

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2017 ) 4 - 000 - 07

DOI: 10. 16089 / j. cnki. 1008 - 2786. 000241

## 小陇山国家级自然保护区云杉种群 结构和空间分布格局分析

赵欣鑫<sup>1</sup>, 巨天珍<sup>1\*</sup>, 杨 斌<sup>1</sup>, 刘洋洋<sup>1</sup>, 王 爽<sup>1</sup>, 张宋智<sup>2</sup>

( 1. 西北师范大学, 兰州 730070;

2. 小陇山林业实验局林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

**摘 要:** 基于野外采样调查, 以径级结构代替年龄结构, 运用分段匀滑技术, 编制小陇山云杉 *Picea asperata* Mast 种群静态生命表, 绘制径级结构图、存活曲线、死亡曲线、消失率曲线、生存函数曲线, 分析云杉种群结构动态; 选用 5 个聚集强度指标研究云杉种群的分布格局。研究结果表明: 小陇山云杉种群幼苗幼树丰富, 占云杉总株数的 27.86%, 大树相对较少, 仅为 4.98%, 径级结构总体分布趋于倒“J”型, 群落处于稳定发展中; 云杉种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致, 存活曲线接近于 Deevey - II 型; 生存分析揭示了云杉种群呈前期增长、后期稳定的态势; 云杉种群空间分布格局呈聚集分布。研究结果可对小陇山云杉林研究进行有效补充和完善, 为小陇山云杉种群的保育及保护区生态环境的保护提供基础材料。

**关键词:** 云杉种群; 径级结构; 静态生命表; 存活曲线; 空间分布格局

**中图分类号:** Q948

**文献标志码:** A

种群是生物群落的基本组成单位, 也是生态学各个层次中最重要的一个层次<sup>[1]</sup>。种群结构作为其重要属性之一, 可在一定程度上反映出种群个体在空间上的组配方式和发展趋势<sup>[2-3]</sup>。空间分布格局是指种群个体在其生活空间中的位置状态或布局, 是物种与环境长期适应和选择的结果, 也是种群个体在水平空间上相互关系的反映<sup>[4-6]</sup>。研究种群年龄结构及其空间分布, 可对种群的生物学特征得到一定掌握, 利于预测种群演替动态规律, 在种群恢复和有效保护等方面均具有重大意义<sup>[7-9]</sup>。

云杉 (*Picea asperata* Mast) 是我国特有树种, 主要分布于四川的岷江、大小金川和白龙江流域, 并延伸到青海东部、甘肃中部及南部、陕西西南部, 是国家 II 级重点保护野生植物。我国云杉林在高山气

候、温带大陆性气候、温带季风气候和亚热带季风气候等 4 个气候区均有分布, 但生态幅度较为狭窄, 亚高山地带的阴坡和半阴坡为其主要生长地带, 仅少数类型在地下水充沛的沙地生长<sup>[10]</sup>。国家级自然保护区小陇山是我国云杉林的分布区之一, 小陇山云杉的持续发育, 对小陇山的水源涵养、水土保持、稳定流量和林区生态系统形成与维护等具有重要作用。

我国对云杉种群结构和空间分布格局方面的研究主要集中在天山、祁连山等地。前人研究表明<sup>[11-15]</sup>, 天山云杉种群格局整体呈集群分布, 天山北坡云杉种群处于生命力旺盛的中龄期, 格局呈聚集分布, 天山南坡处于中幼林阶段的云杉种群个体主要集中在幼龄阶段, 东祁连山青海云杉大都处于

收稿日期 ( Received date ): 2016 - 07 - 02; 改回日期 ( Accepted date ): 2017 - 07 - 11

基金项目 ( Foundation item ): 国家自然科学基金项目 ( 41161080 ); 甘肃省科技计划项目 ( 2010CS05134 )。 [ The Nation Natural Science Foundation of China ( 41161080 ); The Science and Technology Projects of Gansu Province ( 2010CS05134 ) ]

作者简介 ( Biography ): 赵欣鑫 ( 1992 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事生态学研究。 [ Zhao Xinxin ( 1992 - ), male, M. Sc. candidate, mainly engaged in ecology. ] E-mail: mengdeguishu@163.com

