

山西稀有濒危植物山核桃种群动态与谱分析

刘任涛¹, 毕润成^{1*}, 闫桂琴²

(1. 山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004; 2. 山西师范大学生物多样性研究所, 山西临汾 041004)

摘要: 通过对山西霍山山核桃(*Juglans mandshurica* Maxim)种群的样地调查, 分析了山核桃种群的密度变化规律; 利用生存分析理论, 编制了静态生命表, 绘制了存活曲线, 分析了生存函数变化; 同时应用谱分析方法分析种群数量的周期性变化。结果表明: (1) 山核桃的平均密度随径级的增加而减少, 反映了密度与径级之间存在着一种负相关性。(2) 山核桃种群存活曲线的变化趋势经统计检验更接近 Deevey II 型。(3) 积累死亡率单调上升, 生存率呈单调下降趋势, 上升或下降幅度是前期高于后期, 说明山核桃种群前期死亡率高, 而种群后期则相对稳定。(4) 谱分析说明在山核桃的种群自然更新过程中存在周期性, 但基本周期时间比较长。(5) 主要致濒原因是人为干扰破坏, 因此迫切需要采取有效措施加强对这一种群的恢复和保护。

关键词: 山核桃; 种群密度; 生命表; 生存分析; 谱分析; 霍山

中图分类号: Q948.12*1

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2007)03-0255-06

Population Dynamics and Spectral Analysis of Rare-endangered Plant *Juglans mandshurica* in Shanxi Province

LIU Ren-Tao¹, BI Run-Cheng^{1*}, YAN Gui-Qin²

(1. School of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China;

2. Institute of Biodiversity Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

Abstract: Based on the field data about *Juglans mandshurica* population and the theory of survival analysis and spectral analysis, the regulation of size-class and changing density was analyzed, and the static life table, the curves of survival, death, cumulative mortality rate, mortality density, hazard rate and killing valuable are drawn in this paper. At the same time, the population dynamics by spectral analysis were analyzed. The results showed: (1) the average density of *J. mandshurica* dropped with the increase of size-class, which reflected the negative association between density and size-class; (2) by F test, the curve of survival individuals tended to be the type Deevey II; (3) the monotony of cumulative mortality rate increases, while that of survival function decreases. The change of increase and decrease is that the beginning is higher than the later. This shows that in the beginning the mortality rate is higher, while at the later stage the population is relatively stable; (4) a regularity of periodic fluctuation in the process of natural regeneration of *J. mandshurica* population, while the basical regularity of periodic fluctuation was longer. (5) the main endangered cause is the disturbance by man. So it is very urgent to take efficient measures to protect and recover the endangered species.

Key words: *Juglans mandshurica*; Density; Life table; Survival analysis; Spectral analysis; Huo Mountain

山核桃(核桃楸)(*Juglans mandshurica*), 属胡桃科(Juglandaceae)核桃属植物, 中国特有种, 系国家三级、山西省一级保护珍稀濒危植物^[1,2]; 它起源于第三纪及白垩纪, 是被子植物中较古老的类群之一^[1,2]。山西南部是该植物的分布中心, 主产于太岳山、中条山和吕梁山等地^[2]; 在东北、西北、华北及河南省、山东省有零星分布。由于受人为干扰和

病虫害的破坏, 致使其分布面积日趋减少。因此, 加强保护迫在眉睫, 深入研究其种群动态, 探讨种群发生发展的影响因子是非常必要的。但由于该植物大都零散分布于落叶阔叶杂木林中, 纯群落极少见, 因而难以引人注目, 迄今尚未有专门的研究报道。鉴于此, 我们通过对山西霍山地段的山核桃种群样地调查, 用种群生命表及生存分析理论对其种群动

收稿日期: 2006-10-20, 修回日期: 2006-12-20。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470296); 山西省自然科学基金资助项目(20031090)。

作者简介: 刘任涛(1980-), 男, 河南邓州人, 硕士研究生, 主要从事暖温带群落与种群生态学研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: sxnu2008@126.com)。

