

东大河林区青海云杉种群结构与动态

刘建泉¹, 孙建忠², 杨开恩², 赵守平²

(1. 甘肃祁连山国家级自然保护区管理局, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃祁连山国家级自然保护区 东大河保护站, 甘肃 永昌 737200)

摘要:以“空间代时间”的方法, 用种群大小级结构代替年龄结构, 采用静态生命表、生存分析方法, 探讨了东大河林区青海云杉种群的结构和动态规律。结果表明, 东大河林区青海云杉种群结构合理, 为增长型种群; 种群存活曲线属 Deevey-Ⅱ型, 在整个生活史中死亡率稳定; 种群的死亡数、生命期望和消失率分别在幼苗、幼树胸径达到 14 cm 和 22 cm 出现波动, 个体通过环境筛的压力增大, 种群生命表和存活曲线从整体上反映了东大河林区青海云杉种群数量动态变化趋势; 在胸径达到 14 cm 和 22 cm 时, 4 个生存函数均出现程度不同的波动, 与种群静态生命表分析结果吻合。

关键词:东大河林区; 青海云杉种群; 静态生命表; 生存分析

中图分类号:S791.180.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)02-0018-04

Structure and Dynamics of *Picea crassifolia* Population in Dongdahe Forest Area of Qilian Mountains Nature Reserve

LIU Jian-quan¹, SUN Jian-zhong², YANG Kai-en², ZHAO Shou-ping²

(1. Administration of Qilianshan National Nature Reserve, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Dongdahe Station of Qilianshan National Nature Reserve, Yongchang, Gansu 737200, China)

Abstract: With the method of spatial sere substituting for time sere, population size class structure substituting for age structure, and using standard life table and survival analysis, the structure and dynamics of *Picea crassifolia* population in Dongdahe forest area of Qilian Mountains Nature Reserve were studied. The results showed that the population structure in Dongdahe area was reasonable and it was an expanding population. Population survival curve accorded to Deevey Ⅱ, the mortality rate was stable in all life history. Population mortality rate, life expectancy and the disappearance rate fluctuated in seedling and sapling stages, as well as when the tree DBH reached 14 cm and 22 cm. The pressure of individuals to pass the environmental sieve increased. Population life tables and survival curves well represented the population dynamics trends of *P. crassifolia* population. Four survival functions appeared changes with different levels while the DBH reached 14 cm and 22 cm, in accordance with the result of population standard life table.

Key words: Dongdahe forest area; *Picea crassifolia* population; standard life table; survival analysis

种群结构和动态是生态学研究的核心内容之一。青海云杉(*Picea crassifolia*)林是东大河林区唯一的常绿针叶乔木林, 发挥着重要的生态和社会效益, 对维护金昌市的生态安全、促进区域社会经济环境的可持续发展具有举足轻重的作用。有关青海

云杉群落和种群生态学已有较多报道^[1-6], 但对东大河林区青海云杉群落和种群的研究尚报道少。用“空间代时间”的方法, 研究了东大河林区青海云杉种群的结构和动态, 旨在为东大河林区水源涵养林的保护、恢复和可持续经营提供理论依据。

1 研究区概况

东大河林区位于河西走廊祁连山中部冷龙岭北麓,金昌市永昌县东大河、西大河中游,101°24′~102°10′E、38°01′~38°10′N,总面积 3.35 万 hm²,海拔 2 400~4 000 m,是石羊河流域重要的水源涵养林区。该区属大陆性高寒半湿润气候,年平均气温 1.9℃,最高为 31℃,最低为-25℃,年降水量 385.2 mm,多集中于 7、8、9 月,年蒸发量 1 258.3 mm,年均相对湿度约 50%~60%,气候干燥、寒冷,植物生长期 135~150 d;土壤有山地灰钙土、山地栗钙土、山地黑钙土、亚高山草甸土等,土壤母质为次生黄土或坡积物;主要植被有青海云杉林、爬地柏(*Sabina vulgaris*)灌丛、高山柳(*Salix* spp.)灌丛、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)灌丛、金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛等,构成山地荒漠植被带、山地森林草原植被带、亚高山灌丛植被带、高山草甸植被带等垂直带谱;青海云杉林呈块状或条状分布在 2 500~3 400 m 的阴坡或半阳坡上,面积、蓄积分别占全林区的 98.96%和 99.45%,青海云杉是青海云杉林唯一的建群种和优势种。