\* 通讯作者 ( Corresponding author ): 巨天珍 ( 1965 - ), 女, 硕士, 教授, 研究方向为城市生态学。 [ Ju Tianzhen ( 1965 - ), female, master, professor, mainly engaged in city ecology. ] E-mail: jujutz@163.com

中龄林阶段,属于稳定型种群;祁连山大野口流域青海云杉种群动态为增长型,空间分布格局呈斑块状聚集分布。但是,有关小陇山云杉种群结构及分布格局方面的研究还未见报道。鉴于此,在对小陇山云杉林野外调查的基础上,从径级结构、静态生命表、存活曲线、生存函数曲线和空间分布格局等方面探讨了云杉种群发生发展的规律和分布格局的特点,分析了云杉种群动态和分布格局的相互关系,可为小陇山林区云杉种群的可持续经营、云杉人工林的抚育培养及保护等提供理论基础。

1 研究区概况

研究区为小陇山国家级自然保护区(34°0′~34°40′N、105°30′~106°30′E),海拔为700~2500 m,地处我国温带南缘与北亚热带的过渡地带<sup>[16]</sup>。该区气候温暖湿润,年均气温7~12℃,相对湿度68%~78%,无霜期120~218 d,年降水量460~800 mm,干燥度0.89~1.29,属湿润和半湿润类型区<sup>[17]</sup>。研究区内土壤地带性明显,秦岭以北为灰褐土,以南为黄褐土,其质地多属壤土、轻壤土和轻土,土层厚度30~60 cm,有机质含量高,较湿润,pH值6.5~7.5<sup>[18]</sup>。

小陇山保护区现有林地面积69万hm<sup>2</sup>,占保护区总面积83.1%。林区植被主要有5个植被型组、11个植被型、53个群系,植被型以寒温性针叶林植被型、温性针叶林植被型、硬叶常绿阔叶林、温性灌丛植被型、暖温性灌丛植被型、高寒灌丛植被型、森林草甸植被型、高寒草甸植被型、温性针阔混交林植被型、落叶阔叶林植被型和常绿、落叶阔叶混交林植被型等为主<sup>[16]</sup>。全区有草本植物1900多种,木本植物800多种(不包括引种栽培),其中乔木层主要树种有312种,灌木层有437种,木质藤本层有85种,温带科属占优势,热带、亚热带属种比较少<sup>[16,17]</sup>。木本植物以壳斗科(Fagaceae)、桦木科(Betulaceae)、松科(Pinaceae)、柏科(Cupressaceae)、杨柳科(Ulmaceae)、蔷薇科(Rosaceae)等为主构成了植物群落的主体,草本植物158科726属,以禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)、豆科(Leguminosae)、毛茛科(Ranunculaceae)、兰科(Orchidaceae)、玄参科(Scrophulariaceae)等为主<sup>[16,18]</sup>。

2 研究方法

2.1 样地调查

基于全面勘察,依据不同生境、不同群落类型,在小陇山调查区选取3个20 m×20 m样方作为典型调查样地,样地概况见表1。采用每木调查法,记录样方内所有个体的种名、胸径、树高、冠幅、枝下高等群落数量特征。研究区示意图,如图1。

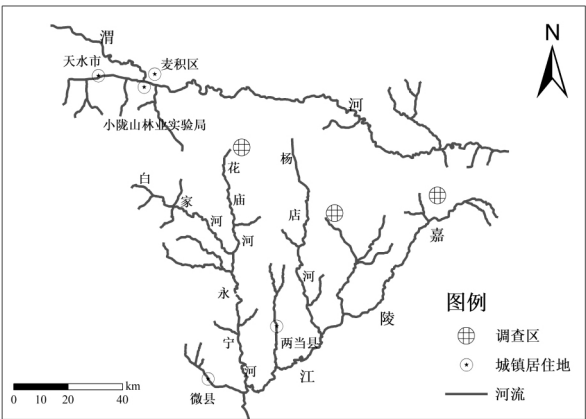


图1 研究区位置示意  
Fig. 1 The location of research area

表1 样地概况  
Tab. 1 Summary of study plots

样地	群落类型	海拔/m	坡向	坡位	坡度
1	云杉	2420	无	上	4°
2	云杉-华山松	1888	西	下	17°
3	云杉-红桦	2347	东南	中	17°