态进行研究,并进一步探讨谱分析在山核桃种群数量动态分析中的适用性,旨在分析山核桃生长过程中的动态变化规律,为山核桃种群恢复、物种保护及资源合理利用等提供理论依据。

1 研究地区概况

研究样地选择在山西省太岳山南端的霍山东坡七里峪林场,其分布有山核桃天然种群。霍山属太岳山主峰,最高海拔 2354 m。地理位置为 $36^{\circ}21' \sim 36^{\circ}45'N$, $111^{\circ}40' \sim 112^{\circ}20'E$,山脉大致成东北—西南走向。霍山的气候、土壤、地质、地貌等环境状况已有论述^[3,4]。七里峪林场位于霍山的北部腹地,东接沁源县的灵空山,北连灵石县的石膏山和介休市绵山,地理位置为 $36^{\circ}37' N$, $112^{\circ}00' E$,海拔 1540 m。年平均气温 $10^{\circ}C$,最低温 $-5^{\circ}C$,最高温 $25^{\circ}C$ 。年降雨量 353 ~ 689 mm。无霜期 170 ~ 230 d。

山核桃在调查区形成单优群落,高达 10 ~ 20 m,可分为乔木、灌草、草本、地被等 4 层。适生于海拔 1000 ~ 1700 m 之间的谷地中,土壤潮湿肥厚的地段。山核桃为大型羽状复叶植物,和青麸杨(*Rhus potanini*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、野漆树(*Rhus succedanea*)叶型相同,均属喜温的阳性植物。山核桃群落具有较高的物种多样性指数,表征了该群落结构的复杂性和群落发展的相对稳定性^[4]。

2 研究方法

2.1 数据收集

在霍山七里峪林场周围沟谷地带、山核桃种群分布相对集中的地段设置样地,共 9 个,沿海拔(1500 ~ 1780 m)分布。调查面积为 1.7 hm²。用每木调查法进行种群学调查,测定胸径、树高,计数幼苗幼树,包括萌生苗和实生苗。共统计了 2014 株。样地内山核桃种群是自然更新,样地内有人为砍伐情况,记录伐桩直径、个数,并在每一样地记录海拔、地理坐标、坡向等生境指标。

2.2 径级划分方法

由于树木生长周期长,不可能追踪所有个体命运,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,但由于测定每一种群个体的实际年龄较为困难,许多学者在研究工作中用径级结构法替代年龄结构,效果良好^[5-7];本研究也采用该方法。在径级划分时将高度小于 1 m 的幼苗按 I 级记;高度大于 1 m(胸径大于 5 cm)的按胸

径划分径级,每隔 5 cm 为一级^[8,9]。5 ~ 10 cm 为第 II 径级,10 ~ 15 cm 为第 III 径级,……,依此类推,45 ~ 50 cm 为第 X 径级。共划分为 10 个径级。

2.3 密度分析

分别按径级统计样地山核桃的个体数,建立个体数随径级变化的函数。实际计算中,将调查数据换算为每公顷的种群密度,然后进行平均并以此种群密度代替个体株数进行分析计算。同时应用 SPSS 统计学软件,进行山核桃种群平均胸径^[8,9]与相对密度的相关分析。

2.4 生命表编制

根据山核桃种群的不同径级个体数,编制静态生命表。计算公式如下:

$$l_x = a_x / a_0 \times 1000; \quad q_x = d_x / l_x \times 100\%;$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2; \quad T_x = \sum_{i=1}^{\infty} l_x;$$

$$e_x = T_x / l_x; \quad K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1};$$

$$\hat{S}_i = \hat{p}_1 \hat{p}_2 \cdots \hat{p}_i; \quad \hat{F}_i = 1 - \hat{S}_i$$

$$\hat{f}(t_i) = \frac{\hat{S}_{i-1} - \hat{S}_i}{h_i} = \frac{\hat{S}_{i-1} - \hat{q}_i}{h_i};$$

$$\hat{\lambda}(t_i) = \frac{\hat{f}(t_i)}{\hat{S}(t_i)} = \frac{2 \hat{q}_i}{h_i (1 + \hat{p}_i)}$$

