

甘肃祁连山青海云杉种群数量动态的初步研究

丁国民¹, 刘兴明¹, 倪自银², 彭吉廷³

(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山保护站, 甘肃 张掖 734000;
3. 甘肃祁连山国家级自然保护区马蹄保护站, 甘肃 张掖 734028)

摘要: 用生存分析和静态生命表研究方法, 在祁连山国家级自然保护区调查了 16 个 (20 m × 20 m) 样地, 分析青海云杉 (*Picea crassifolia* Kom.) 种群数量动态和年龄结构。结果表明, 不同种群年龄结构不同, 属顶级群落的苔藓-青海云杉林、草类-青海云杉林表现为衰退型种群; 灌木-青海云杉林、马先蒿-青海云杉林为增长型种群。1~5 龄级存活曲线较陡, 种群死亡率较高; 5 龄级以后存活曲线相对平缓, 死亡率较低。采用指数方程和幂函数对生存曲线的类型进行检验, 苔藓-青海云杉林、草类-青海云杉林和标准化青海云杉林的生存曲线符合 Deevey III 型曲线; 灌木-青海云杉林、马先蒿-青海云杉林的生存曲线符合 Deevey II 型曲线。种群数量变化的回归分析和青海云杉生态寿命与环境因子相关性分析表明, 青海云杉种群存活数变化和生态寿命与种群密度有关。

关键词: 青海云杉; 生命表; 存活曲线; 种群动态

中图分类号: Q948.12⁺1; S791.189.02 文献标识码: A 文章编号: 1004-0978(2005)04-0036-06

A preliminary study of population dynamics of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains, Gansu Province DING Guo-min¹, LIU Xing-ming¹, NI Zi-yin², PENG Ji-ting³ (1. Administration Bureau of Qilianshan National Nature Reserve, Zhangye 734000, China; 2. Dongdashan Station of Qilianshan National Nature Reserve, Zhangye 734000, China; 3. Mati Station of Qilianshan National Nature Reserve, Zhangye 734028, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2005, 14(4): 36-41

Abstract: Sixteen demonstration terra (20 m × 20 m) were investigated in Qilianshan National Nature Reserve to study the population number dynamics and age structure of *Picea crassifolia* Kom. by means of the survival data analysis and the static life table. The results indicated that different population had different age structure, lichen- and grass-*P. crassifolia* forests were decline populations, shrub- and *Pedicularis* sp.-*P. crassifolia* forests belonged to increscent populations. The survival cruve in 1-5 age class was abrupt with high death rate of population, while the survival curve after 5 age class was even with low death rate. When checking up survival curve type with the exponential equation and the power function, the results indicated that the survival curve of lichen-, grass- and standardization *P. crassifolia* forests accorded with Deevey III curve, while that of shrub- and *Pedicularis* sp.-*P. crassifolia* forests accorded with Deevey II curve. The regression analysis of population number change and the correlativity analysis of ecology age of *P. crassifolia* with environmental factors showed that the change of survival number of *P. crassifolia* population was correlative with population density.

Key words: *Picea crassifolia* Kom.; life table; survival curve; population dynamics

青海云杉 (*Picea crassifolia* Kom.) 属松科 (Pinaceae) 云杉属 (*Picea* Dietr.) 植物, 是中国青藏高原东北边缘的特有树种, 分布于中国西北的甘肃、青海、宁夏、内蒙古等省区。青海云杉是甘肃祁连山国家级自然保护区森林群落的主要建群种, 多生长于海拔 2 600 ~ 3 400 m 的阴坡和半阴坡, 形成纯林, 面积约 10.68 × 10⁴ hm²。仅有少部分的青海云杉与祁连圆柏 (*Sabina przewalskii* Kom.)、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.)、山杨 (*Populus davidiana* Dode) 等形成混交林, 面积

约 0.41 × 10⁴ hm²。青海云杉种群是祁连山自然保护区水源涵养林主要森林类型, 研究青海云杉种群生存特性, 对青海云杉种群保护及祁连山水源涵养林的可持续经营具有重要的理论和现实意义。为此, 采用种群生命表及生存分析理论对青海云杉种群数量动态和年龄结构进行初步探讨, 以期对青海