2.2 径级划分

采用径级结构代替年龄结构,分析种群动态特征。基于调查数据,结合云杉生活史特点,按胸径(diameter at breast height, DBH)每增加4 cm为一个径级,将所有云杉个体分为9个径级: D<4 cm为Ⅰ级,4≤D<8为Ⅱ级,8≤D<12为Ⅲ级,12≤D<16为Ⅳ级,16≤D<20为Ⅴ级,20≤D<24为Ⅵ级,24≤D<28为Ⅶ级,28≤D<32为Ⅷ级,D≥32为Ⅸ级<sup>[19]</sup>。参照云杉的径级将其种群划分为幼苗幼树(Ⅰ级)、小树(Ⅱ级)、中树(Ⅲ-Ⅵ级)和大树(Ⅶ级-Ⅸ级)4个生长阶段<sup>[20]</sup>。

2.3 数据处理

2.3.1 生命表编制

依据基本数据,进行种群静态生命表编制和存

活曲线绘制,进而分析云杉种群动态变化<sup>[21]</sup>。在静态生命表的编制中,有时会出现死亡率为负的情况,通常采取分段匀滑技术进行处理<sup>[22]</sup>。静态生命表各指标计算公式如下<sup>[22-23]</sup>:

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

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

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

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

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

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

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

式中  $\mu_x$  为  $x$  龄级内的现有存活数;  $l_x$  是在  $x$  龄级开始时的标准化存活数;  $d_x$  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区间寿命或个体数;  $T_x$  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寿命期望;  $K_x$  是为消失率(损失度)。

### 2.3.2 生存分析

引入种群生存分析中的4个函数分析小陇山云杉种群结构,即生存率函数( $S_x$ ),积累死亡率函数( $F_x$ ),死亡密度函数( $f_x$ ),危险率函数( $\lambda_x$ )。计算公式如下<sup>[23-24]</sup>:

$$S_x = P_1 P_2 \cdots P_x \quad (8)$$

$$F_x = 1 - S_x \quad (9)$$

$$f_x = (S_{x-1} - S_x) / h_x = S_{x-1} * q_x / h_x \quad (10)$$

$$\lambda_x = f_x / S_x = \frac{2q_x}{h_x(1+p_x)} \quad (11)$$

式中  $x$  为龄级,  $P_x$  为存活率( $P_x = 1 - q_x$ ),  $q_x$  为死亡频率,  $h_x$  为区间长度。

### 2.3.3 种群空间分布格局

选用5个不同聚集强度指标,对小陇山云杉种群的聚集特性进行不同角度度量,进而综合分析云杉种群的空间分布格局<sup>[15,25]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 径级结构分析

由小陇山云杉种群径级结构图(图2)可以看出,云杉径级结构总体分布接近倒“J”型,属于增长型结构;云杉种群的径级结构完整,说明其群落处于稳定发展中<sup>[23]</sup>。由云杉径级分布来看,第I径级的株数最多,为56株,第IX径级的株数最少,仅有1

株,第II-VI径级株数相当;由云杉生长阶段来看,中树(III-VI级)比例最大,占云杉总株数的51.24%,幼树(I级)和小树(II级)比例次之,大树(VII-IX级)最小,仅占云杉全部个体数量的4.98%。由此可见,云杉种群幼苗幼树很丰富,有利于进行种群的更新,但大树相对缺乏,可能与自然灾害、生理衰退、人为砍伐等因素有关,整体上种群呈稳定状态。