式中, a_x 为匀滑后 x 径级内现有个体数; l_x 为在 x 径级开始时标准化存活个体数(一般转化为 1000); d_x 为从 x 到 $x+1$ 径级间隔期间死亡数; q_x 为从 x 到 $x+1$ 径级间隔期间死亡率; L_x 为从 x 到 $x+1$ 径级间隔期间还存活的个体数; T_x 为从 x 径级到超过 x 径级的个体总数; e_x 为进入 x 径级个体的生命期望寿命; K_x 为消失率(损失度)^[8-12];4 个生存函数^[13-15]为: S_i —生存函数、 F_i —积累死亡率函数、 $f(t_i)$ —死亡密度函数、 $\lambda(t_i)$ —危险率函数, h_i 为区间长度。

2.5 谱分析方法

谱分析方法可以揭示种群数量变动的周期性波动,而波动出现于所有的植被中。天然更新过程是不同林分或同一林分内不同年龄林木的更替过程。谱分析则是探讨这种分布的波动性和年龄更替过程的周期性的数学工具^[16]。山核桃种群天然更新过程的动态是通过山核桃不同径级的株数分布波动表现的。有关谱分析方法见文献[16-19]。

谱分析是 Fourier 级数的展开。Fourier 证明过复杂的周期现象可以由不同振幅和相应的谐波组成,写成正弦波形式:

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

式中, A_0 为周期变化的平均; A_k ($k = 1, 2, 3, \dots, p$) 为各谐波的振幅, 标志其所起的作用大小, 其值的差异, 反映了各周期作用大小的差别; ω_k 及 θ_k 分别为谐波频率及相角; N_t 为 t 时刻种群大小。将种群各年龄个体分布视为一个时间系列 t , 以 X_t 表示 t 年龄序列时个体数; n 为系列总长度; $p = n/2$ 为谐波的总个体数为已知; T 为正弦波的基本周期即时间系列 t 的最长周期, 即资料的总长度, 这里 $T = n$ 是已知的。则可以利用下式来估计 Fourier 分解中的各个参数, 即:

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t; \quad A_k^2 = a_k^2 + b_k^2;$$

$$\omega_k = 2\pi k/T; \quad \theta_k = \arctg(a_k/b_k);$$

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

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

3 结果与分析

3.1 密度的径级分布分析

以径级为横坐标, 以个体数/hm² 为纵坐标, 绘制山核桃种群的密度径级分布图(图1)。结果表明, 0~5 cm 径级种群密度最大, 随后种群密度急剧降低; 10 cm 径级之后种群密度随径级的增大而缓慢降低; 30 cm 径级以后, 种群密度降至最低。

从整体上看, 山核桃种群平均密度随径级的增加而减少, 反映了密度与径级之间的一种负相关性。 r 值客观的反映了这种相关的程度, 计算得相关系数 $r = -0.6505$ ($p < 0.05$)。密度的这种变化说明邻接