2 材料与方法

2.1 样地调查

根据 2008 年森林资源规划设计调查结果,利用林相图初步确定青海云杉林不同立地类型的样地位置;经过现场踏查后,确定样地的准确位置,用 GPS 定位,设置 20 m×20 m 的样地,进行环境调查,记录经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位、人为和自然干扰等环境因子;将样地划分成 5 m×5 m 的相邻格子样方 16 个,进行植被调查,记录植物种类、高度、盖度、生活型等植被因子,对乔木进行每木检尺,记录树种、郁闭度、胸径(树高≥1.5 m)、地径(树高<1.5 m);在样地的下方挖土壤剖面,按自然层次记录土壤剖面性状,测定土壤含水率。共调查样地 10 块,样方 160 个。

2.2 数据处理

2.2.1 个体大小级的确定 青海云杉种群的胸径与年龄有显著的相关性,因此可以用胸径代替种群个体的大小^[1]。树高<1.5 m 为幼苗、幼树,大小级为 1,树高≥1.5 m 的按 2 cm 径阶,将 2、4、6、8、……、48 cm 径阶为大小级,划分成 2~25 个大小级,共 25 个大小级,分析种群结构。

2.2.2 种群生命表的编制 将样地株数换算成株数·hm⁻²,按照静态生命表的编制方法,编制青海

云杉种群静态生命表;以生命表的标准化存活个体数(N_x)的对数($\ln N_x$)为纵坐标,大小级为横坐标(x),绘制青海云杉种群的存活曲线^[7-12]。

2.2.3 生存分析 利用 4 个种群生存函数,即种群生存率函数 S_t 、累计死亡率函数 F_t 、死亡密度函数 f_t 和危险率函数 λ_t 分析青海云杉种群结构,这 4 个函数用下列公式计算: $S_t=S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$ (S_i 为存活率), $F_t=1-S_t$, $f_t=(S_{t-1}-S_t)/h_i$ (h_i 为大小级宽度,取值为 2), $\lambda_t=2(1-S_t)/[h_i(1+S_t)]$ ^[13-19]。

3 结果与分析

3.1 种群年龄结构

青海云杉是东大河林区唯一的常绿乔木优势种,种群最大密度 8 450 株·hm⁻²,最小密度 1 500 株·hm⁻²,平均密度为 4 300 株·hm⁻²,70%的样地低于平均密度,密度分布非常不均匀。根据青海云杉林的 4 个年龄段^[1],青海云杉幼苗、幼树株数 2 113 株·hm⁻²,占 49.13%;小树 1 433 株·hm⁻²,占 33.31%;中树 523 株·hm⁻²,占 12.15%;大树 233 株·hm⁻²,占 5.41%,种群结构合理。

3.2 大小级结构

根据 25 个大小级,绘制青海云杉种群大小级结构图(图 1)。图 1 表明,东大河林区青海云杉种群幼苗幼树(1 级)数量充足,2、6 级数量偏少,12 级数量偏多,其他大小级种群数量基本合理;从 1 级到 2 级、5 级到 6 级的生长过程中,个体死亡率较高,种群整体表现为增长型种群。

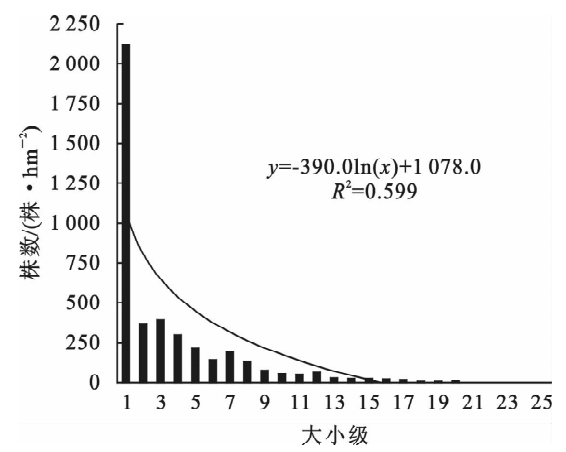


图 1 东大河林区青海云杉种群结构
Fig. 1 Structure of *P. crassifolia* population in Dongdahe forest area

