

文章编号: 1001-1498(2000) 05-0485-08

中国特有植物四合木种群结构及动态研究*

徐 庆, 臧润国, 刘世荣, 郭泉水

(中国林业科学研究院 森林生态环境与保护所, 北京 100091)

摘要: 研究了四合木种群的径级结构、冠幅结构、高度结构和年龄结构, 运用静态生命表描述了四合木种群年龄结构动态变化规律。研究表明: 四合木种群株数随径级、高度级的变化呈“山峰型”, 植株数随冠幅级变化成倒“J”型。现实的四合木种群年龄结构呈“凸”型。四合木种群的死亡率 q_x 、致死力 k_x 随龄级增大而增高, 存活率 l_x 随龄级增大而降低。其存活曲线接近于Deevey型。利用Leslie矩阵定量模拟种群动态, 发现在受外界干扰很小条件下, 该种群具有波动特点, 各龄级的个体数变化趋势不同, 种群由衰退型向增长型过渡。

关键词: 四合木; 种群结构及动态; 静态生命表; 特有植物

中图分类号: S718.54⁺2 **文献标识码:** A

四合木(*Tetraena mongolica* Maxim.)系蒺藜科(Zygophyllaceae)中单种属植物。目前仅呈破碎的岛屿状分布在我国内蒙古自治区西部巴彦高勒至宁夏回族自治区东部石嘴山之间, 是典型的内蒙古特有植物。近年来, 由于多种因素的影响, 在草原荒漠化地区起防风固沙、防止水土流失的四合木已处于濒危的状态, 因而被列为国家二级重点保护植物。四合木种群命运如何?这是国内外学者关注的焦点, 但目前对四合木种群结构及其动态的研究还很少^[2,3], 因此有必要对四合木主要的天然分布区种群结构及动态作进一步深入研究分析, 为保护和利用该物种提供科学依据。

1 自然概况

调查地区设在内蒙古杭锦旗丘地(区)及黄河滩地(区)、西鄂尔多斯生态保护区(区)和乌海市四合木保护区(区)。39°00'~40°50' N, 106°40'~107°30' E。本区大陆性气候明显, 冬季寒冷, 夏季酷热, 干旱少雨, 风大沙多, 热量丰富, 全年日照总时数平均为3 264 h, 年平均温度9.7℃, 7月平均气温25.7℃, 1月平均气温-8.3℃, 极端最高气温39.4℃, 极端最低气温-32.6℃, 地面最高温度达68.5℃, 地面最低温度为-36.6℃, 年均降水量139.8 mm, 多集中在6~8月, 年均蒸发量3 217.7 mm, 干燥度4.05。年平均风速3 m·s⁻¹, 最大风速达28 m·s⁻¹, 主害风偏西北。本区属草原化荒漠地带, 土壤以灰钙土为主, 沙化严重, pH为8.42~9.22^[1,2]。群落及生境特征见表1。

收稿日期: 2000-02-20

基金项目: 国家自然科学基金“九五”重大项目(39893360)及中国林科院林业部森林生态环境实验室资助项目

作者简介: 徐庆(1964-), 女, 安徽青阳人, 工程师, 硕士。

* 野外调查得到了中国林科院沙漠化实验中心王志刚主任、郝玉光副研究员、肖彩虹老师的大力协助, 特此致谢。

表 1 四合木天然分布区群落及生境特征

样区	群落类型	地点	海拔/m	土壤				群落郁闭度	四合木密度/(株·hm ⁻²)	四合木盖度
				层次/cm	含水率/%	质地	pH			
四合木、红沙-丛生禾草群落	杭锦旗丘地	1 152	上	0~10	4.31	砾质	9.22	0.3~0.4	2 700	8%~20%
			中	10~30	6.59	沙壤质				
			下	30~60	3.93	砾石沙壤质				
霸王柴、四合木、沙冬青-绵刺等-丛生禾草群落	杭锦旗黄河滩地	1 112	上	0~10	2.38	细沙质	9.36	0.2~0.3	1 000	2.4%~5%
			中	10~30	4.23	沙壤质				
			下	30~60	2.08	砾石沙壤质				
白刺、四合木、绵刺等-丛生禾草群落	西鄂尔多斯生态保护区	1 115	上	0~10	2.38	细沙质	9.18	0.3~0.5	1 400	4%~8%
			中	10~30	4.30	沙壤质				
			下	30~60	2.58	砾石壤质				
四合木、红沙-丛生禾草群落	乌海市四合木保护区	1 200	上	0~10	5.93	粗沙质	8.5	0.4~0.6	3 200	20%~40%
			中	10~30	8.52	壤质				
			下	30~60	8.67	砾石壤质				