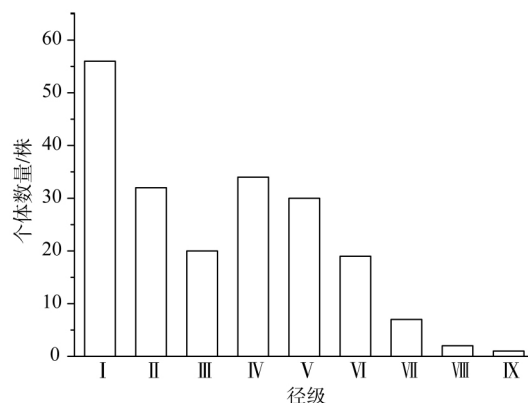


图2 云杉种群径级结构图

Fig. 2 DBH class of *Picea asperata* Mast population

### 3.2 生命表分析

调查数据经匀滑修正后得到  $a_x^*$ , 据此进行小陇山云杉种群的静态生命表编制(表2),并绘制出云杉种群的死亡率、消失率曲线(图3)和存活曲线(图4)。由图3可以看出,云杉种群的死亡率、消失率变化趋势基本一致,第II径级小树死亡率最低,为17%,但第I径级幼苗死亡率相对较高,为27%,因此幼苗期的云杉需要适度庇荫才能存活。云杉对资源的需求随个体的生长逐渐加大,种内竞争也随之不断加剧,进而致使死亡率不断增高,并于第VII径级死亡率达到最高,为71%。之后,云杉死亡率因自疏过程而逐渐降低。由图4可以看出,云杉的存活曲线基本接近于Deevey-II型,即存活曲线为对角线型,各径级的死亡率大致相同,局部稍有波动,表明小陇山云杉种群处于稳定发展状态。

### 3.3 生存分析

分别绘制生存率、积累死亡率曲线图(图5)和死亡密度、危险率曲线图(图6)。云杉种群生存率随径级增大而递减,积累死亡率与其趋于互补,两者在第I径级~VI径级变化幅度较大,后期变化趋于平缓。从云杉种群的死亡密度来看,云杉林中幼苗幼树(I级)、小树(II级)死亡密度较高,中树(III-VI级)、大树(VII-IX级)相对较低。从危险率来看,云杉在幼苗幼树(I级)危险率为8%,在小树

表 2 云杉种群静态生命表  
Tab. 2 Static life table of *Picea asperata* Mast population

径级	径级距	$a_x$	$a_x^*$	$l_x$	$\ln l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$
I	0 ~ 4	56	56	1000.00	6.91	267.86	0.27	866.07	3080.36	3.08	0.31
II	4 ~ 8	32	41	732.14	6.60	125.00	0.17	669.64	2214.29	3.02	0.19
III	8 ~ 12	20	34	607.14	6.41	125.00	0.21	544.64	1544.64	2.54	0.23
IV	12 ~ 16	34	27	482.14	6.18	125.00	0.26	419.64	1000.00	2.07	0.30
V	16 ~ 20	30	20	357.14	5.88	125.00	0.35	294.64	580.36	1.63	0.43
VI	20 ~ 24	19	13	232.14	5.45	107.14	0.46	178.57	285.71	1.23	0.62
VII	24 ~ 28	7	7	125.00	4.83	89.29	0.71	80.36	107.14	0.86	1.25
VIII	28 ~ 32	2	2	35.71	3.58	17.86	0.50	26.79	32.79	0.92	0.69
IX	≥32	1	1	17.86	2.88	—	—	—	—	—	—

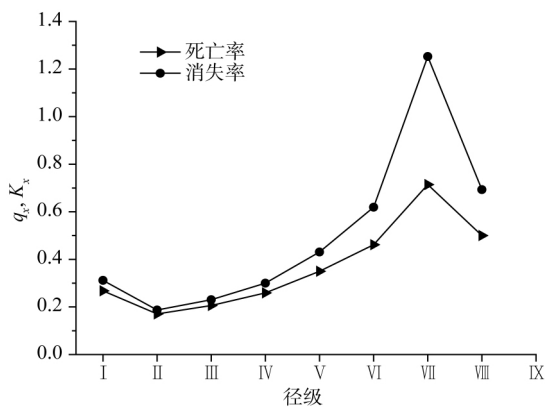


图 3 云杉种群死亡率、消失率

Fig. 3 Mortality rate and vanishing rate of *Picea asperata* Mast population

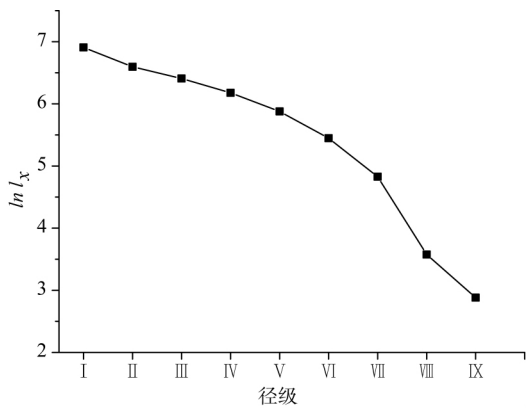


图 4 云杉种群存活曲线

Fig. 4 Survival curve of *Picea asperata* Mast population

( II 级) 有所降低 , 之后又开始上升 , 并于第 VII 径级达到最高 , 后又有所下降。整体来看 , 在云杉林中幼苗、幼树阶段的死亡率较高 , 中树、大树阶段死亡率较低 , 云杉种群为前期增长 , 后期平稳的类型。