收稿日期: 2005-03-23

基金项目: 甘肃省科学事业费资助项目

作者简介: 丁国民 (1966-), 男, 甘肃高台人, 大学, 副高级工程师, 主要研究方向为森林生态学。

云杉森林资源的保护与管理及青海云杉林天然更新、森林植被的恢复提供相关的理论依据。

1 研究区自然概况

研究区域位于祁连山国家级自然保护区青海云杉林分布范围内, 位于东经 $99^{\circ}25'$ ~ $103^{\circ}28'$, 北纬 $36^{\circ}45'$ ~ $39^{\circ}36'$ 。年平均气温 0.4°C ~ 2.4°C , 10°C 以上有效积温为 317.0°C ~ 1219.2°C , 年降水量 $400 \sim 600 \text{ mm}$ 。随海拔升高, 依次出现针阔叶混交林、灌木-青海云杉林、马先蒿-青海云杉林、草类-青海云杉林和苔藓-青海云杉林。土壤以山地灰褐土为主, 土壤厚度 $50 \sim 200 \text{ cm}$, 土壤平均含水量为 41.32% , 土层较薄, 自然生态条件脆弱。

2 研究方法

2.1 样地调查

选择不同生境、不同类型的青海云杉群落设立样地 16 块 (青海云杉混交林在此不作讨论), 样地面积 1 hm^2 。每个样地设立 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的调查样方, 采用相邻格子样方法划分为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的 16 块小样方, 沿样地的对角线设 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方 3 块和 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方 3 块进行群落特征调查。调查内容有: 1) 生境: 地形、地貌、土壤、海拔、经纬度、坡度、坡向、坡位等; 2) 群落学特征: 群落组成、植物种类、高度、盖度、频度等; 3) 种群调查: 用每木检尺法测量小样方内青海云杉林的树高和胸径。

2.2 龄级结构确定

以 20 a 为 1 个龄级划分种群的龄级结构, 并采用胸径与年龄相关的数学模型^[1] $D = a + b/A$ ($R = 0.989$, $D \geq 2 \text{ cm}$, D 为胸高直径, A 为个体年龄) 逆推各龄级的径级。各龄级的径阶分别为: 1 龄级苗期 $D < 2 \text{ cm}$; 2 龄级幼龄林 $2 \text{ cm} \leq D < 5 \text{ cm}$; 3 龄级中幼龄林 $5 \text{ cm} \leq D < 17 \text{ cm}$; 4 龄级中龄林 $17 \text{ cm} \leq D < 23 \text{ cm}$; 5 龄级近熟林 $23 \text{ cm} \leq D < 27 \text{ cm}$; 6 龄级以后为成、过熟林, 生长缓慢, 胸径每增加 2 cm 为 1 个龄级。将同种群同龄级所有样地的株数合并组成各种群龄级结构基本数据, 绘制种群年龄结构表。

2.3 青海云杉种群生命表的编制

2.3.1 数据处理 种群生命表编制中数据的处理

有多种方法^[2~4]。本研究依种群的实际存活率将调查数据划分为 2 段处理, 即 1~5 龄级和 5 龄级以后。1~5 龄级由于初始种群数量缺失, 不宜采用匀滑数据技术, 而采用 Richards-Waloff 法^[2,3] 处理; 5 龄级以后的数据采用匀滑技术处理^[3,5]。

2.3.2 存活曲线的绘制和类型检验

存活曲线的绘制有 2 种方法^[2~4,6]。本文以标准化存活比率 lx 为纵坐标, 以龄级为横坐标作图, 绘制不同群丛青海云杉种群存活曲线和标准青海云杉种群存活曲线。

指数方程式 $Y = ae^{bx}$ 用于描述 Deevey II 型曲线, 幂函数式 $Y = ax^b$ 描述 Deevey III 型曲线^[7]。本文采用上述 2 种模型进行青海云杉种群存活曲线类型的检验, 并进行 F 检验和相关性检验。