注: 红沙 [*Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim.], 霸王柴 [*Zygophyllum xanthoxylum* (Bunge) Maxim.], 沙冬青 [*Ammopipanthus mongolicus* (Maxim.) Cheng f.], 绵刺 [*Potanninia mongolica* M.], 白刺 [*Nitraria sibirica* Pall.]。

2 研究方法

根据群落调查方法,在 4 个调查地区沿样线每隔 100 m,设置 10 m × 10 m 的样方 1 个,其中区 30 个,区 35 个,区 30 个,区 11 个。精确测量各样区每株四合木的地径、冠幅和株高。截取 77 株四合木标准植株的基径(地径)样品,做好标记,回到实验室内进行切面、磨光,用年轮分析仪(日本产)准确测数年轮数确定年龄。建立年龄 A 与地径 D 的回归方程为: $A = 0.14 + 0.6709D$, $R = 0.9189$ 。以此方程为基础,根据地径数据算出所调查的 4 个样区 1 349 株四合木的年龄。以 3 a 为一龄级统计各龄级的株数以确定年龄结构;以 10 cm 为高度级统计各高度级内的株数,以确定高度结构;以 5 mm 为一径级统计各径级内的株数,以确定径级结构;以 0.1 m² 为一冠幅级统计各冠幅级内株数,以确定冠幅结构。根据特定时间生命表的编制原理和方法^[4~11],计算生命表中各参数,绘制四合木种群特定时间生命表和存活曲线。在区每个龄级选 5 株以上标准植株,果实未脱落前,查数种子数 m_x 。依据生命表的参数 l_x 及所调查 m_x ,利用 Leslie 矩阵定量模拟种群动态^[4]。在 t 时间种群的年龄向量可用下式表示:

$$N_{t+1} = M \times N_t$$

式中 N_t 是 t 时刻种群各龄级的个体数 N_x 向量, N_{t+1} 是 $t+1$ 时刻种群各龄级的个体数 N_x 向量, M 是各龄级特定生育力 f_x 和特定存活率 S_x 组成的 n 阶方阵。为了简捷起见,将这种关系列成矩阵 M :

$$M = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \cdot & f_k \\ S_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{k-1} & 0 \end{bmatrix}$$

$S_x = (l_{x+1} + l_{x+2}) / (l_x + l_{x+1})$, 从龄级 x 到龄级 $x+1$ 的总存活概率, m_x 为每个龄级中植株平均产种子数(实际调查所得),从野外调查可知,1 龄级四合木个体基本不产生种子, $S_0 = 0$,

由 $f_x = m_x \cdot S_x$, 可以求出各龄级个体的生育力 f_x 。

3 结果分析

3.1 径级结构

4个样区的四合木种群的株数随地径的分布情况表明(见图1):不同生境的四合木种群由于所处微环境各异,在径级结构上表现出一定的差异,杭锦旗区由于其生境及土壤结构(砾石壤土、覆沙厚度 < 3 cm)较适合其种子萌发,当年生苗较多,1径级(0~5 mm)四合木株数为76株,占总株数的17.84%;2径级(5~10 mm)株数为41株,占总株数的9.62%,2径级的幼苗死亡率较高。2径级开始,四合木种群的株数随径级增加逐步增加,4径级以后,随着径级增加,株数又逐步减少。区5径级以后,随着径级增加,株数又逐步减少。区由于黄河对岸乌兰布河沙漠影响,覆沙较厚(5~20 cm),由于四合木种子小(千粒质量平均为 $1.1121 \text{ g}^{[3]}$),覆沙厚小种子不易萌发,区无当年生苗。4个样区中以3~7径级(15~35 mm)株数分布最多,占总株数的66%~90%。2径级以下(0~10 mm)与8径级以上(35~50 mm)的株数分布较少,仅占总株数的10%~33%。可以看出,四合木种群中径级小与径级大的植株少,中间径级(3~7级)株数分布最多。