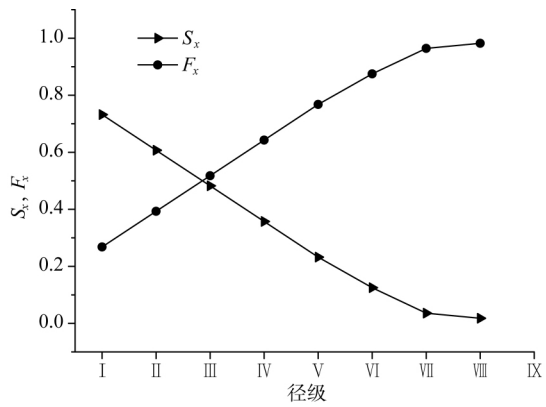


图 5 云杉种群生存率函数 ( $S_x$ ) 和积累死亡率函数 ( $F_x$ )

Fig. 5 Survival rate ( $S_x$ ) and cumulative mortality rate ( $F_x$ ) of *Picea asperata* Mast population

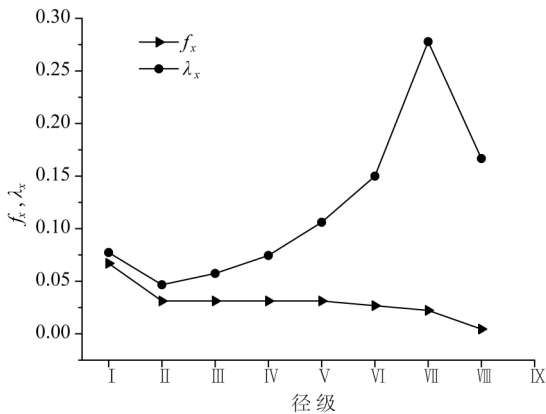


图 6 云杉种群死亡密度 ( $f_x$ ) 和危险率 ( $\lambda_x$ )

Fig. 6 Mortality density ( $f_x$ ) and hazard rate ( $\lambda_x$ ) of *Picea asperata* Mast Population

3.4 空间分布格局分析

研究种群空间分布格局 , 既能将种群结构量化 , 又可反映出种群的动态变化 , 对物种保护及营林绿化均具有一定参考价值。小陇山云杉种群在 3 个

不同样地分布格局的分析结果,见表3。由表3可知,各样地云杉种群均呈聚集分布,但是聚集强度有所不同。其中样地2的负二项参数( $k$ )最大,为2.1,说明该样地的云杉种群聚集强度最小,其次是样地1,为1.7,样地3的 $k$ 值最小,即聚集度最大,为1.3。从聚块性指标( $PAI$ )来看,样地3的 $PAI$ 值最大,为1.8,样地2的最小,为1.5,表明样地3云杉种群的聚集度最大,样地2聚集强度最小,得到的云杉种群格局分布型与负二项参数( $k$ )的分析结果相一致,即聚集度由大到小依次为:样地3>样地1>样地2。

表3 云杉种群分布格局

Tab.3 Population distribution pattern of *Picea asperata* Mast

样地	$C$	$k$	$I$	$Ca$	$m^*$	$PAI$	格局
1	4.7	1.7	3.7	0.6	9.9	1.6	聚集分布
2	3.3	2.1	2.3	0.5	6.9	1.5	聚集分布
3	9.8	1.3	8.8	0.8	20.3	1.8	聚集分布

## 4 结论与讨论

(1) 小陇山云杉种群径级结构接近倒“J”型,中树(Ⅲ-Ⅵ级)比例最大,幼树(Ⅰ级)和小树(Ⅱ级)比例次之,大树(Ⅶ级-Ⅸ级)最小,径级结构完整,指示云杉种群为增长型,群落处于稳定发展中。这与李荣等<sup>[12]</sup>对天山北坡天山云杉种群以及陈银萍等<sup>[14]</sup>对东祁连山青海云杉种群的研究结果基本一致。

