

灵空山油松种群年龄结构与动态分析

郭微¹, 上官铁梁^{1*}, 王志明², 李润强²

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 山西省灵空山自然保护区管理局, 山西沁源 046500)

摘要: 对山西灵空山自然保护区的油松 (*Pinus tabulaeformis*) 种群进行了调查, 利用生存分析理论及谱分析理论, 分析了油松种群径级结构和静态生命表, 绘制了存活曲线, 同时分析了种群数量的周期性。主要结果如下: (1) 油松种群幼苗幼树个体数较多, 中径级的个体数较稳定, 而高径级由于种间竞争及环境因子的影响, 个体数明显下降。(2) 油松种群的存活曲线呈现 Deevey-II 型。动态表现为前期增长, 中期稳定, 后期衰退。(3) 油松种群波动存在小周期, 但变化不大, 说明油松种群发展较为稳定。

关键词: 油松; 种群; 径级结构; 生命表; 存活曲线; 谱分析

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2013)02-0130-06

Population Structure and Dynamics of *Pinus tabulaeformis* in Lingkong Mountain of Shanxi Province

GUO Wei¹, SHANGGUAN Tie-Liang^{1*}, WANG Zhi-Ming², LI Run-Qiang²

(1. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Management Bureau of Lingkong Mountain Nature Reserve, Qinyuan, Shanxi 046500, China)

Abstract: In Lingkong Mountain, one four hectare plot was established for a field investigation of *Pinus tabulaeformis* populations. Based on survival and spectral analysis, size structure and static life tables were constructed, the curves of survival were drawn, and the periodicity of *P. tabulaeformis* population was analyzed. Results showed that the individual number of seedlings and saplings of *P. tabulaeformis* population were more than other levels of *P. tabulaeformis*. While the middle level of *P. tabulaeformis* was relatively stable, the high level of *P. tabulaeformis* was significantly reduced as a result of interspecific competition and environmental factors. The estimated survival curve roughly showed the form of Deevey-II. The *P. tabulaeformis* population fluctuation presented a minor but inconspicuous cycle. This showed that *P. tabulaeformis* development was steady.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; Population; Size-class structure; Life table; Survival; Spectral analysis

油松 (*Pinus tabulaeformis*) 在我国的自然分布区大约为 31°~44°N, 101°30'~124°25'E。油松对生境适应性强, 具有喜光、耐寒、抗旱的生态学特性, 适宜于我国北方广大地区生长, 常形成油松纯林或与山杨 (*Populus davidiana*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 等阔

叶树形成针阔混交林, 是暖温带山地植被常见类型。油松林是最具代表性的温性针叶林类型之一, 也是北方山地、丘陵地区森林生态系统的重要组成部分。山西省是天然油松林的主要分布地区, 灵空山省级自然保护区 (属太岳山国家森林公园的一部分) 有 100 多株油松个体树龄在百年以上, 其中一

收稿日期: 2012-06-11, 修回日期: 2012-10-26。

基金项目: 山西大学环境与资源学院生态环境课题组和灵空山省级自然保护区联合资助。

作者简介: 郭微 (1987 -), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: sgtl_55@163.com)。

株称为“九杆旗”的油松树龄达600多年,因此,太岳山素有华北地区“油松之乡”的美誉。对太岳山油松的研究已引起生态学、林学和地学等研究者的兴趣和重视,灵空山自然保护区是以保护天然油松林为重要目的的森林生态系统保护区,研究该地区油松种群特点和变化规律,对深入了解油松林的群落演替、区域生态系统稳定性和生物多样性保护均有重要科学价值。目前,对种群结构与动态的研究主要集中在对建群种和濒危种的研究^[1-3],而对油松的研究主要集中在子午岭^[4]、秦岭^[5]。虽然以往采用样地小样方的方法对太岳山油松林和油松种群进行过一些工作^[6-9],但尚未见采用大样地调查方法对油松进行每木调查的种群动态研究的报道。本研究旨在运用大样地调查方法,通过生命表的编制,从中分析出生率、死亡率等重要参数,说明灵空山油松种群在时间上的数量动态变化规律。