3.3 种群静态生命表分析

由种群静态生命表(表 1)可以看出,随着年龄的增加,青海云杉种群的死亡数(D_x)大致呈逐渐减小的趋势,1~6 级个体具有较高的死亡数,特别是 1 级的

死亡数最大,8级和12级分别出现死亡数的小峰值,其他大小级的死亡数保持相对稳定;平均存活数(L_x)和存活总数(T_x)稳定减少;生命期望(E_x)1级较小,2级最大,2级以后逐渐减小,23级时达到最小;消失率(K_x)1级最大,2级以后消失率呈波动上升至12级后

迅速降低,到13级时达到最小,随后又波动上升。青海云杉种群的死亡数、生命期望和消失率分别在1级、8级(胸径14 cm)和12级(胸径22 cm)出现异常,种群中个体通过环境筛的压力增大。

表 1 东大河林区青海云杉种群生命表
Table 1 Standard life table of *P. crassifolia* population in Dongdahe forest area

| 径阶 | 大小级 | 平均株数 | 调整株数 | N_x | D_x | P_x | L_x | T_x | E_x | K_x |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|---------|
| 1 | 1 | 2 113 | 2 113 | 1 000 | 812 | 0.19 | 594.06 | 1 535.26 | 1.535 3 | 1.191 6 |
| 2 | 2 | 365 | 398 | 188 | 15 | 0.92 | 180.43 | 941.20 | 5.003 1 | 0.133 1 |
| 4 | 3 | 398 | 365 | 173 | 30 | 0.83 | 157.95 | 760.77 | 4.404 1 | 0.244 9 |
| 6 | 4 | 303 | 303 | 143 | 39 | 0.73 | 123.64 | 602.82 | 4.210 7 | 0.224 3 |
| 8 | 5 | 220 | 220 | 104 | 11 | 0.90 | 98.79 | 479.18 | 4.602 3 | 0.190 7 |
| 10 | 6 | 148 | 198 | 93 | 24 | 0.75 | 81.64 | 380.38 | 4.069 6 | 0.199 9 |
| 12 | 7 | 198 | 148 | 70 | 6 | 0.92 | 66.85 | 298.75 | 4.279 7 | 0.273 0 |
| 14 | 8 | 135 | 135 | 64 | 26 | 0.59 | 50.88 | 231.90 | 3.629 6 | 0.360 0 |
| 16 | 9 | 80 | 80 | 38 | 5 | 0.88 | 35.49 | 181.02 | 4.781 3 | 0.162 5 |
| 18 | 10 | 58 | 70 | 33 | 6 | 0.82 | 30.17 | 145.53 | 4.392 9 | 0.147 6 |
| 20 | 11 | 53 | 58 | 27 | 2 | 0.91 | 26.03 | 115.36 | 4.239 1 | 0.287 7 |
| 22 | 12 | 70 | 53 | 25 | 11 | 0.57 | 19.52 | 89.33 | 3.595 2 | 0.361 0 |
| 24 | 13 | 30 | 30 | 14 | 1 | 0.92 | 13.61 | 69.81 | 4.916 7 | 0.044 5 |
| 26 | 14 | 28 | 28 | 13 | 0 | 1.00 | 13.01 | 56.20 | 4.318 2 | 0.146 6 |
| 28 | 15 | 28 | 28 | 13 | 4 | 0.73 | 11.24 | 43.19 | 3.318 2 | 0.236 4 |
| 30 | 16 | 20 | 20 | 9 | 1 | 0.88 | 8.87 | 31.95 | 3.375 0 | 0.143 1 |
| 32 | 17 | 18 | 18 | 8 | 1 | 0.86 | 7.69 | 23.07 | 2.785 7 | 0.367 7 |
| 34 | 18 | 8 | 15 | 7 | 4 | 0.50 | 5.32 | 15.38 | 2.166 7 | 0.405 5 |
| 36 | 19 | 8 | 8 | 4 | 0 | 1.00 | 3.55 | 10.06 | 2.833 3 | 0.182 3 |
| 38 | 20 | 15 | 8 | 4 | 1 | 0.67 | 2.96 | 6.51 | 1.833 3 | 0.510 8 |
| 40 | 21 | 0 | 5 | 2 | 1 | 0.50 | 1.77 | 3.55 | 1.500 0 | 0.405 5 |
| 42 | 22 | 3 | 3 | 1 | 0 | 1.00 | 1.18 | 1.77 | 1.500 0 | 0.693 1 |
| 44 | 23 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0.00 | 0.59 | 0.59 | 0.500 0 | |
| 46 | 24 | 3 | 0 | | | | | | | |
| 48 | 25 | 5 | 0 | | | | | | | |