(2) 小陇山云杉种群的生命表显示,其存活曲线接近于Deevey-Ⅱ型。一般情况下,若没有外因破坏,云杉林不易被其他树种所更替<sup>[13]</sup>。但存活曲线、死亡率和消失率曲线以及4个生存函数均呈现出云杉幼苗死亡率较高的特征,幼苗幼树(Ⅰ级)死亡率为27%,表明虽然林下云杉幼苗幼树很丰富,但较难长成小树,而且个体对资源的需求会随生长不断增大,种内、种间竞争也会随之加剧,致使其个体数量锐减。小陇山云杉种群动态研究揭示了云杉种群目前处于相对稳定状态,但其林下更新层存在不足,种群的长期稳定难以维持,需要增大人工抚育强度来促进更新,以实现林业的可持续经营。

(3) 各样地的云杉种群分布格局均呈聚集分布,且聚集程度不同,这是种群生存的策略或适应机制,更有利于其获取足够的生存资源<sup>[26]</sup>。整体来看,小陇山云杉种群的空间分布格局为聚集分布,这

与刘贵峰等<sup>[11]</sup>对天山云杉种群以及李效雄等<sup>[15]</sup>对祁连山大野口流域青海云杉种群的研究结果一致。聚集分布格局为林木种群最普遍的分布形式,这是林木本身的生物学特性和生境条件共同作用的结果<sup>[11,27,28]</sup>。空间分布呈聚集分布的种群,具备着更大的环境竞争优势,这使物种个体的存活机会得到了大大的提高,从而可更好地发挥出群体效应来维持自身的稳定状态。因此,小陇山云杉种群的聚集分布格局更有利于云杉的生长,为小陇山云杉群落处于稳定增长期特有的种群分布形式。

研究表明,小陇山云杉种群径级结构完整,属于增长型,其空间分布格局以聚集分布为主,群落处于稳定增长阶段。自然云杉林生命表分析和格局研究为林区云杉种群的可持续经营以及人工林的维护、修复和更新提供了依据。

## 参考文献 (References)

- [1] 董秋莲,李毅,单立山,等. 张掖市龙首山红砂种群结构和分布格局研究[J]. 水土保持通报,2013,33(4): 286-288 [DONG Qiulian, LI Yi, SHAN Lishan, et al. Population structure and distribution pattern of *Reaumuria Soongorica* in Longshou Mountain of Zhangye City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(4): 286-288]
- [2] 赵成章,高福元,盛亚萍,等. 狼毒种群小尺度空间分布格局及空间关联性研究[J]. 干旱区地理,2011,34(3): 116-122 [ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, SHENG Yaping, et al. Finescal spatail distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population [J]. Arid Land Geography, 2011, 34(3): 116-122]
- [3] 罗文,许涵,李意德,等. 海南尖峰岭卵叶樟种群结构与分布格局动态研究[J]. 林业科学研究,2010,23(5): 787-790 [LUO Wen, XU Han, LI Yide, et al. The population structure and distribution pattern of *Cinnamomum rigidissimum* in Jianfengling, Hainnan Island [J]. Forest research, 2010, 23(5): 787-790]
- [4] 惠刚盈,李丽,赵中华,等. 林木空间分布格局分析方法[J]. 生态学报,2007,27(11): 4717-4728 [HUI Gangying, LI Li, ZHAO Zhonghua, et al. The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4717-4728]
- [5] 张健,郝占庆,宋波,等. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性[J]. 应用生态学报,2007,18(8): 1681-1687 [ZHANG Jian, HAO Zhanqing, SONG Bo, et al. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pinemixed forest in Changbaishan [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1681-1687]
- [6] DRAY S, LEGENDRE P, PERES-NETO P R. Spatial modeling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbor matrices (PCNM) [J]. Ecological Modelling, 2006, 196:

- 483–493.
- [7] MASAKI T, OTA T, SUGITA H, et al. Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, **194**: 289–401.
- [8] 张希彪,上官周平,王金成,等. 子午岭人工油松林群落更新特征及影响因子[J]. *山地学报*, 2014, **5**: 561–567 [ZHANG Xibiao, SHANG – GUAN Zhouping, WANG Jincheng, et al. The regeneration characteristics and affecting factors of *Pinus tabulaeformis* artificial forests of Ziwu Mountains, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2014, **5**: 561–567]
- [9] 王连贺,党坤良,常伟,等. 秦岭南坡锐齿栎次生林空间结构特征分析[J]. *西北植物学报*, 2015, **11**: 2315–2323 [WANG Lianhe, DANG Kunliang, CHANG Wei, et al. Spatial structure characteristics of *quercus aliena* var. *acuteserrata* secondary forest on south slope of Qinling Mountains [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015, **11**: 2315–2323]
- [10] 李贺,张维康,王国宏. 中国云杉林的地理分布与气候因子间的关系[J]. *植物生态学报*, 2012, **36**(5): 372–381 [LI He, ZHANG Weikang, WANG Guohong. Relationship between climatic factors and geographical distribution of *spruce* forests in China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, **36**(5): 372–381]
- [11] 刘贵峰,丁易,臧润国,等. 天山云杉种群分布格局[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(1): 9–13 [LIU Guifeng, DING Yi, ZANG Ruiguo, et al. Distribution patterns of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population in Tianshan [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, **22**(1): 9–13]
- [12] 李荣,罗惠文,宋于洋,等. 天山北坡天山云杉的种群结构特征和空间分布格局[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, **27**(1): 91–95 [LI Rong, LUO Huiwen, SONG Yuyang, et al. Structure characteristics and spatial distribution of *Picea schrenkiana* population on the northern slopes of the Tianshan Mountain [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, **27**(1): 91–95]
- [13] 宋于洋,赵自玉,杨振安,等. 天山云杉种群数量动态研究[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2009, **33**(1): 64–68 [SONG Yuyang, ZHAO Ziyu, YANG Zhenan, et al. Population quantity and structure dynamics of plant population of *Picea schrenkiana* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2009, **33**(1): 64–68]
- [14] 陈银萍,于飞,杨宗娟,等. 东祁连山青海云杉种群大小结构及其动态研究[J]. *广西植物*, 2013, **2**: 236–241 [CHEN Yinping, YU Fei, YANG Zongjuan, et al. Size structure and dynamic of the *Picea crassifolia* populations on eastern Qilian Mountains [J]. *Guihaia*, 2013, **2**: 236–241]
- [15] 李效雄,刘贤德,赵维俊. 祁连山大野口流域青海云杉种群结构和空间分布格局[J]. *干旱区地理*, 2012, **35**(6): 960–965 [LI Xiaoxiong, LIU Xiande, ZHAO Weijun. Population structure and spatial distribution of *Picea crassifolia* in Dayekou Basin of Qilian Mountains [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, **35**(6): 960–965]
- [16] 刘文桢,赵中华,胡艳波,等. 小陇山栎类混交林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015: 15–20 [LIU Wenzhen, ZHAO Zhonghua, HU Yanbo, et al. *Xiaolongshan Quercus forest management* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015: 15–20]
- [17] 程堂仁,冯菁,马钦彦,等. 甘肃小陇山森林植被碳库及其分配特征[J]. *生态学报*, 2008, **28**(1): 33–42 [CHENG Tangren, FENG Jing, MA Qinyan, et al. Carbon pool and allocation of forest vegetation in Xiaolongshan in Gansu [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(1): 33–42]
- [18] 索安宁,巨天珍,张俊华,等. 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*, 2004, **24**(10): 1877–1881 [SUO Anning, JU Tianzhen, ZHANG Junhua, et al. Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu [J]. *Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica*, 2004, **24**(10): 1877–1881]
- [19] 张毓涛,李吉玫,常顺利,等. 天山中部天山云杉种群空间分布格局及其与地形因子的关系[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(11): 2800–2806 [ZHANG Yutao, LI Jimei, CHANG Shunli, et al. Spatial distribution pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population and its relationships with topographic factors in middle part of Tianshan Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, **22**(11): 2800–2806]
- [20] 何东进,肖石红,李晓景,等. 中国红树林北缘区秋茄树种群空间分布格局和结构特征分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2014, **23**(2): 41–47 [HE Dongjin, XIAO Shihong, LI Xiaojing, et al. Analyses on spatial distribution pattern and structure characteristics of *Kandelia candel* population in north marginal region of mangrove, China [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2014, **23**(2): 41–47]
- [21] 吴俊侠,张希明,邓潮州,等. 塔里木河下游胡杨种群特征与动态分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, **8**: 164–169 [WU Junxia, ZHANG Ximing, DENG Chaozhou, et al. Characteristics and dynamics of *Populus euphratica* population at lower reaches of Tarim River [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, **8**: 164–169]
- [22] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7–26 [JIANG Hong. *Picea crassifolia* ecology [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 7–26]
- [23] 巨天珍,米彩燕,师贺雄,等. 小陇山国家级自然保护区油松种群更新及生存[J]. *山地学报*, 2012, **30**(1): 36–40 [JU Tianzhen, MI Canyan, SHI Hexiong, et al. The regeneration and survival of *Pinus tabulaeformis* Carr. population in Xiaolongshan Nature Reserve [J]. *Journal of Mountain Science*, 2012, **30**(1): 36–40]
- [24] 孙利鹏,王继和,王辉,等. 乌兰布和沙漠天然梭梭种群径级结构及种群动态分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 2012, **47**(2): 110–114 [SUN Lipeng, WANG Jihe, WANG Hui, et al. Diameter class structure and population dynamic analysis of natural *Haloxylon ammodendron* in Ulan Buh Desert [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2012, **47**(2): 110–114]