1 研究区自然概况

样地位于太岳山腹地灵空山自然保护区,地理坐标为36°33′28″~36°42′52″N,111°59′27″~112°07′48″E。境内群峰峥嵘,山峻坡陡,沟谷发育完好,地势起伏较大。属暖温带大陆性气候,一年中四季明显,春季多风干燥,夏季雨量集中,秋季少雨凉爽,冬季少雪干旱。根据保护区气象观测站气象资料,保护区年平均气温6.2℃,≥10℃的年积温3000℃,年日照2600 h,植物生长期110~125 d,年均降水量662 mm,主要集中在7、8、9三个月,占全年的74.8%,无霜期145 d左右,平均风速2.4 m/s。由于受海拔、地形和森林等多种因素的影响,区内空气湿度较大,形成了典型的山区小气候。区内土壤为石灰岩母岩上发育而成的山地褐土、山地淋溶褐土和山地棕壤。研究样地设置在灵空山省级自然保护区的实验区内。

研究区域植物区系成分复杂,植物群落类型较为丰富,主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)林、油松+辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林、山杨(*Populus davidiana*)林、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)灌丛、黄刺玫(*Rosa xanthina*)灌丛、榛(*Corylus heterophylla*)灌丛、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)+蒿类(*Artemisia* spp.)等。常见植物还

有杜梨(*Pyrus betulifolia*)、茶条槭(*Acer ginnala*)等。林下植物主要有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、金花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、披针叶苔草(*Carex lancifolia*)、小红菊(*Dendranthema chanelii*)、穿龙薯蓣(*Dioscorea nipponica*)、烟管头草(*Carpesium cernuum*)等。

2 研究方法

2.1 野外调查

在灵空山省级自然保护区实验区内,设置面积为4 hm²的样地。乔木群落取样的样方面积为10 m×10 m,共400个。对乔木群落样方内的乔木进行每木调查,记录种名、胸径(DBH)、基径等基本数据。同时记录各样地的海拔、坡向、坡度及土壤类型等环境因子。

2.2 数据分析

2.2.1 龄级结构划分

年龄结构是种群的重要特征,许多学者在研究中用大小(径级)结构分析法替代年龄结构,效果好^[10-12],本研究也采用径级结构分析的方法,将植株个体依胸径大小分级。在龄级划分时,把DBH在1 cm以下(包括1 cm)的幼苗记为1龄级,胸径1 cm以上的,每隔4 cm为一个龄级,共划分13个龄级。按以上标准分别统计其株数,以龄级为横坐标,以个体数为纵坐标,作灵空山天然油松林龄级结构图。

2.2.2 谱分析

谱分析方法可以揭示种群数量的周期性波动,是探讨林分分布波动性和年龄更替过程的周期性的数学工具^[13-15]。油松种群天然更新过程的动态是通过油松不同径级的株数分布波动表现的,谱分析携程正弦波形式为:

$$N_t = A_0 + \sum_{k=1}^p A_k \sin(\omega_k t + \theta_k)。$$

式中, A_0 为周期变化的平均; A_k ($k=1,2,3\cdots p$; $p=n/2$)为各谐波的振幅,表示其所起作用的大小,其值的差异反映了各周期作用大小的差别; p 为谐波的总个体数(已知); ω_k 及 θ_k 分别为谐波频率及相角; N_t 为 t 时刻种群的大小。

将种群各年龄个体分布视为一个时间系列 t ,以

X_t 表示年龄序列的个体数; n 为系列总长度; T 为正弦波的基本周期, 即时间系列 t 的最长周期, 用下式来估计 Fourier 分解中的各个参数, 即:

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t;$$

$$A_k^2 = a_k^2 + b_k^2;$$

$$\omega_k = 2\pi k / T;$$

$$\theta_k = \arctg(a_k / b_k);$$

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \cos \frac{2\pi k(t-1)}{n};$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \sin \frac{2\pi k(t-1)}{n}.$$

式中, a_k 、 b_k 为参数估计值。因油松各径级个体数量甚大, 在计算时进行了对数化处理, 即以 $X'_t = \ln(X_t + 1)$ 替换公式中的 X_t , 利用谱分析中的公式计算各种情况下各个波形的振幅 (A_k)。 A_1 为基波, $A_2 \sim A_7$ 为各个谐波。每个谐波的周期分别是基本周期的 $1/2, 1/3, \dots, 1/p$ 。