3.2 冠幅结构

4个样区四合木种群的株数随冠幅级的增加而逐渐递减几乎成倒“J”型(见图2),其中以样区递减较快,样区递减较慢,并略有波动。4个样区的四合木种群以1~7级植株数最多,占总株数的86%以上,即4个样区四合木冠幅面积大多集中在 $0.1 \sim 0.7 \text{ m}^2$ 。所调查的1349株四合木冠幅(以椭圆面积计算),最大单株冠幅是在样区为 1.367 m^2 ,样区单株最大冠幅为 0.73 m^2 ,样区单株最大冠幅为 1.139 m^2 ,样区单株最大冠幅为 1.354 m^2 。

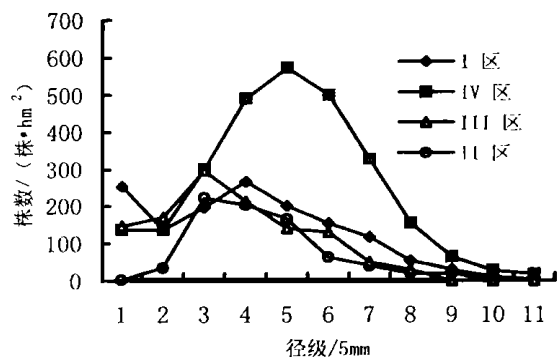


图1 4个样区四合木种群径级结构

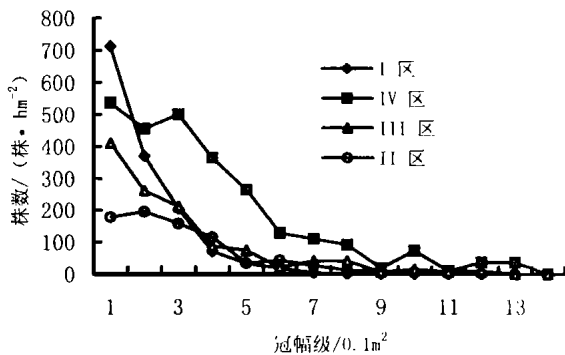


图2 4个样区四合木种群冠幅结构

3.3 高度结构

4个样区的四合木种群的株数随高度级的分布如图3所示。从图3可以看出,所研究的四合木种群的最大高度不超过70 cm,4个样区中四合木种群高度分布规律相似,其株数主要集中于2~5级4个高度级上,样区的2~5高度级植株数占86.33%,样区的2~5高度级占89.62%,样区的2~5高度级占76.29%,样区的2~5高度级占58.61%。四合木种群的株数一开始随高度级逐渐增加,增加到一定高度级(2~5)以后,随着高度级增加,株数又逐渐减少,株数随高度级的变化呈“山峰型”。