效应(edge effect)对种群的生长和发展影响比较大。

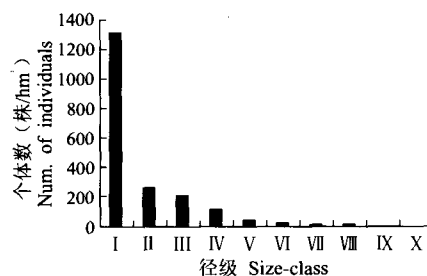


图1 山核桃种群密度径级分布

Fig. 1 Density distribution of size class of *Juglans mandshurica* population

3.2 生命表分析

在生命表的编制中出现了死亡率为负的情况, 对此, 作者采取匀滑技术^[11]进行修正, 然后, 再根据此编制出山核桃种群静态生命表(表1)。

静态生命表反映了山核桃种群生死的基本规律。山核桃种群个体的存活数随着径级的增加而降低。最高死亡率是在 I、IV、IX 和 X 径级。山核桃种群 I 径级死亡率高与环境筛的选择强度有很大关系, 影响幼苗的成活率, 另外人畜践踏破坏也是一个很重要的原因; IV 径级死亡率较高与种内、种间竞争有关; IX 和径级死亡率达最高, 与人为砍伐和生理衰老有很大关系。因此, 在 IX 和 X 径级种群损失度和危险率也达到最大值。

种群死亡率、损失度和危险率动态趋势基本相似。积累死亡率单调增加, 生存率单调下降, 其增加或下降幅度是前期高, 中后期低, 说明山核桃种群在径级 III 之前死亡数较多, 之后保持相对稳定。积累死亡率函数 F_t 、死亡密度函数 $f(t)$ 和危险率函数 $\lambda(t)$ 值见表 2。

表1 山核桃种群静态生命表
Table 1 Static life table of *Juglans mandshurica* population

径级 Size-class	径级距 (cm) Range	组中值 Midpoint	A_x	a_x	l_x	$\log l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
I	0~5	2.5	1315	1315	1000	3.000	799	0.799	600	1035	1.035	0.697
II	5~10	7.5	264	264	201	2.303	36	0.179	183	435	2.167	0.085
III	10~15	12.5	217	217	165	2.218	77	0.467	127	252	1.527	0.273
IV	15~20	17.5	116	116	88	1.945	52	0.591	62	126	1.432	0.388
V	20~25	22.5	47	47	36	1.556	18	0.500	27	64	1.778	0.301
VI	25~30	22.5	22	22	18	1.255	6	0.333	15	37	2.056	0.176
VII	30~35	32.5	15	15	12	1.079	3	0.250	11	22	1.833	0.125
VIII	35~40	37.5	15	11	9	0.954	4	0.444	7	11	1.222	0.255
IX	40~45	42.5	1	6	5	0.699	4	0.800	3	4	0.800	0.699
X	45~50	47.5	2	1	1	0.000	1	1.000	1	1	1.000	0.000

注: A_x 为种群实际存活数, a_x 为匀滑后个体数, 其它与 2.4 中相同。

Notes: A_x as the real survival numbers; a_x as smoothed numbers; and the others are the same as that in Method 2.4.

表 2 山核桃种群 4 个生存函数估计值
Table 2 Estimated values of four survival functions

径级 Size-class	径级距 (cm) Range	组中值 Midpoint	S_i	F_i	$f(t_i)$	$\lambda(t_i)$
I	0~5	2.5	0.201	0.799	0.160	0.384
II	5~10	7.5	0.165	0.835	0.007	0.131
III	10~15	12.5	0.088	0.912	0.015	0.286
IV	15~20	17.5	0.036	0.964	0.010	0.333
V	20~25	22.5	0.018	0.982	0.004	0.300
VI	25~30	22.5	0.012	0.988	0.001	0.222
VII	30~35	32.5	0.009	0.991	0.000	0.175
VIII	35~40	37.5	0.005	0.995	0.000	0.277
IX	40~45	42.5	0.001	0.999	0.000	0.384
X	45~50	47.5	0.000	1.000	0.000	0.400

注: S_i 、 F_i 、 $f(t_i)$ 、 $\lambda(t_i)$ 均与 2.4 中相同。
Notes: S_i , F_i , $f(t_i)$, and $\lambda(t_i)$ are all the same as that in Method 2.4.