2.2.3 生命表编制

采用空间代替时间的方法, 即将林木依胸径大小分级, 从而把树木径级从小到大的顺序视为时间顺序关系, 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, 统计各龄级株树, 编制油松种群静态生命表, 进而分析其动态变化。计算公式如下:

$$l_x = (a_x / a_0) \times 1000,$$

$$d_x = l_x - l_{x+1},$$

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

$$L_x = (l_x - l_{x+1}) / 2,$$

$$T_x = \sum_{x}^{\infty} L_x,$$

$$e_x = T_x / l_x,$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x-1}.$$

式中, x 为龄级数, a_x 为在 x 龄级内现有个体数, a_0 为 a_x 的初始值; l_x 为在 x 龄级开始时标准化存活个体数(一般转化值为 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 龄级个体的生命期望寿命; K_x 为消失率。

3 结果与分析

3.1 龄级结构分析

以龄级为横坐标, 以个体数为纵坐标, 作油松龄级结构图(图1)。从图1中可以看出, 第1龄级($DBH < 1$ cm)和第2龄级($1 \text{ cm} \leq DBH < 5$ cm)的低龄级种群个体数量占明显优势, 占该种群个体总数的 40.6%。而第2龄级个体数达到种群各龄级的峰值。第4龄级($9 \text{ cm} \leq DBH < 13$ cm)到第8龄级($25 \text{ cm} \leq DBH < 29$ cm)个体数相差不大, 总体呈稳中下降的趋势。从第8龄级开始, 种群个体数持续下降。表明幼苗是维系油松种群稳定发展和持续更新的重要基础, 在生存竞争的过程中, 只有 37.8% 能够完成定居并繁衍种群, 成为相对稳定的中龄级种群个体, 随着个体竞争, 部分个体对环境胁迫的抗性降低, 进入高龄级后, 个体数逐渐减少。

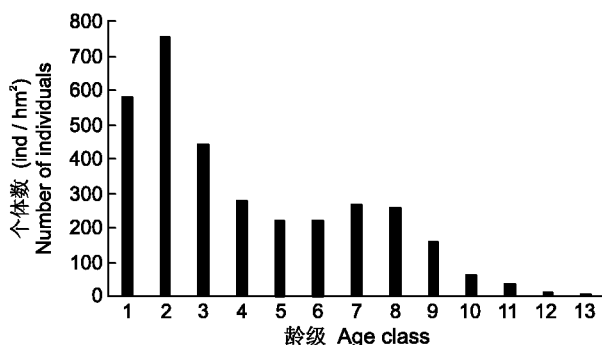


图1 灵空山油松种群龄级结构
(1~13个龄级划分详见表1)

Fig. 1 Age class structure of *Pinus tabulaeformis* population
(1~13 age class divided see Table 1)

3.2 生命表分析

由于静态生命表是反应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, 并且调查过程中可能存在系统误差, 在生命表中会出现死亡率为负的情况^[16], 因此本研究采用匀滑技术^[16,17]进行处理, 经匀滑修正后得出油松种群特定时间生命表(表1)。结果表明, 灵空山油松死亡率和危险率动态趋势基本相似, 累积死亡率在第3龄级($5 \text{ cm} \leq DBH < 9$ cm)和第9龄级($29 \text{ cm} \leq DBH < 33$ cm)最高; 存活数呈下降趋势, 从第9龄级开始明显下降, 表明灵空山油松 DBH 在 5~9 cm 和 29~33 cm 存活率较低, 9~29 cm

表 1 油松种群的静态生命表
Table 1 Static life of *Pinus tabulaeformis* population

龄级 Age class	径级 Range (cm)	组中值 Midpoint	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
1	0~1	0.5	577	635	1000	6.908	71	0.071	965	4552	4.552	0.074
2	1~5	3	753	590	929	6.834	71	0.076	894	3587	3.861	0.079
3	5~9	7	439	545	858	6.755	415	0.484	651	2693	3.139	0.661
4	9~13	11	278	281	443	6.094	38	0.086	424	2042	4.609	0.090
5	13~17	15	219	257	405	6.004	38	0.094	386	1618	3.995	0.099
6	17~21	19	222	233	367	5.905	38	0.103	348	1232	3.357	0.109
7	21~25	23	265	209	329	5.796	38	0.116	310	884	2.687	0.123
8	25~29	27	255	185	291	5.673	37	0.127	273	574	1.973	0.136
9	29~33	31	160	161	254	5.537	158	0.622	175	301	1.185	0.973
10	33~37	35	61	61	96	4.564	38	0.396	77	126	1.313	0.504
11	37~41	39	37	37	58	4.060	44	0.759	36	49	0.845	1.421
12	41~45	43	9	9	14	2.639	8	0.571	10	13	0.929	0.847
13	45~49	47	4	4	6	1.792	4	0.667	3.896	3	0.500	1.792

