$:生存率函数, $F_{(i)}$:积累死亡率函数, $f_{(i)}$:死亡密度函数, $k_{(i)}$:危险率函数,其中 q_i 为 i 龄级的死亡率,等同于生命表中的 q_x , p_i 为 i 龄级的存活率($p_i = 1 - q_i$), h_i 为区间长度^[9]。这4个函数用下列公式计算^[9]

$$S_{(i)} = p_1 p_2 \dots p_i \quad (8)$$

$$F_{(i)} = 1 - S_{(i)} \quad (9)$$

$$f_{(i)} = S_{(i-1)} - S_{(i)} / h_i = S_{(i-1)} q_i / h_i \quad (10)$$

$$K_{(i)} = f_{(i)} / S_{(i)} = 2q_i / h_i (1 + p_i) \quad (11)$$

2.5 年龄胸径回归分析

对11个样地中的288株油松进行年龄胸径线性回归分析,绘制油松年龄与胸径之间的相关关系散点图,分析其线性回归关系。

3 结果与分析

3.1 年龄结构分析

以等级为纵坐标,存活数为横坐标,绘制出小陇山油松种群的龄级结构图(图1),I级幼苗数量较少,II、III、V级数量相当,IV级成年树木数量较丰富。多数个体处于生理成熟年龄,种群年龄结构表现为稳定型。

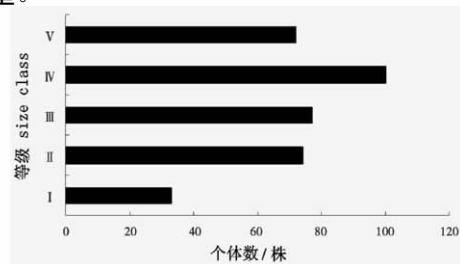


图1 小陇山油松种群的年龄结构图

Fig. 1 Age structure of *Pinus tabulaeformis* Carr. population in Xiaolongshan

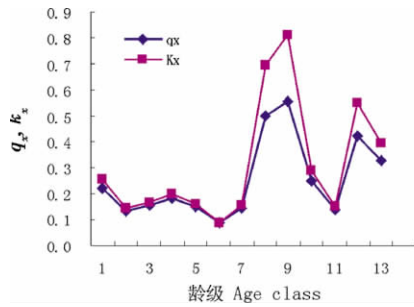


图2 油松种群死亡率和消失率曲线

Fig. 2 Mortality rate (q_x) and vanishing rate (K_x) curves of *Pinus tabulaeformis* Carr. Populations

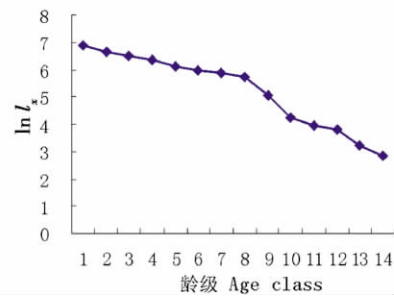


图3 油松种群存活曲线

Fig. 3 Survival curve of *Pinus tabulaeformis* Carr. populations

3.2 生命表分析

在生命表的编制中出现死亡率为负的情况,本研究采取分段匀滑技术进行处理^[5],经匀化修正后得到油松种群特定时间生命表(表1)。

油松种群的死亡率、消失率变化基本一致,表现出明显的波动起伏变化,生存率与积累死亡率单调下降与上升,死亡率和消失率均出现两个峰值,第一个峰值最高,出现在第10龄级,第二峰值出现在第12个龄级(表1、图2)。这可能是由于第10径级油

松对阳光、水分等资源的需求加大,导致种内竞争增强,死亡率较高增加所致。通过自疏后,树木竞争压力明显减小,而且对水分和光照的利用较好,而导致第11径级死亡率有所降低。12径级死亡率较高是由油松自然衰老所致。以龄级为横坐标,以存活数的自然对数值 $\ln l_x$ 为纵坐标,绘制油松的存活曲线(图3),可见,油松的存活曲线基本趋于 Deevey - II 型,各龄级的死亡率基本相同,局部稍有波动。其中,前7龄级的存活曲线几乎呈直线,说明此阶段死

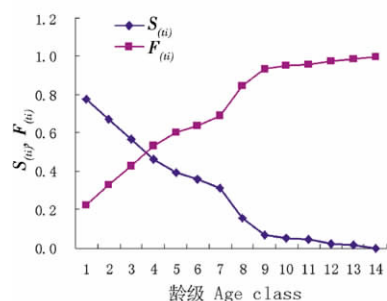
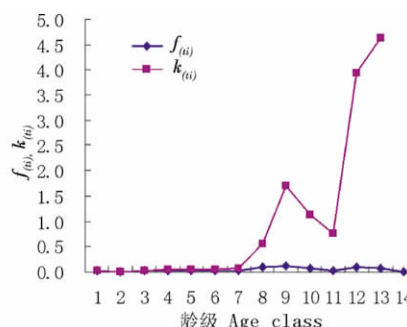
表1 小陇山油松种群的静态生命表