3.4 种群存活曲线

从种群存活曲线(图 2)可以看出,1级个体有较低的成活率,环境筛的选择强度较大,只有大约19%的幼苗能穿过此筛存活到2级,随着年龄增长,环境筛的选择强度减小,种群的成活率逐渐趋于稳定,种群存活曲线接近直线,属Deevey-II型存活曲线;用直线方程和指数方程对Deevey-II型和Deevey-III型存活曲线进行检验,得到2组方程: $y = -0.253\ 0x + 6.137\ 3(R^2 = 0.969\ 2, t_{0.05} = 45.469\ 9 > p = 1.831\ 0E-22)$,和 $y = 10.183\ 6e^{-0.12x}(R^2 = 0.730\ 4, t_{0.05} = 10.401\ 9 > p = 9.675\ 1E-10)$,2组方程都有显著的回归效果,但直线方程的相关系数更大,由此判定,东大河林区青海云杉种群存活曲线属Deevey-II型,在整个生活史中,种群有稳定的死亡率。

3.5 种群的生存函数

随着大小级的增加,东大河青海云杉种群生存率函数 S_t 和死亡密度函数 f_t 呈单调下降趋势,在1~8级下降幅度较大,在5级和7级有明显的波动,8级以后逐渐变缓;个体存活至5级(胸径8 cm)的

概率只有9.35%,存活至8级(胸径14 cm)的概率降低至3.79%,存活至12级(胸径22 cm)的概率只有1.42%。累计死亡率函数 F_t 和危险率函数 λ_t 随着大小级的增加呈单调上升趋势,在8级以前迅速增大,在5级和7级有明显的波动,8级以后逐渐变缓,5级时个体累计死亡率达到90.65%,到8级时达到96.21%,到12级时达到98.58%。

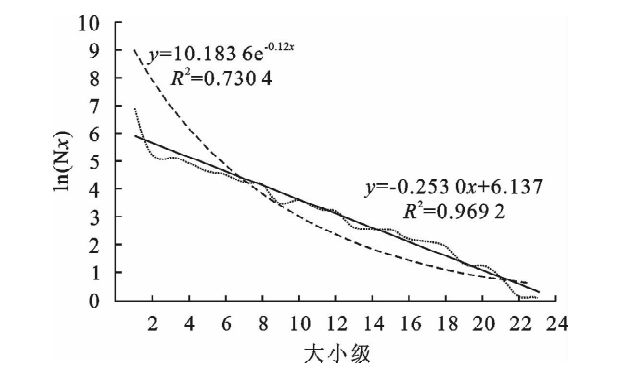


图 2 东大河林区青海云杉种群存活曲线
Fig. 2 Survival curve of *P. crassifolia* population in Dongdahe forest area

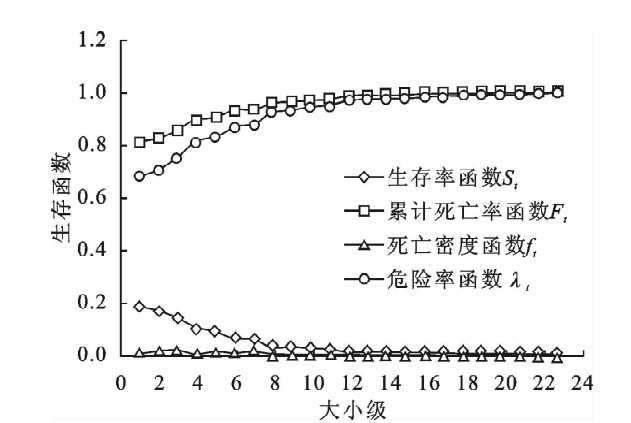


图3 东大河林区青海云杉种群的生存函数

Fig. 3 Survival function of *P. crassifolia* population in Dongdahe forest area

4 结论与讨论

对于长命多年生植物种群,应用空间差异代替时间变化的方法来研究其动态具有实际意义,年龄结构和静态生命表以及种群动态预测都是基于现有调查数据,能够反映种群的基本属性,结果符合种群的自然动态规律^[13]。东大河林区经过 30 a 的保护和恢复,青海云杉种群结构合理,幼苗幼树数量多,表现为增长型种群;种群静态生命表显示,种群的存活曲线为 Deevey-Ⅱ型,在整个生活史中各大小级有相对稳定的死亡率,但在局部稍有波动;在生长过程中,青海云杉个体死亡数的高峰分别出现在幼苗幼树阶段、胸径达到 14 cm 和 22 cm 时,环境筛对种群有强烈的选择作用;存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线从整体上反映了青海云杉种群数量的动态变化趋势。