注: A_x —在 x 龄级内现有个体数; a_x — A_x 修正值; l_x —在 x 龄级开始时标准化存活个体数; $\ln l_x$ — l_x 对数化; d_x —从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数; q_x —从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内死亡率; L_x —从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内还存活的个体数; T_x —从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数; e_x —进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命; K_x —消失率。
Notes: A_x , Existing number of x age grade; a_x , Correction value of A_x ; l_x , Standardized number of survivors at the beginning of x age grade; $\ln l_x$, Nature logarithm of l_x ; d_x , Standardized number of mortality from x to $x+1$ age grade; q_x , Mortality from x to $x+1$ age grade; L_x , Number of survivors from x to $x+1$ age grade; T_x , Individual number between x age grade and surpassing x age grade; e_x , Life expectation of individual in x age grade; K_x , Disappearance rate.

比较稳定,41~49 cm 由于种间竞争,种群结构趋于稳定,生命期望极大值与死亡密度极小值相对应。

3.3 油松种群的存活曲线

存活曲线能够直观地反映种群个体在各龄级的存活状况,它是借助于特定年龄组的存活个体数量相对时间作图描述种群动态的常用分析方法^[2]。Deevey(1947)把存活曲线分成3个类型^[18],Ⅰ型是凸曲线,表示种群绝大多数都能活到该物种生理年龄,早期死亡率较低,但当活到一定生理年龄时,短期内全部死亡;Ⅱ型是直线,也称对解线型,表示种群各年龄的死亡率基本相同,可视为稳定种群;Ⅲ型是凹曲线,早期死亡率较高,一旦存活到某一年龄,死亡率就较低,可视为增长种群。

以径级为横坐标,以存活量为纵坐标,绘制油松种群的存活曲线(图2)。从图2可以看出,以标准化存活量为起点,油松种群存活曲线从第3龄级开始存活数总体呈下降趋势,第4~第9龄级死亡率基本趋于一致,第9龄级之后死亡率明显升高。说明油松种群由于林下实生苗较多,因此低龄级存活率较高,中龄级存活率基本趋于稳定状态,高龄级由于对环境适应性下降及竞争的影响使其衰退,存活率明显下降。从整体上看,油松种群的存活曲线介于Deevey-Ⅱ和Deevey-Ⅲ型之间。这里采用两种

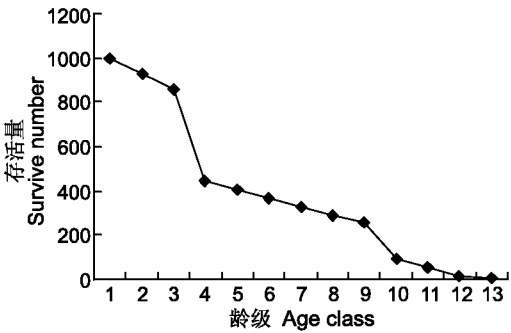


图 2 油松种群存活曲线

Fig.2 Survival curve of *Pinus tabulaeformis* population

模型对油松种群存活曲线类型进行检验,经建立其相应模型得到:

$$N_x = 3490.527e^{-0.403x}$$
$$(F = 53.089, R = 0.917, p < 0.01);$$
$$N_x = 3520.384x^{-2.222}$$
$$(F = 20.817, R = 0.822, p < 0.01)。$$

由于指数模型的 F 检验值及相关系数 R 值均大于幂函数模型的 F 检验值和相关系数 R , 因此可以认为油松种群存活曲线更趋于 Deevey-Ⅱ型。种群动态表现为前期增长,中期稳定,后期衰退的特点。