2.3.3 静态生命表的编制

以各种群年龄结构数据为基础, 编制青海云杉种群静态生命表^[2~5,8]。

种群生存分析采用以下 4 个函数进行, 即生存率函数 $S(t)$, 积累死亡率函数 $F(t)$, 死亡率密度函数 $f(t)$ 和危险率函数 $\lambda(t)$ 。在生命表中这 4 个函数^[5,8] 常用下列公式估算: $S_i = P_1 P_2 \cdots P_i$ (P_i 为存活率); $F_i = 1 - S_i$; $f(t) = (S_{i-1} - S_i)/h_i = S_{i-1}q_i/h_i$; $\lambda(t) = f_i/s_i = 2q_i/h_i(1 + p_i)$, 其中 h_i 是第 i 间隔期的时间长度, 即龄级宽度 Δx 。

2.3.4 种群数量变化的回归分析

种群数量变化回归分析可适用于同一世代不同发育阶段个体数变化的分析^[3]。属同一世代发育阶段的个体数对数为 N_i , 则下一发育阶段的个体数对数为 N_{i+1} , $N_{i+1} = bN_i + c$ 。若 $b = 1$, 生存数与密度无关; $b < 1$, 生存数与密度有关; $b > 1$, 生存数与密度无关。

2.3.5 平均年龄与环境因子相关性分析

根据 16 个样地的环境因子数据 (种群密度、郁闭度、海拔、土壤容重、毛管空隙度、土壤含水率、土壤厚度、坡度) 与种群平均年龄 T_e , 应用甘肃农业大学林学院森林经理研究室提供的《林业系统工程应用》软件, 进行青海云杉平均年龄与环境因子相关性分析。

3 结果和分析

3.1 不同类型青海云杉种群的年龄结构

苔藓-青海云杉林 (A)、草类-青海云杉林 (B)、灌木-青海云杉林 (C)、马先蒿-青海云杉林 (D)、标准化青海云杉 (E) 种群年龄结构见表 1。不同类型的青海云杉种群年龄结构差异较大。草类-

青海云杉林种群年龄最大,达到 270 a;灌木-青海云杉林种群年龄最小,只有 150 a;苔藓-青海云杉林、马先蒿-青海云杉林种群的年龄均为 190 a。种群生存年龄与种群结构和所处的自然条件关系密切。顶级群落苔藓-青海云杉林、草类-青海云杉林 1~2 龄级的幼苗、幼树受主林层的干扰较大,幼苗、幼树过早大量死亡,造成幼苗、幼树缺乏,林下天然更新不良,天然更新主要发生在由风倒、雪折、病

腐和人为干扰形成的林窗和林隙中。灌木-青海云杉林、马先蒿-青海云杉林分布于林缘或河滩谷地,不是祁连山青海云杉顶级群落,多为幼龄林,天然更新相对较好,灌木-青海云杉林幼苗充足,马先蒿-青海云杉林幼树充足,表现为增长型种群,随着林龄的增大和群落的进一步演替,林下灌木会逐渐枯死,逐步向草类-青海云杉林过度。

表 1 不同类型青海云杉种群的年龄结构
Table 1 Age structure in different populations of *Picea crassifolia* Kom.

种群 ¹⁾ Population ¹⁾	不同年龄存活数/株·hm ⁻² Number of survival individual in different ages													
	10 a	30 a	50 a	70 a	90 a	110 a	130 a	150 a	170 a	190 a	210 a	230 a	250 a	270 a
A	241.7	375.0	1 254.2	362.5	129.2	41.7	25.0	25.0	29.2	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
B	56.3	93.8	312.5	162.5	125.0	25.0	18.6	56.3	43.8	25.0	18.8	0.0	18.8	6.3
C	2 012.5	262.5	325.0	137.5	50.0	12.5	12.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	425.0	1 150.0	1 075.0	475.0	175.0	25.0	0.0	25.0	25.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E	683.9	470.3	741.7	284.4	119.8	26.1	14.1	29.7	24.5	15.6	4.7	0.0	4.7	1.6

¹⁾ A: 苔藓-青海云杉林 Lichen-*P. crassifolia* forest; B: 草类-青海云杉林 Grass-*P. crassifolia* forest; C: 灌木-青海云杉林 Shrub-*P. crassifolia* forest; D: 马先蒿-青海云杉林 *Pedicularis* sp.-*P. crassifolia* forest; E: 标准化青海云杉林 Standardization *P. crassifolia* forest.