期望寿命(e_x)反映的是个体的平均生存能力^[20]。种群在 VI 径级以前时平均期望寿命达到最大(表 1),表明此阶段种群的生存质量较好,生理活动达到旺盛期。随着径级的增加, e_x 值下降,说明随着山核桃个体的生长发育,其生存力逐渐下降。此外,由于密度增加,个体间竞争增加,单位面积承载力接近极限也是原因之一。

3.3 存活曲线

存活曲线和死亡曲线是特定年龄存活率和死亡率对径级的相关曲线,曲线的走势反映了生存率和死亡率随年龄的变化状况,是反映种群动态的重要特征,这是生物物种长期自然选择而成的^[11,16]。本研究用存活量为纵坐标,以径级表示的龄级为横坐标得图 2。

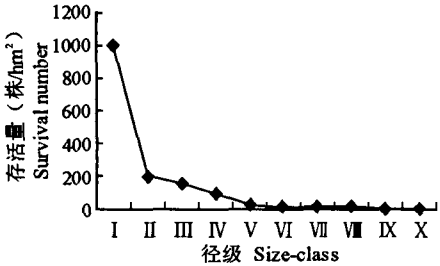


图 2 山核桃种群存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Juglans mandshurica* population

调查样地海拔 1500~1780 m,是霍山水热组合较好的地带,有利于幼苗个体的生长,幼苗存活数较多,种群具有扩展潜力; I~II 径级存活数急剧下降,环境条件对幼苗幼树的生存表现出很大的影响; II~VI 存活数缓慢降低,幼树阶段向营养发育阶段过渡相对平衡,但也有一定的强度筛选; VI 径级之后

随径级增加,存活数在较低水平上保持平稳,林分逐渐向成熟过渡,群落的发展就显现出相对稳定性。这些说明濒危植物并不是所有种群都呈衰退特征,只要改善环境条件,加强保护与管理,种群恢复与扩展是有希望的; VI~X 径级个体均存在,说明种群具有较长的生殖期,未来经营措施中需要注意保护这些有生殖能力的个体。

将霍山山核桃种群存活曲线与适用性很强的 Deevey 存活曲线^[16]叠加(图 2)后发现,山核桃种群的存活曲线介于 Deevey II 和 III 型曲线之间。Hett 和 Loucks 在检验估算的存活状况是符合 Deevey II 型曲线还是符合 Deevey III 型曲线时,采用两种数学模型进行检验,即指数方程式 $N_x = N_0 e^{-bx}$,用以描述 Deevey II 型存活曲线;幂函数式 $N_x = N_0 x^{-b}$ 描述 Deevey III 型存活曲线^[10,16]。这里采用上述两种模型进行山核桃种群存活曲线类型的检验,经建立其相应模型得到:

$$N_x = 862.8740 e^{0.132330x}$$
$$(r^2 = 0.96877, F = 248.14442, \text{Sig. } F = 0.0000)$$
$$N_x = 14439.51 x^{2.078746}$$
$$(r^2 = 0.87542, F = 56.21647, \text{Sig. } F = 0.0001)$$

通过 F 检验, F 相伴概率 p 均小于 0.001,回归方程均成立,但由于指数模型的 F 检验值及相关指数 r^2 值均大于幂函数模型的 F 检验值和相关指数 r^2 值,因此,可以认为山核桃种群存活曲线更趋于 Deevey II 型。

3.4 谱分析

3.4.1 数据处理

数据长度 n 即为所分径级数,以 $n \times 5$ 表示基波的基本周期年限。因所用资料各径级个体数量相差甚大,在计算时进行了对数化处理,即以 $X_1 = \ln(X_i + 1)$ 代换公式中的 X_i ,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 ($k = 1, 2, 3, \dots, p$; $p = n/2$),结果见表 3。 n 为数据总长度, A_1 为基波, $A_2 \sim A_5$ 为各个谐波。

表 3 山核桃种群的周期性波动
Table 3 Periodic fluctuation of *Juglans mandshurica* population

参数 Parameter	1	2	3	4	5
a_k	0.755	0.503	0.819	0.875	0.900
b_k	1.791	0.857	0.467	0.224	0.000
A_k	1.943	0.994	0.942	0.903	0.900

注: a_k 、 b_k 为参数估计值, A_k 为各谐波的振幅。
Notes: a_k , b_k as parameters estimated; A_k as the amplitudes of all harmonics.