Table 1 Static life table of *Pinus tabulaeformis* Carr. population in Xiaolongshan

龄级 Age class	径级距 DBH class	a_x	a_x'	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
1	0 ~ 4	58	58	1000	6.908	224	0.224	888	4406	4.932	0.254
2	4 ~ 8	68	45	776	6.654	103	0.134	724	3527	4.871	0.143
3	8 ~ 12	38	39	672	6.511	103	0.154	621	2803	4.416	0.167
4	12 ~ 16	17	33	569	6.344	103	0.182	517	2182	4.219	0.201
5	16 ~ 20	23	27	466	6.143	69	0.148	431	1665	3.863	0.160
6	20 ~ 24	30	23	397	5.983	34	0.087	379	1234	3.253	0.091
7	24 ~ 28	21	21	362	5.892	52	0.143	336	855	2.542	0.154
8	28 ~ 32	18	18	310	5.738	155	0.500	233	518	2.227	0.693
9	32 ~ 36	9	9	155	5.045	86	0.556	112	286	2.548	0.811
10	36 ~ 40	4	4	69	4.234	17	0.250	60	174	2.876	0.288
11	40 ~ 44	2	3	52	3.946	7	0.141	48	113	2.354	0.152
12	44 ~ 48	1	2	44	3.794	19	0.423	35	35	0.999	0.550
13	48 ~ 52	4	1	26	3.244	8	0.328	21	30	1.402	0.397
14	52 ~ 56	2	1	17	2.847	—	—	9	9	1.000	—

DBH: 胸径; a_x : x 龄级开始时的存活数; a_x' : 匀滑后存活数; l_x : 标准化存活数; d_x : 各区间标准化死亡数; 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

DBH: Diameter at breast height; a_x : Survival number; a_x' : Smoothed value of a_x ; l_x : Standardized survival quantity; d_x : Death number; q_x : Mortality rate; L_x : Span life; T_x : Total life; e_x : Life expectancy; K_x : Vanishing rate

图4 油松种群生存率函数 $S_{(i)}$ 和积累死亡率函数 $F_{(i)}$ 曲线Fig. 4 Survival rate $S_{(i)}$ and cumulative mortality rate $F_{(i)}$ *Pinus tabulaeformis* Carr. Populations图5 油松种群死亡密度 $f_{(i)}$ 和危险率 $k_{(i)}$ 曲线Fig. 5 Mortality density $f_{(i)}$ and hazard rate $k_{(i)}$ functional curvesof functional curves of *Pinus tabulaeformis* Carr. populations

亡率基本相等,第8龄级后死亡率较高,成活数量迅速下降,环境筛选强度较大,第11~12龄级的存活数量下降趋势趋于稳定,第13~14龄级的成活数量再次出现迅速下降的趋势。

3.3 生存分析

油松的生存率随龄级增大呈单调递减,相应的积累死亡率呈单调递增,二者互补;生存率曲线和积累死亡率曲线都在前8龄级变化幅度较大;从第10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,下降或上升的幅度是前期、后期较大,中期平缓。说明油松种群在油松林中幼苗、幼树死亡率较高,老树稀少(图4,图5)。也可以看出油松林中油松种群为前期增长,中期平稳,后期衰退的类型。

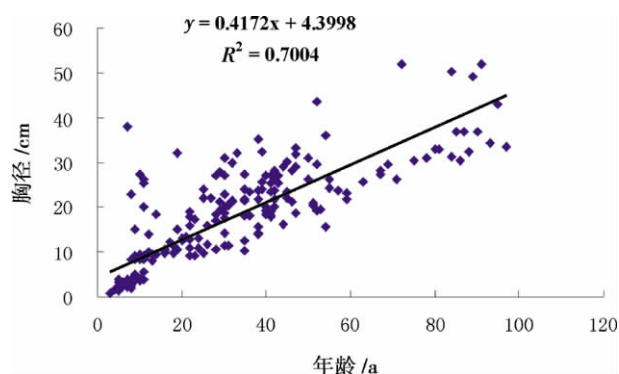


图6 油松个体胸径的年龄分布

Fig. 6 DBH distribution of *Pinus tabulaeformis* Carr. across ages

3.4 年龄与胸径回归分析

油松年龄与胸径之间的相关关系可表示为

$$Y = 4.3998 + 0.417x$$

$$Se \quad 0.5235 \quad 0.0154$$

$$R^2 = 0.7004$$

从方程回归结果来看,2个参数均在1%的水平上显著,因此,油松的年龄每增加1a,油松个体胸径增加0.417。模型的拟合优度为0.7004,显示了模型的解释程度较好(图6)。

4 结论与讨论

对小陇山国家级自然保护区油松的种群调查显示,该种群的年龄结构表现为稳定型,I级幼苗数量较少,II、III、V级数量相当,IV级成年树木数量较丰富。幼苗的产生受限于林窗的形成,幼苗、幼树难于在其成林下天然更新,因而在成林后就形成了现在的龄级结构。尽管油松种群在一定时间内保持相对稳定,随着时间的推移,种群将趋于老化。