3.2 存活曲线的绘制及检验

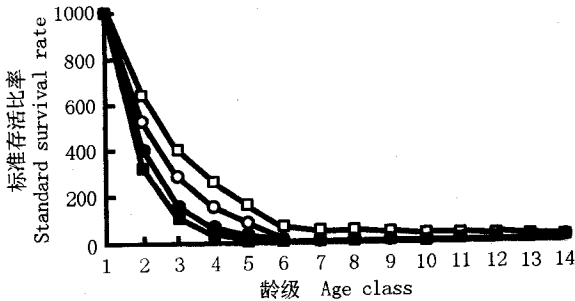
3.2.1 存活曲线的分析 青海云杉不同种群存活曲线和标准存活曲线见图 1 和图 2。结果表明,不同类型青海云杉种群存活曲线基本一致,随龄级增加,存活率单调下降。1~5 龄级曲线较陡,表明种群前期死亡率较高;6 龄级以后曲线较缓,死亡率较低。不同类型青海云杉种群存活曲线的差异是曲线的斜率不同,曲线越陡,斜率越大,种群的死亡率越高;曲线越平缓,斜率越小,种群的死亡率越低。图 1A 是苔藓-青海云杉林种群的存活曲线,种群生态寿命为 19.595 a,苔藓-青海云杉林自然分布于草类-青海云杉林之上,分布区域坡度较大,土层较薄、地表苔藓层疏松,利于种子的萌发和天然更新,种群密度为 2 495.8 株·hm⁻²。随着海拔增高,热量条件变差,由于生境和立地条件较差,1~5 龄级种群死亡率较高,存活曲线最陡。图 1B 为草类-青海云杉种群的存活曲线,种群生态寿命为 44.619 a,草类-青海云杉林处于青海云杉分布的中间区域,坡度平缓、土层较厚、自然条件较好,种群能达到最大存活年龄,但由于草皮和草丛的影响,土壤表层紧实,不利于青海云杉种子的发芽和天然更新,种群密度较低,为 962.5 株·hm⁻²,1~5 龄级种群的死亡率较低。图 1C 为灌木-青海云杉林种群的存活曲线,种群生

态寿命为 23.36 a,灌木-青海云杉林自然分布于草类云杉林以下的疏林中,林分郁闭度 0.3~0.5,多为幼龄林,种群密度 2 825.0 株·hm⁻²。由于灌木层的遮蔽,为幼苗生存创造了优良的条件,幼苗充足,但灌木林与青海云杉幼树发生水肥条件的竞争,影响幼树的存活率,种群死亡率低于苔藓-青海云杉林。图 1D 为马先蒿-青海云杉林种群存活曲线,种群生态寿命为 31.255 a,多分布于河滩谷地,自然条件相对优越,种群多以中幼龄林为主,种群密度最大,为 3 400.0 株·hm⁻²,种群死亡率低于灌木-青海云杉林。青海云杉 4 个种群的生存率都表现为随年龄增加而单调下降的趋势,累计死亡率正好相反,均单调上升,其下降或上升的速度为苔藓-青海云杉林最快,生态寿命最短;灌木-青海云杉林次之;马先蒿-青海云杉林较缓;草类-青海云杉林最慢,生态寿命最长,种群较为稳定。青海云杉种群标准存活曲线(图 2E)介于以上 4 种青海云杉种群存活曲线之间,种群生态寿命为 23.667 a,反映了青海云杉种群存活特征的整体或平均状况。