由表3可知,几个周期均比较明显,其中 A_1 是反映胸径为50 cm左右时的周期; A_2 反映胸径为25 cm左右的周期; A_3 反映胸径为17 cm左右的周期等等,以此类推。根据谱分析的结果分析,山核桃种群数量动态是存在周期性的,且所表现出的波动不是单一周期,而是由两个以上的周期迭加,即大周期内有小周期。

3.4.2 基波的影响及基波周期下的小周期波动

基波表现了基本周期的波动,其周期长度为种群本身所固有,由种群波动特性决定。在 A_k 值中以 A_1 为最大,占到34.20%,基波的影响很明显,表明基波对山核桃种群的数量动态变化过程有较大影响。其时间长度随调查资料的最大年龄而变动,未能反映出波动的固有周期。所调查的山核桃种群年龄不够大,最大胸径为(10×5) cm,时间系列长度未足够长到表现出基本周期,林分尚未达到成熟阶段,不能表现出明显的固有波动周期长度,但其存在性是肯定的。

小周期波动是指那些较短周期长度的波动。由于调查数据未能够长到表现出基本周期,小周期波动也不能显示出来,从图3中可以看出,种群周期性波动也未表现出小周期。

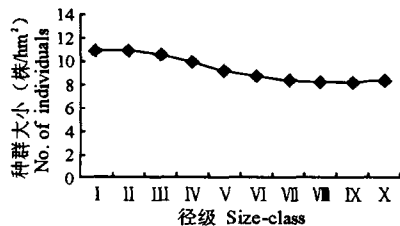


图3 山核桃种群周期性变化趋势
Fig. 3 Trend of changing period in *Juglans mandshurica* population

4 结论与讨论

山西霍山山核桃种群的密度、生命表、存活曲线和死亡曲线是种群生物学特性与环境因素共同作用的结果^[20-22]。本研究结果表明,山核桃种群幼苗数量丰富,种群有扩展趋势。密度径级分布及死亡曲线研究表明,不同径级的山核桃个体死亡率受其密度强烈影响,这与山核桃喜光特性关系密切^[4]。因此,山核桃造林后,在保护种群的同时,应适度地进行抚育间伐,这样不仅有利于山核桃种群的发展,也有利于果实产量提高。

山核桃种群存活曲线经统计检验更接近 Devey II 型,即在林分逐渐成熟过程中,群落的发展趋

于相对稳定。谱分析结果揭示出山核桃种群存在着周期性,并且基本周期比较长,与其天然更新过程周期性长短相呼应,这反映了山核桃种群动态的周期波动特征,其因果关系尚待进一步研究。但证明山核桃种群天然更新过程需要很长时间,这也是山核桃群落结构复杂性和发展相对稳定性特征^[4]。

综合分析山西霍山山核桃种群动态和谱变化的特征及规律,山核桃种群动态发展具有相对的稳定性,天然林可以得到扩展,不过天然更新时间比较长,破坏后恢复困难。由于山核桃种群的现状是人为乱砍、乱伐严重,种群数量急剧减少,处于濒危状态,在实际调查中发现,100 m²样方内15~25 cm基径的伐桩可达11个之多。因此,阻止对其生态环境的破坏,对现存种群禁止乱砍乱伐,建立保护区;创造多种迁地保护措施;大力开展人工栽植,扩大种群分布区和种群数量,加强对这一濒危物种的有效保护就具有重要意义。