生存函数是任意时刻的函数,比存活曲线更加直观、具体,在种群生命表分析中具有很高的实际应用价值^[13-14]。4 个生存函数很好地说明了青海云杉种群的结构和动态变化,在胸径达到 14 cm 和 22 cm 时,4 个生存函数均出现程度不同的波动,与种群静态生命表分析结果吻合。

参考文献:

[1] 刘建泉,丁国民,郝虎,等. 青海云杉群落特征和动态研究[J]. 西北林学院学报,2008, 23 (1):14-17.
LIU J Q, DING G M, HAO H, *et al.* Structure and dynamic of *Picea classifolia* community in Qilian Mountains Forest Area[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23 (1):14-17. (in Chinese)

[2] 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):221-227.
LIU J Q, QU Y C, WANG X F, *et al.* Structure characteristics of *Picea crassifolia* communities in Qilian mountains forest area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environ-

ment,2009,23(7):121-125. (in Chinese)

[3] 刘建泉. 祁连山保护区青海云杉种群分布格局的研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):152-155.
LIU J Q. Spatial pattern of *Picea crassifolia* population in Qilianshan nature conservation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004,19(2):152-155. (in Chinese)

[4] 郝虎,刘兴明,宋采福,等. 祁连山北坡苔藓—青海云杉林优势种空间分布格局研究[J]. 甘肃林业科技,2005,30(4):9-12.
HAO H, LIU X M, SONG C F, *et al.* Spatial distribution pattern of predominant species in moss-*Picea crassifolia* forest in north slope of Qilian Mountains[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2005,30(4):9-12. (in Chinese)

[5] 刘建泉,李成龙,杨建红,等. 青海云杉群落优势种群空间格局多样性研究[J]. 现代农业科技,2010(8):216-218.
LIU J Q, LI C L, YANG J H, *et al.* Diversity research of spatial patter about *Picea crassifolia* community dominant population[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010 (8):216-218. (in Chinese)

[6] 邸华,刘建泉,丁国民,等. 祁连山北坡草类—青海云杉林优势种群分布格局分析[J]. 甘肃林业科技,2009,34(3):5-8,32.
DI H, LIU J Q, DING G M, *et al.* Analysis on the distribution pattern of grass-*Picea crassifolia* forest dominant population in the northrn slope of Qilian Mountains[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2009,34(3):5-8,32. (in Chinese)

[7] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京:中国林业出版社,1992:8-26.

[8] 洪伟,王新功,吴承祯,等. 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析[J]. 应用生态学报,2004,15(6):1109-1112.
HONG W, WANG X G, WU C Z, *et al.* Life table and spectral analysis of endangered plant *Taxus chinensis* var. *mairei* population[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15 (6):1109-1112. (in Chinese)

[9] 李先琨,向悟生,唐润琴. 濒危植物元宝山冷杉种群生命表分析[J]. 热带亚热带植物学报,2002,10(1):9-14.
LI X K, XIANG W S, TANG R Q. Analysis of the life table of endangered population *Abies yuanbaoshanensis* [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10 (1): 9-14. (in Chinese)

[10] 杨慧,娄安如,高益军,等. 北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局[J]. 植物生态学报,2007,31(2):272-282.
YANG H, LOU A R, GAO Y J, *et al.* Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the Dongling Mountain, Beijing, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2007, 31 (2): 272-282. (in Chinese)

[11] 何东,魏新增,李连发,等. 神农架山地河岸带连香树的种群结构与动态[J]. 植物生态学报,2009,33(3):469-481.
HE D, WEI X Z, LI L F, *et al.* Population structure and dynamics of *Cercidiphyllum japonicum* in riparian zones of the Shennongjia mountainous region, central China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(3):469-481. (in Chinese)