3.2.2 存活曲线类型判别 采用 2 种模型(指数方程式 $Y = ae^{bx}$ 用于描述 Deevey II 型曲线,幂函数式 $Y = ax^b$ 描述 Deevey III 型曲线)进行青海云杉种群存活曲线类型模拟,并进行 F 检验和相关性检验。幂

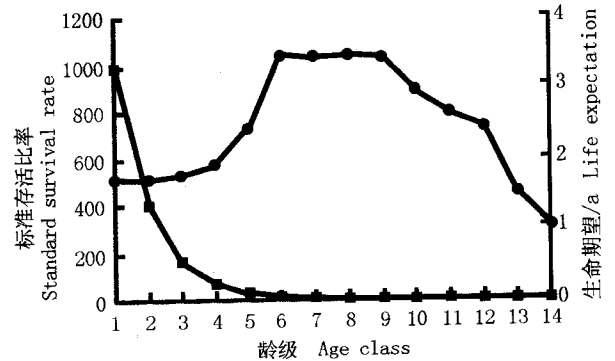
函数模型用于描述苔藓-青海云杉林、草类-青海云杉林和标准化青海云杉林较为合适, F 检验和相关性检验的值均高于指数方程模型, 因此, 存活曲线符合 Deevy III 曲线。灌木-青海云杉林和马先蒿-

青海云杉林用指数方程模型模拟较为合适, F 检验和相关性检验的值均高于幂函数模型, 因此, 其生存曲线符合 Deevy II 曲线。



—■— A: 苔藓-青海云杉林 Lichen-*P. crassifolia* forest; —□— B: 草类-青海云杉林 Grass-*P. crassifolia* forest; —●— C: 灌木-青海云杉林 Shrub-*P. crassifolia* forest; —○— D: 马先蒿-青海云杉林 *Pedicularis* sp.-*P. crassifolia* forest 1: 0-20 a; 2: 20-40 a; 3: 40-60 a; 4: 60-80 a; 5: 80-100 a; 6: 100-120 a; 7: 120-140 a; 8: 140-160 a; 9: 160-180 a; 10: 180-200 a; 11: 200-220 a; 12: 220-240 a; 13: 240-260 a; 14: 260-280 a

图1 青海云杉不同种群的存活曲线
Fig. 1 Survival curves of different populations of *Picea crassifolia* Kom.



—■— E 标准化青海云杉林 Standardization *P. crassifolia* forest; —●— 生命期望 Life expectation 1: 0-20 a; 2: 20-40 a; 3: 40-60 a; 4: 60-80 a; 5: 80-100 a; 6: 100-120 a; 7: 120-140 a; 8: 140-160 a; 9: 160-180 a; 10: 180-200 a; 11: 200-220 a; 12: 220-240 a; 13: 240-260 a; 14: 260-280 a

图2 青海云杉标准种群存活曲线
Fig. 2 Standard survival curve of *Picea crassifolia* Kom. population

表2 青海云杉不同种群的存活曲线模型及参数
Table 2 Models and parameters of survival curves of different populations of *Picea crassifolia* Kom.

种群 Population	$Y = ax^b$				$Y = ae^{bx}$			
	模型 Model	F	R	ln a	模型 Model	F	R	ln a
A	$y = 774.741.00x^{-2.50}$	182.799 0	-0.970 3	13.56	$y = 637.34e^{-0.03738x}$	88.184 5	-0.957 5	6.46
B	$y = 58.332.47x^{-1.43}$	139.008 4	-0.959 4	10.97	$y = 682.32e^{-0.01577x}$	108.745 8	-0.949 0	6.53
C	$y = 301.726.50x^{-2.13}$	55.418 4	-0.949 9	12.62	$y = 1.209.28e^{-0.04069x}$	178.368 3	-0.983 6	7.10
D	$y = 220.986.70x^{-1.94}$	45.884 6	-0.922 8	12.31	$y = 979.68e^{-0.02981x}$	57.829 3	-0.937 3	6.89
E	$y = 839.940.60x^{-2.42}$	209.636 1	-0.972 6	13.64	$y = 440.47e^{-0.02648x}$	123.502 8	-0.954 6	6.09

¹⁾ A: 苔藓-青海云杉林 Lichen-*P. crassifolia* forest; B: 草类-青海云杉林 Grass-*P. crassifolia* forest; C: 灌木-青海云杉林 Shrub-*P. crassifolia* forest; D: 马先蒿-青海云杉林 *Pedicularis* sp.-*P. crassifolia* forest; E: 标准化云杉林 Standardization *P. crassifolia* forest.