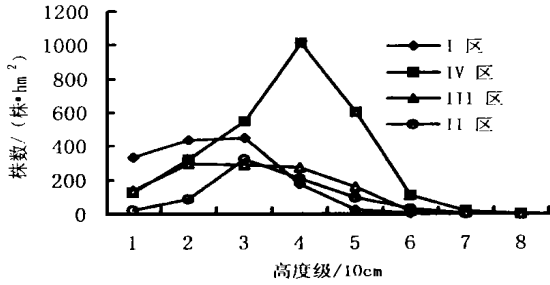


图 3 4 个样区四合木种群高度结构

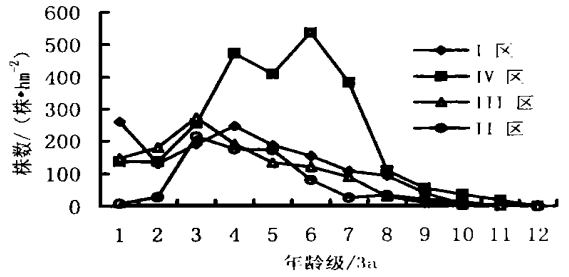


图 4 4 个样区四合木种群年龄结构

3.4 年龄结构

大量野外调查发现, 3 a 以内四合木植株均未开花结实, 据此, 以 3 a 为一龄级, 统计出 4 个样区每一龄级所对应的四合木的植株个体数, 以龄级为横坐标, 各龄级四合木个体数为纵坐标, 作出 4 个样区四合木种群年龄结构图(如图 4)。从图 4 可以看出, 除 区外, 区、区、区的四合木种群皆幼龄个体、老龄个体很少, 个体峰值出现于近中等龄级。而 区, 幼龄个体仍较多。这与 区的生境有关, 土壤为砾石壤土, 覆沙厚度较 区薄(0~3 cm), 土壤含水率(0~60 cm 为 4.94%)较 区高。其生境较适合四合木种子的萌发。从群落的外貌上看, 地表四合木并不郁闭, 区四合木种群的盖度(8%~20%)较 区(20%~40%)小, 种群扩展的空间较大。区土壤的含水率较高(0~60 cm 为 7.71%), 土壤结构与 区相近, 较适合四合木种子的萌发, 但从群落的外貌上看, 郁闭度较大(0.4~0.6), 四合木种群的盖度在 4 个区中也最大(20%~40%)。据我们对 40 株四合木根系的调查得知, 四合木具有发达的根系, 10~30 a 的四合木的根系分布直径大于 2 m, 而 区四合木个体间的平均距离不足 2 m, 地下完全郁闭, 说明环境资源(水分、养分等)已被四合木充分利用, 只有当老龄个体死亡后有空余的资源空间, 幼苗才能补充更新, 因而更新较缓慢, 基于以上原因, 区四合木种群仍属衰退种群, 但其峰值较另 3 个样区低, 即为缓慢衰退。区、区土壤含水率较 区低, 覆沙较厚, 不适宜小种子萌发, 现实种群年龄结构为典型的“凸”型, 为衰退种群。

3.5 静态生命表编制及存活曲线的绘制

为了更进一步分析四合木种群的动态, 最常用和最直观的方法是绘制存活曲线。存活曲线是根据生命表绘制的。静态生命表是种群动态分析的一种强有力的手段^[6]。我们选择了人为干扰最轻的杭锦旗丘地(区)四合木种群编制生命表, 如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 四合木种群在 33 a 范围内的死亡(q_x)趋势: 样区 四合木种群在 0~6 a 的死亡率最低, q_x 仅为 0.117~0.122, 主要由于该龄级的个体, 处于未开花结实阶段(未成熟阶段), 根幅、冠幅小, 个体间的水分、光照及养分竞争不激烈, 环境压力不大($k_x = 0.124 \sim 0.130$); 9~21 a, 植株根幅及冠幅增大, 个体对水分、营养空间的需求不断增大, 死亡率 q_x 、环境的选择压力 k_x 较大, 该阶段处在青年期和壮年期, 表明个体对营养空间的需求达到最大, 四合木的根系及地上部分与其它植物的生态位发生重叠, 群落内水分、养分和空间等因子已不能充分满足其要求, 植株间竞争非常激烈, 自疏和他疏作用增加, 个体间的分化现象严重, 导致高死亡率。21~24 a, 四合木种群处于晚期, 其植株本身生理上发生一些变化, 器官在衰老, 木质部组织坏死, 竞争弱的四合木因缺水大量死亡, 此时的死亡率 q_x 高达 0.723, 环境的选择压力 k_x 迅速增到最大 1。24 a 以后, 死亡率 q_x 、环境的选择压力 k_x 虽然出现小的波动, 但仍然保

四合木种群各龄级个体数为初始向量:

$$N_0 = (78, 39, 57, 74, 56, 46, 32, 28, 12, 2, 1, 1)^T$$

利用上述 $t+i$ 时刻种群各龄级的个体数 N_x 向量公式, 通过逐次迭代, 预测结果如图 7。图中直观地表示出四合木种群的动态波动。

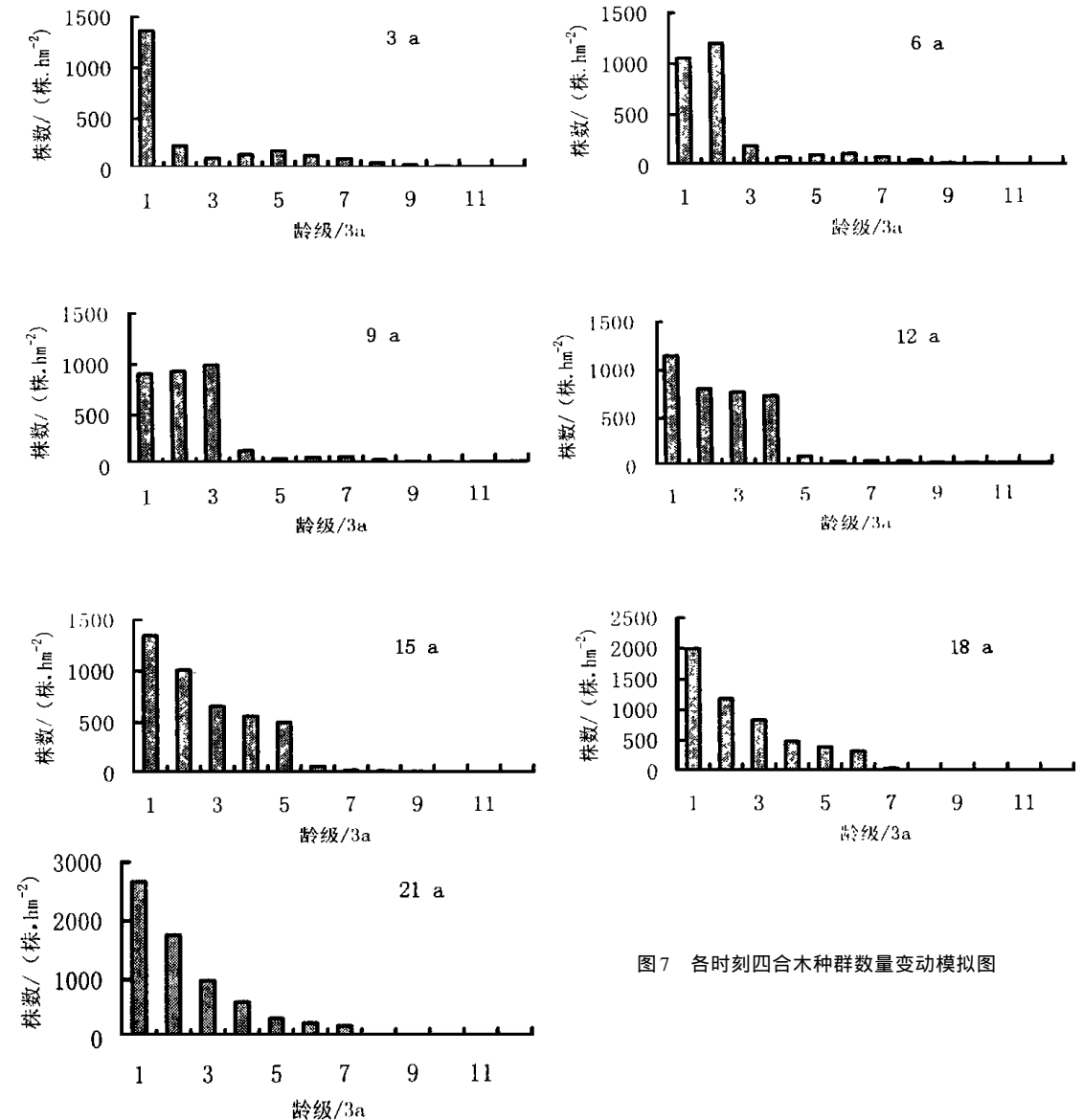


图7 各时刻四合木种群数量变动模拟图

由图 7 可以看出, 随着种群平均年龄的下降, 原来的年龄分布高峰逐渐右移, 且峰值逐渐降低。与此同时, 在幼龄个体中逐步形成一个新的分布高峰。由此看出, 四合木种群动态变化趋势也在发生变化。初期种群为衰退型, 到 15 a 时种群年龄结构呈倒“J”型分布, 是一个标准的生长型种群。这种增长趋势经 3 a 后已开始出现, 第 6 年时 1 龄级、2 龄级个体所占比例达 78.68%, 这说明此时种群具有增长趋势, 虽然此后种群数量仍在减少。

4 结论与讨论

(1) 四合木种群株数随树高级的分布与同随直径级的分布基本一致, 植株数随冠幅级变化几乎呈“J型”, 其冠幅面积却大多集中在 $0.1 \sim 0.7 \text{ m}^2$ 。