致谢: 苏俊霞老师对野外工作和论文写作给予了指导,张钦弟、杨志芳、张后霞、李亚莉、翟静娟、安志鹏等研究生参加野外工作,谨表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 宋朝枢,徐荣章,张清华. 中国珍稀濒危保护植物[M]. 北京: 中国林业出版社,1989. 100-103.
- [2] 上官铁梁,马子清,谢树莲. 山西省珍稀濒危保护植物[M]. 北京: 中国科学技术出版社,1998. 20-21.
- [3] Bi R C(毕润成). Principal components analysis on forest vegetation of Huoshan Mountain in Shanxi Province[J]. *J Shanxi Normal University* (山西师范大学学报), 1992, 6(3): 49-54.
- [4] Bi R C(毕润成). Ecological feature and floral analysis of *Juglans mandshurica* community in Huoshan Mountain of Shanxi Province[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1999, 10(6): 650-656.
- [5] Cai F(蔡飞). A study on the dynamics of *Cyclobalopsis glauca* population at hills around West Lake in Hangzhou [J]. *Science Silvae Sinica* (林业科学), 2000, 36(3): 67-72.
- [6] Knowles P, Grant M C. Age and size structure analysis of *Engelmann spruce*, population pine, *Loadgepole*, and *Limber pine* in cororado [J]. *Ecology*, 1983, 64: 1-9.
- [7] Parker A J, Peet R K. Size and age structure of conifer forest [J]. *Ecology*, 1984, 65: 1685-1689.
- [8] Yan G Q(闫桂琴), Zhao G F(赵桂仿), Hu Z H(胡正海), Yue M(岳明). Population structure and dynamics of *Larix chinensis* in Qinling Mountain[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, 12(6): 497-506.
- [9] Su J X(苏俊霞), Sun J H(孙建华), Tian Z P(田震平), Zhang J(张杰), Bi R C(毕润成), Li X Q(李小强), Huang L(黄磊), Cui B Y(崔本一), Yu W L(尉文龙). Study on younger forest population structure of *Panus bungeana* in the

- Luliang Mountains[J]. *Acta Bot Boreal -Occident Sin* (西北植物学报), 2003, 23(2): 200 - 204.
- [10] Wu C Z(吴承祯), Hong W(洪伟), Xie J S(谢金寿). Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2000, 11(3): 333 - 336.
- [11] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 7 - 139.
- [12] Zhang W H(张文辉), Zu Y G(祖元刚). Study on population life table and survivorship curves of *Adenopors lobophyllia*, an endangered species, compared with *A. potaninii*, a widespread species[J]. *Acta Phy-eco Sinica* (植物生态学报), 1999, 23(1): 76 - 86.
- [13] Feng S Y(冯士雍). Survival analysis I[J]. *Mathematics in Practice and Theory*(数学的实践与认识), 1982a, 3: 72 - 80.
- [14] Feng S Y(冯士雍). Survival analysis II[J]. *Mathematics in Practice and Theory*(数学的实践与认识), 1982b, 3: 64 - 74.
- [15] Feng S Y(冯士雍). Survival analysis III[J]. *Mathematics in Practice and Theory*(数学的实践与认识), 1983, 3: 70 - 76.
- [16] Silvertown J W 著. 植物种群生态学导论[M]. 祝宁译. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1982. 19 - 74.
- [17] Wu Y G(伍业钢), Han J X(韩进轩). A spectral analysis of the population dynamics of Korean pine in the mixed broad-leaved [J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 1988, 7(1): 19 - 23.
- [18] Wu M Z(吴名作), Liu Y C(刘玉萃). Spectral analysis of dynamics and stability of *Quercus variabilis* population [J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 2000, 19(4): 23 - 26.
- [19] Liu J F(刘金福), Hong W(洪伟). Study on spectral analysis of dynamics in *Castanopsis kawakamii* population [J]. *J Biomathematics*(生物数学学报), 2003, 18(3): 357 - 363.
- [20] Manuel C, Molles J. Ecology, Concept and Applications [M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2002. 186 - 254.
- [21] Crawley M J. Plant Ecology [M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1986. 97 - 185.
- [22] Zhu N(祝宁), Zang R G(臧润国). Population ecology of *Acanthopanax senticosus* II, Population structure [J]. *J Appl Ecol* (应用生态学报), 1994, 5(2): 237 - 240.