3.3 青海云杉种群生存特征分析

3.3.1 死亡率分析 青海云杉标准种群生命表见表3。从死亡率、致死力和平均期望寿命看, 青海云杉种群1~5龄级(0~90 a)具有较高的死亡率和致死力, 死亡率0.6~0.69, 消失率1.19~0.91; 6龄级以后种群死亡率和致死力逐渐降低, 种群趋于稳定。0~90 a平均期望寿命逐渐升高, 在6龄级(110 a)平均期望寿命达到最大值, 为3.35 a, 以后逐渐下降。青海云杉各种林型生命表体现的是不同生境条件下的种群数量动态, 是以标准生命表为基础的变形, 而标准生命表反映的是种群的基本属性。

3.3.2 生存分析 青海云杉标准种群4个生存函数见表4。从生存率看, 标准青海云杉林能够存活至

50 a的概率只有6.5%, 存活至90 a的概率只有0.8%。青海云杉种群累计死亡率上升很快, 在50 a左右已达到93.5%, 50~270 a的死亡率为6.5%, 表明林木的大量死亡主要发生在0~50 a间。从危险率看, 90 a有1个峰值, 90 a以前的危险率较高, 90 a以后的危险率较低。从种群的死亡率密度看, 树木年龄越小, 死亡密度越大, 0~90 a龄级种群的死亡密度呈下降趋势, 110 a以后死亡密度较低。

3.3.3 种群数量变化的回归分析 从图1和图2看青海云杉种群的生存曲线可明显分为2段, 即0~90 a及90 a以后。用16个样地调查数据编制生命表, 选择10~90 a和110~190 a 2个龄级青海云杉个体存活数对数进行线性回归分析, 结果如下:

$$N_{t+1} = -0.158\ 056\ 3 N_t + 2.389\ 497\ 19, r = -0.684\ (10 \sim 90\ a), r_{0.01} = 0.606;$$

$$N_{t+1} = 0.624\ 478\ 5 N_t - 0.373\ 085, r = -0.617\ (110 \sim 190\ a).$$

表3 青海云杉标准种群的标准生命表¹⁾
Table 3 Standard life table of *Picea crassifolia* Kom. population¹⁾

年龄/a Age	al	lx	dx	ex	qx	kx
10	27.35	1 000.00	598.11	1.69	0.6	0.91
30	18.81	401.89	240.13	1.71	0.6	0.91
50	29.67	161.77	96.85	1.75	0.6	0.91
70	11.38	64.91	38.82	1.88	0.6	0.91
90	4.79	26.09	18.13	2.35	0.69	1.19
110	1.04	7.96	2.23	3.35	0.28	0.33
130	0.56	5.72	1.61	3.26	0.28	0.33
150	1.19	4.12	1.16	3.15	0.28	0.33
170	0.98	2.96	0.83	2.99	0.28	0.33
190	0.63	2.13	0.60	2.76	0.28	0.33
210	0.19	1.53	0.43	2.45	0.28	0.33
230	0.00	1.10	0.31	2.02	0.28	0.33
250	0.19	0.79	0.22	1.42	0.28	0.33
270	0.06	0.57	0.57	1.00	1.00	0.56

¹⁾ al : 存活数/株 Survival individual; lx : 标准存活比率 Standard survival rate; dx : 死亡数/株 Mortality individual; ex : 生命期望/a Life expectation; qx : 死亡率 Mortality rate; kx : 致死力 Killing power.