(2) 现实的四合木种群年龄结构呈“凸型”, 即衰退种群。四合木种群的死亡率 q_x 、致死力 k_x 随龄级增大而增高, 存活率 l_x 随龄级增大而降低。其存活曲线接近于 Deevy 型, 进一步表明该种群为下降种群。利用 Leslie 矩阵定量模拟种群动态, 发现在受外界干扰很小条件下, 该种群具有波动特点, 各龄级的个体数变化趋势不同, 种群由衰退型向增长型过渡。造成这种动态波动的主要原因是四合木自身的生物学特性和有限的环境资源。随着四合木的生长发育、老龄个体不断死亡, 产生了多余的资源空间, 幼苗才得以萌发和定居。老龄个体死亡数量越大, 幼苗补充更新越多。个体的不断死亡, 使得年龄峰值右移, 大量个体死亡(即峰值消失), 幼苗得以有机会大量发生(相对而言), 这样就形成一个新的高龄高峰, 使原来的老化种群过渡到年轻种群。随着幼苗的不断补充更新, 种群数量也随之增加, 达到最大数量后, 受环境容纳量的限制, 幼年种群的继续发展受到限制, 从而形成以某些年龄阶段为主的年龄结构特征。

(3) 四合木是亚洲中部古老的子遗植物, 是典型的西鄂尔多斯特有属、种, 为我国内蒙古草原化荒漠的建群种之一, 这一旱生小灌木对当地生境基本适应, 抗旱、抗劣境性较强, 具有发达的根系, 是防止水土流失、治理荒漠化的良好树种, 若在其环境不受外界干扰的条件下, 该种群有进展的趋势。然而, 由于四合木叶可作饲料, 枝含油, 易燃, 在四合木分布区过度放牧、过度砍伐现象严重。乌达-海勃湾地下贮藏大量优质煤炭, 近十几年来, 这里煤炭和其它工业迅速发展, 人口急剧增加, 由于人为活动的影响, 四合木生境遭到严重破坏, 使四合木呈岛屿状分布, 分布范围逐渐缩小, 个体数量日趋减少, 四合木的现实种群的大多数年龄结构仍趋于衰退型, 处于濒危灭绝的状态。

参考文献:

- [1] 内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 刘果厚, 周世权. 内蒙古特有植物四合木生态环境及濒危机制原因的研究[J]. 内蒙古林学院学报, 1993, (1): 44~49.
- [3] 吴素琴, 李克昌, 杨瑞全, 等. 四合木种子特性的测定研究[J]. 草业科学, 1994, 11(3): 29~31.
- [4] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [5] 周纪纶, 郑师章, 杨扬, 等. 植物种群生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [6] 祝宁, 臧润国. 刺五加种群生态学的研究. 刺五加的种群结构[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 113~119.
- [7] 黎云祥, 刘玉成, 钟章成. 缙云山四川大头茶种群的结构及其动态[J]. 植物生态学报, 1997, 21(1): 67~76.
- [8] 徐化成, 范兆飞. 兴安落叶松原始林年龄结构动态的研究[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 229~233.
- [9] Toshihiko Harar. 植物种群的数量结构动态[J]. 洗艾青译. 生态学进展, 1989, 6(1): 64~67.
- [10] Richard L. A model for the dynamics of a plant population containing individuals classified by the age and the size[J]. Ecology, 1983, 64(2): 224~230.
- [11] Silvertown J W. Introduction to plant population ecology. [M] London: Longman, 1982.
- [12] Peggy, Knowles, Michael C G. Age and size structure analyses of Engelman spruce, ponderosa pine, lodgepole pine, and limber pine in Colorado[J]. Ecology, 1983, 64(1): 1~9.

A Study on the Population Structure and Dynamics of *Tetraena mongolica* Endemic to China

XU Qing, ZANG Run-guo, LIU Shi-tong, GUO Quan-shui

(Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The structures of diameter-class, crown breadth and height of *Tetraena mongolica* population were studied. Based on the static life table, the dynamic law of *T. mongolica* population was described. The study showed that the individual tree distribution of *T. mongolica* with the variation of diameter-class and height, and crown breadth were in single peak and reversed J-type respectively. With the increase of the population age class, the mortality q_x and killing power k_x increased but the surviving rate l_x decreased. The survivorship curve belonged to Deevey . Based on Leslie matrix, the change of the number of individual trees was different in the different age class under the undisturbed condition and the population dynamic changed from declination type to growth type.

Key words: *Tetraena mongolica*; population structure and dynamics; static life table; endemic plant