油松的种群生命表显示,种群的存活曲线为Deevey-Ⅱ型,存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线及4个生存函数从整体上反映了油松种群数量的动态变化趋势,油松种群具有前期稳定、中后期锐减、末期衰退的特点。油松种群数量前期相对稳定,生长到一定阶段,种内和种间竞争的加剧导致其数量锐减;末期伴随着油松进入生理死亡年龄,种群逐渐衰退。

对油松年龄胸径线性回归分析表明,油松胸径与年龄线性相关。年龄每增长1a,胸径大约增加0.4cm。

对小陇山国家级自然保护区油松种群动态与已有的研究成果对比表明,油松种群具有相对的稳定性和天然更新的周期性,这与锐齿栎种群动态相一致^[10]。但林下更新层不足,难以维持种群的长期稳定,油松作为重要的林业树种,需要加强人工抚育促

进更新和幼树生长,这对于小陇山林业的可持续经营具有重要意义。

参考文献 (References)

- [1] Zou Niangen, Luo Weixiang. Loess Plateau silviculture [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995: 375 – 380 [邹年根, 罗伟祥. 黄土高原造林学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 375 – 380]
- [2] Xiao Yang. Silviculture [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 1998: 463 – 464 [肖扬. 林木培育 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 463 – 464]
- [3] Wang Guoxiang. Shanxi forest [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 141 – 148. About Pine [王国祥. 山西森林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 141 – 148]
- [4] Li Xiaoshuang, Peng Mingchun. Research progress on natural regeneration of plants [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2081 – 2088 [李小双, 彭明春. 植物自然更新研究进展 [J]. 生态杂志, 2007, 26(12): 2081 – 2088]
- [5] Cheng Tangren, Feng Jing. Linear compatible models of tree layer biomass of *Pinus tabulaeformis* plantations in Xiaolong Mountains. [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(3): 317 – 322 [程堂仁, 冯菁. 小陇山油松林乔木层生物量相容性线性模型 [J]. 生态杂志, 2008, 27(3): 317 – 322]
- [6] Suo Anning, Ju Tianzhen. Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu [J]. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica, 24(10): 1877 – 1881 [索安宁, 巨天珍. 甘肃小陇山锐齿栎群落生物多样性特征分析 [J]. 西北植物学报, 24(10): 1877 – 1881]
- [7] Department of Biology, Yunnan University. Plant ecology [M]. Beijing: People's Education Press, 1980: 195 – 196 [云南大学生物系编. 植物生态学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1980: 195 – 196]
- [8] Jiang Hong. *Picea crassifolia* population ecology [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 7 – 26 [江洪. 云杉种群生态学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7 – 26]
- [9] Zhang Qindi, Zhang Jintun. Life table and spectral analysis of *larix principis-rupprechtii* Populations in the Pangquangou Nature Reserve [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2010, 16(1): 1 – 6 [张钦弟, 张金屯. 庞泉沟自然保护区华北落叶松种群生命表与谱分析 [J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(1): 1 – 6]
- [10] Wang Qinhu, Ju Tianzhen. Study on the structure of *Quercus aliena* var. *acuteser* at a population in xiaolongshan Gansu [J]. Guihaia, 2006, 26(1): 38 – 42 [王勤花, 巨天珍. 甘肃小陇山锐齿栎种群结构分析 [J]. 广西植物, 2006, 26(1): 38 – 42]

The Regeneration and Survival of *Pinus tabulaeformis* Carr. Population in Xiaolongshan Nature Reserve

JU Tianzhen^{1,2}, MI Caiyan^{1,2}, SHI Hexiong^{1,2}, SONG Xiaowei^{1,2}, ZHANG Yanwen^{1,2}, ZHANG Songzhi³

(1. Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Province Biological Electrochemistry and Environmental Analysis Laboratory, Lanzhou 730070, China;

3. Forestry Research Institute of Xiaolong Mountains Forestry Experimental Bureau, Tianshui 741020, China)

Abstract The static life table of *Pinus tabulaeformis* Carr. populations in the Xiaolongshan Nature Reserve in Gansu was compiled based on the population life table and theory of survival analysis using the age class structure represented by DBH class and smoothing out technique. The survival rate curve, the mortality rate curve, vanishing rate curve and survival function curve were determined. Analysis of population dynamics. And DBH and its age, with linear regression analysis. The results showed: 1. *Pinus tabulaeformis* Carr. population Age structure were stable; 2. Pine mortality and disappearance rates of population trends are basically the same curve, and the survival curve of the populations was Deevey type II. Four survival functional curves showed that the *Pinus tabulaeformis* Carr. populations grew stably at young stage, decreased very quickly at mature stage and declined at old stage; 3. The age and DHB of *Pinus tabulaeformis* Carr. are linear regression.

Key words: *Pinus tabulaeformis* Carr.; population life table; age structure; regeneration