表4 青海云杉标准种群4个生存函数的估计值¹⁾
Table 4 Estimated values of four survive functions of *Picea crassifolia* Kom. standard population¹⁾

年龄/a Age	S_i	F_i	f_i	λ
10	0.402	0.598	0.03	0.074
30	0.162	0.838	0.012	0.074
50	0.065	0.935	0.005	0.075
70	0.026	0.974	0.002	0.074
90	0.008	0.992	0.001	0.114
110	0.006	0.994	0.000	0.020
130	0.004	0.996	0.000	0.020
150	0.003	0.997	0.000	0.020
170	0.002	0.998	0.000	0.019
190	0.002	0.998	0.000	0.020
210	0.001	0.999	0.000	0.020
230	0.001	0.999	0.000	0.020
250	0.001	0.999	0.000	0.019
270	0.000	1.000	0.000	0.000

¹⁾ S_i : 生存率 Survival rate; F_i : 积累死亡率 Cumulative death rate; f_i : 死亡率密度 Mortality rate density; λ : 危险率 Hazard rate.

在0~90 a间, $b = -0.158\ 056\ 3$, $b < 1$, 表明青海云杉种群存活数对数的变化与密度有关, 青海云杉处于幼龄林阶段, 种群密度大, 对不利环境的抵抗

力弱, 造成树木大量死亡的原因是种内的竞争(如养分、水分、空间、光照)和种间的竞争。90 a以后, $b = 0.624\ 478\ 5$, $b < 1$, 存活数对数的变化也与密度有关, 但 b 值接近1, 表明密度对存活数对数的影响程度下降。调查表明, 90 a以后, 进入主林层的青海云杉个体的树冠、胸径不断扩大, 由于营养空间的竞争, 引起了林木分化和自然稀疏, 影响树木存活的主要因子是种内营养空间的竞争。随着树木年龄的继续增大, 种内竞争趋于缓和, 死亡率降低, 影响存活数的主要环境因子为自然灾害(如风倒、雪折、病虫害等)和人为干扰。

林木进入主林层的机会除了种内竞争和环境条件强度的筛选外, 还与林分结构的变化有关。林分中上层林木的林冠由于风倒、雪折、病腐等形成林隙, 中、幼龄林进入上层林分的机会增加; 相反林分发育良好、树冠浓密、郁闭度大则将减少这种机会。

3.3.4 种群生态寿命与环境因子的相关模型 种群平均寿命通常表示生态寿命。生态寿命表示生物在野外实际上平均生存多少年的数值, 是物种生物学特征与环境因子综合作用的结果^[3]。本文采用16个样地调查的资料, 选择8个环境因子指标(x_i)与青海云杉平均寿命进行相关性分析。结果表明生态寿命(Te)与种群密度(x_1)、郁闭度(x_2)、海拔(x_3)、土壤容重(x_4)、毛管空隙度(x_5)、土壤含水率(x_6)、土壤厚度(x_7)和坡度(x_8)的偏相关系数分别为-0.788 6、-0.548 9、-0.0421 2、-0.204 1、0.260 1、-0.231 1、0.138 9和-0.301 9, 临界值 $\alpha_{0.01} = 0.606$ 、 $\alpha_{0.05} = 0.482$; 复相关系数为0.903 5, 临界值 $\alpha_{0.01} = 0.875$ 。表明单项因子中, 只有种群密度对青海云杉种群的平均寿命的影响呈极显著负相关; 郁闭度对平均寿命的影响呈显著的负相关; 其他单项因子对平均寿命的影响相关性不显著。8个环境因子对平均寿命的综合影响呈极显著的相关性。

青海云杉种群的平均寿命(Te)与对应的环境因子(x_i)间建立的一对多回归模型为:

$$Te = 117.085\ 6 - 0.251\ 6x_1 - 53.571\ 3x_2 - 0.003\ 3x_3 - 39.503\ 1x_4 + 1.376\ 2x_5 - 0.736\ 5x_6 + 0.078\ 7x_7 - 0.486\ 5x_8.$$