种群死亡率曲线反映种群死亡率的动态变化过程,以死亡率为纵坐标,以年龄级为横坐标,绘制油

松种群的死亡率曲线及亏损率曲线(图 3)。

从图 3 可知油松种群死亡率曲线及亏损率曲线基本一致,反应了油松种群的一般特征:在第 1~第 2 龄级时,损失度较低,表明此时油松幼苗幼树生长和竞争能力较强,受到环境筛选的影响较小;从第 4~第 8 龄级波动基本不大,死亡率变化比较稳定;从第 8 龄级开始死亡率呈曲折上升趋势,到第 9 龄级和第 11 龄级($37\text{ cm}\leq\text{DBH}<41\text{ cm}$)时呈两个死亡小高峰,这是由于第 9 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,所以死亡率曲线变化较大,死亡率较高;随着种群进入生理衰老期,在第 13 龄级($45\text{ cm}\leq\text{DBH}<49\text{ cm}$)时损失度达到最大值。

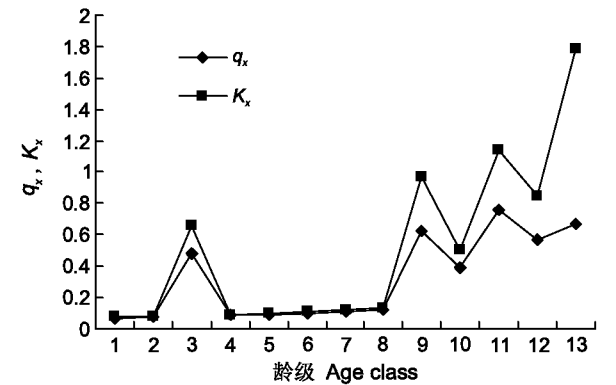


图 3 油松种群损失度 (K_x) 和死亡率 (q_x) 曲线
Fig. 3 Killing power (K_x) value curve and mortality rate (q_x) curve of *Pinus tabulaeformis* population

3.4 谱分析

油松种群天然更新过程是通过油松不同径级的株数分布波动表现的,依据谱分析方法,得到油松种群各谐波,其结果见表 2。灵空山油松种群更新的动态,是通过油松种群不同龄级的株数分布波动表现的。由表 2 中求出的振幅值 A_k 来看,油松种群天然更新有明显波动,其基波 A_1 最小,基波表现了油松种群最基本的周期波动,其波动周期长度为种群本身所固有的,由种群波动特性所决定,说明油松种群的数量动态变化过程受基波影响并不明显。而与天然更新过程的周期波动一样,油松生长动态也表现出个别小周期波动,如表 2 中的 A_4 值,说明此时为一个小周期,这种小周期的波动与油松种群的生长特性及天然更新有关,有利于油松种群进行数量调节,维持其自身的稳定。但小周期的波动并不明

表 2 油松种群的周期性波动
Table 2 Periodic fluctuation of *Pinus tabulaeformis* population

谐波 Harmonic	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
振幅 (A_k) Amplitude value	0.080	0.380	0.270	0.245	0.382	0.542	0.422

注: A_k 为各谐波的振幅 ($k=1,2,3\cdots p$; $p=n/2$)。
Note: A_k is the amplitudes of all harmonics ($k=1,2,3\cdots p$; $p=n/2$)。

显,说明灵空山油松种群的发展过程较为平稳。

4 讨论

根据灵空山油松种群生命表分析表明,其种群死亡率高峰出现在第 3、第 9、第 11 龄级的年龄阶段,其种群动态为前期增长、中期稳定、后期衰退,这与霍山油松种群动态基本一致^[9],但与其不同之处在于,苗艳明^[9]的研究认为,高龄级的油松是由于进入生理衰老期而个体数减少,而本研究认为除此原因之外,还由于种群的个体竞争关系,结构趋于稳定,构成了群落主体,因而高龄级数量下降。

根据存活曲线分析,灵空山油松种群的存活曲线呈 Deevey-II 型,与黄土高原马栏林区油松种群动态分析^[19]和乌拉山自然保护区油松种群结构研究^[20]结果相同,却与以往一些学者^[5,21]研究的油松种群呈 Deevey-II 型不同。这是由于选取样地的立地条件不同及调查方法存在差异而产生了不同结果。但油松生长情况会根据气候降水等环境因子的变化而变化,因此今后灵空山油松群落的发展状况尚未有定论,还需进一步调查研究。