- [25] 张雷,邱乾栋,臧德奎,等. 山东百部种群的空间分布格局[J]. 武汉植物学研究, 2009, **27**(6): 617–621 [ZHANG Lei, QIU Qiantong, ZANG Dekui, et al. A study on the spatial distribution pattern of *Stemona shandongensis* populations [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2009, **27**(6): 617–621]
- [26] 李先琨,黄玉清,苏宗明. 元宝山南方红豆杉种群分布格局及动态[J]. 应用生态学报, 2000, **11**(2): 169–172 [LI Xiankun, HUANG Yuqing, SU Zongming. Distribution pattern and its dynamics of *Taxus chinensis* var. *mairei* population on Yunbaoshan Mountain [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, **11**(2): 169–172]
- [27] 刘建泉,屈永才,王学福,等. 青海云杉群落空间结构特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, **23**(7): 121–125 [LIU Jianquan, QU Yongcai, WANG Xuefu, et al. Structure characteristics of *Picea crassifolia* communities in Qilian Mountains forest area [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, **23**(7): 121–125]
- [28] 赵志刚,郭俊杰,曾杰,等. 广西大明山格木种群的空间分布格局与数量动态特征[J]. 林业科学, 2014, **10**: 1–7 [ZHAO Zhigang, GUO Junjie, ZENG Jie, et al. Spatial patterns and quantitative dynamics of *Erythrophloeum fordii* populations at Damingshan Mountain, Guangxi [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, **10**: 1–7]

## Analyses on Structure Characteristics and Spatial Distribution Pattern of *Picea asperata* Mast Population in Xiaolongshan Nature Reserve

ZHAO Xinxin<sup>1</sup>, JU Tianzhen<sup>1\*</sup>, YANG Bin<sup>1</sup>, LIU Yangyang<sup>1</sup>, WANG Shuang<sup>1</sup>, ZHANG Songzhi<sup>2</sup>

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

2. Forestry Research Institute of Xiaolongshan Mountains Forestry Experimental Bureau, Tianshui 741020, Gansu, China )

**Abstract:** Based on field survey of Diameter-Breast-Height (DBH) structure, the population static life table of *Picea asperata* Mast was compiled using the sectional smoothing technique in this study. Subsequently, DBH diagram, the inventory curve, the death curve and the survival function curve were derived from population static life table to reflect population structure and dynamics. In addition, population spatial distribution pattern of *Picea asperata* Mast was analyzed with five selected aggregation intensity indexes. The results showed that 27.86% of sampled *Picea asperata* Mast was saplings relative to 4.98% of old individuals, resulting a reverse “J” type distribution of DBH structure. This implies that population of *Picea asperata* Mast is relatively stable in the study site. The similar trends were detected in mortality rate curve and disappearance rate curve of *Picea asperata* Mast, while the population survival curve was close to Deevey-II type. The survival analysis revealed the population of *Picea asperata* Mast was increasing in the early phrase but remained stable in the late phrase. Additionally, the spatial pattern of *Picea asperata* Mast population showed an aggregation distribution in Xiaolong Mountain. This study could supply an effective supplement and improvement for the research of *Picea asperata* Mast stand, also could provide basic data for preservation of *Picea asperata* Mast and conservation of ecological environment in Xiaolongshan Nature Reserve.

**Key words:** *Picea asperata* Mast population; DBH class structure; static life table; survival curve; spatial distribution pattern