4 讨 论

种群统计是研究种群数量动态的方法之一, 它

的核心是生命表,编制种群生命表的基础是调查数据的处理。对树木龄级的确定大多数学者采用径级代替龄级的方法建立龄级数据结构,径级段的划分缺乏科学依据,龄级和径级的对应关系不强。采用生长锥通过髓心钻取木芯以确定树木的年龄^[5,9],虽调查工作量大,但调查数据精确。调查数据的处理有数据的匀滑技术,平均龄期法估算、按生存率估算、龄级个体估算^[3]等多种方法,编制生命表应根据实际调查数据的特点,选择恰当的数据处理方法进行原始数据的处理,使生命表能准确的反映种群生存特征。

种群的存活曲线有 Deevy I、Deevy II 和 Deevy III 3 种类型,所绘制的存活曲线到底属于那种类型,大多凭存活率对比确定,缺乏科学的检验方法。本文采用 Hett 和 Loucks 的检验估算方法,即指数方程式 $Y = ae^{bx}$ 用于描述 Deevy II 型曲线,幂函数式 $Y = ax^b$ 描述 Deevy III 型曲线,并进行 F 检验和相关性检验,有一定的可取之处。

应用生命表进行种群存活率和死亡率以及影响种群存活率、死亡率的环境因子分析,是编制种群生命表的目的。由于云杉属的树种均为长寿命树种,在适宜的条件下树木的寿命可达 300 ~ 500 a,无法编制动态生命表进行分析,因而,本文采用静态生命表进行分析。经个体数变化的回归分析和种群生态

寿命与环境因子的相关模型的分析,表明青海云杉种群存活数的变化与种群密度有关。影响平均寿命的主要环境因子有种群密度和林分郁闭度,种群密度和林分郁闭度越大,营养空间、土壤水分、养分等争夺越激烈,种间竞争越强烈,自疏和它疏现象明显,对种群的生态寿命影响显著。

参考文献:

- [1] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 135-201.
- [2] 刘兴聪. 青海云杉[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1992. 48-54.
- [3] 伊藤昭嘉, 村井 实. 动物生态学研究法[M]. 郭祥光, 张志庆译. 北京: 科学出版社, 1986. 205-248.
- [4] 江 洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 5-30.
- [5] 吴承祯, 洪 伟, 谢金涛, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 333-336.
- [6] 袁志忠, 包维楷, 何丙辉. 岷江柏 4 个地理种群年龄结构动态比较分析[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(3): 25-30.
- [7] 于大炮, 周 莉, 董百丽, 等. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 30-34.
- [8] Silvertown J W. 植物种群生态学导论[M]. 祝宁, 等译. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1987. 10-79.
- [9] 李建贵, 潘存德, 彭世揆, 等. 天山云杉种群统计与生存分析[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 84-86.

(责任编辑: 张垂胜)

欢迎订阅 2006 年《热带亚热带植物学报》

《热带亚热带植物学报》是中国科学院主管、中国科学院华南植物研究所和广东省植物学会联合主办、科学出版社出版的国家级学术性期刊。主要刊载热带亚热带地区植物学研究的论文报告、科研简报、综述述评等;介绍植物学研究领域中各分支学科的新发现、新理论、新方法和新技术等,为推动植物学研究的发展和开发热带亚热带植物资源,为国民经济建设和科学技术进步做出贡献。主要读者对象为本学科的研究人员、大专院校师生等。

本刊创刊于 1993 年,国内统一连续出版物号为 CN44-1374/Q,是中国自然科学核心期刊。本刊多年来被美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《CAB

International》等多种专业文摘以及《中国科学引文数据库》、《中国生物学文摘》等收录。

本刊为双月刊,大 16 开铜版纸印刷,96 页,2006 年每册 15.00 元,全年订价 90 元(包括邮费)。可直接汇款至本刊编辑部或通过天津“联合征订服务部”订购,地址为:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,邮编:300385,电话:022-23973378。

编辑部地址:广州市乐意居中国科学院华南植物园内,邮编:510650,电话:020-37252514,传真:020-37252642, E-mail: jtsb@scib.ac.cn, 网址: http://ryzb.chinajournal.net.cn。