根据谱分析,灵空山油松种群天然更新存在明显波动,但受基波影响较小,与一些学者对油松种群数量动态受基波的影响明显的研究结果^[5,19]不同,但本文对油松死亡率曲线的研究结果与之相呼应。说明虽然灵空山存在一定数量的油松幼苗,对于维系油松种群的稳定和发展有良好的基础,但由于生长到一定高度之后,生境的郁闭度降低,会引来一些喜阴的植物入侵并定居,油松种群的自疏作用使得死亡率在第 3 龄级升高,但是在相当长的一段时间内,这种自疏作用并不强烈,因此在第 4 到第 9 龄级之间油松种群数量处于相对稳定的状态。在第 9 龄级之后,随着个体的不断长大,个体间的竞争增大,

林内光照、水分、养分、空间等环境因子不能充分满足其生长要求,种间竞争变得剧烈,因而出现了另一个死亡高峰。所以在对种群及群落管理与保护中,不仅要同时对种群本身进行管理,对环境的管理与保护同等重要。

灵空山自然保护区作为山西省天然油松林的分布中心,加大对该地区油松天然林的抚育,有利于营造该地区良好的生态环境,有利于为其他植被的恢复创造条件,对于灵空山的森林生态系统和生物多样性的保护具有重要意义,同时对于森林的持续经营、合理开发、促进森林生长和加强森林保护也具有一定的意义。

参考文献:

- [1] 闫桂琴,赵桂仿,胡正海,岳明. 秦岭太白红杉种群结构与动态的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 824-828.
- [2] 刘金福,洪伟,吴则焰,等. 孑遗植物水松 (*Glyptostrobus pensilis*) 种群生命表和谱分析[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(3): 259-263.
- [3] 封磊,洪伟. 珍稀濒危植物南方铁杉种群动态研究[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(5): 401-405.
- [4] 崔长美,王孝安,郭华,等. 子午岭林区天然油松林的种群结构与动态[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 111-117.
- [5] 蔺雨阳,王得祥,雷瑞德,等. 秦岭西段天然油松种群的数量特征研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 180-185.
- [6] 宋朝枢. 山西太岳山油松形态特征与类型的初步研究[J]. 林业科学, 1979, 15(2): 153-156.
- [7] 张笑菁,赵秀海,康峰峰,等. 太岳山油松天然林林木的空间格局[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4821-4827.
- [8] 马晓勇,上官铁梁,庞军柱. 太岳山森林群落油松种群生态位研究初探[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2004, 27(2): 209-212.
- [9] 苗艳明,刘任涛,毕润成. 山西霍山油松种群结构和动态研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(3): 288-293.
- [10] 蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 67-72.
- [11] Knowles P, Grant M C. Age and size structure analysis of Engelmann spruce, population ponderosa pine, lodgepole pine, and limber pine in Colorado[J]. *Ecology*, 1983, 64: 1-9.
- [12] Parker A J, Peet R K. Size and age structure of conifer forest[J]. *Ecology*, 1984, 65: 1685-1689.
- [13] 伍业钢,韩进轩. 阔叶红松林红松种群动态的谱分析[J]. 生态学杂志, 1988, 7(1): 19-23.
- [14] 吴明作,刘玉萃. 栓皮栎种群数量动态的谱分析与稳定性[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 23-26.
- [15] 刘金福,洪伟. 格氏栲种群数量动态的谱分析研究[J]. 生物数学学报, 2003, 18(3): 357-363.
- [16] 刘金福,洪伟. 格氏栲种群增长动态预测研究[J]. 应用与环境生物学, 1999, 5(3): 247-253.
- [17] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7-139.
- [18] 孙儒泳,李博,诸葛阳,尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 59-66.
- [19] 田丽,王孝安. 黄土高原马栏区油松种群动态分析[J]. 陕西农业科学, 2011, 27(2): 191-196.
- [20] 胡尔查,王晓江,刘永宏,等. 乌拉山自然保护区油松种群结构与分布格局研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 363-369.
- [21] 张峰,上官铁梁. 山西云蒙山油松种群的年龄结构和动态特征[J]. 武汉植物学研究, 1992, 10(4): 321-324.
- [22] 闫淑君,洪伟,洪滔,等. 台湾相思种群生命过程及谱分析[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(5): 439-443.

(责任编辑: 张平)