

DOI: 10.5846/stxb201403250544

张悦, 易雪梅, 王远遐, 姬兰柱, 吴培莉. 采伐对红松种群结构与动态的影响. 生态学报, 2015, 35(1): 0038-0045.

Zhang Y, Yi X M, Wang Y X, Ji L Z, Wu P L. Impact of tree harvesting on the population structure and dynamics of *Pinus koraiensis* (Pinaceae). Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 0038-0045.

采伐对红松种群结构与动态的影响

张悦^{1,2}, 易雪梅^{1,2}, 王远遐^{1,2}, 姬兰柱^{1*}, 吴培莉³

1 森林与土壤生态国家重点实验室, 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 吉林省露水河林业局宏伟种子园, 白山 134506

摘要: 红松是我国长白山阔叶红松林的主要建群种, 受森林采伐的影响, 种群数量急剧下降, 现已被列为国家二级保护植物。通过绘制种群静态生命表、生存函数、存活曲线和径级分布图, 研究原始林、15% 择伐、40% 择伐和皆伐后恢复的天然次生林内, 红松种群结构和动态的变化规律。结果表明: (1) 采伐干扰对红松种群的波动周期影响不大, 15% 的择伐强度可以提高红松种群的生存期望。(2) 原始林和 15% 择伐林内红松种群存活曲线均为 Deevey II 型, 种群处于稳定期; 40% 择伐林内存活曲线介于 Deevey II 型和 Deevey III 型之间, 种群由稳定期向成熟期过渡; 皆伐林内存活曲线为 Deevey I 型, 种群处在增长期。(3) 原始阔叶红松林、15% 择伐林和 40% 择伐林内, 红松种群径级结构均呈稳定的倒 J 型, 且在幼树阶段均存在生长更新的停滞现象; 与原始林相比, 15% 择伐林内幼树比例略有下降; 40% 择伐林和皆伐迹地, 随采伐强度的增加, 幼树比例明显增大。(4) 方差分析表明, 4 个种群的生存过程差异较大, 采伐干扰对红松种群生存过程的影响达到显著水平。

关键词: 生命表; 生存分析; 存活曲线; 年龄结构; 长白山

Impact of tree harvesting on the population structure and dynamics of *Pinus koraiensis* (Pinaceae)

ZHANG Yue^{1,2}, YI Xuemei^{1,2}, WANG Yuanxia^{1,2}, JI Lanzhu^{1,*}, WU Peili³

1 State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Jilin Province, Lushuihe Forestry Bureau, Hongwei Seed Orchard, Baishan 134506, China

Abstract: *Pinus koraiensis* is the main species present in Korean pine and broad-leaved mixed forests typically found on Changbai Mountain. Tree logging has had a significant impact on this species, resulting in its decline; it is currently listed as a State Protection Species (category ii). Here, we have presented the static life table, survival function table, survival curve, and diameter class distribution for *P. koraiensis* and analyzed its population structure and dynamics in a primary forest and secondary forests subjected to 15% selective logging, 40% selective logging, and clear cutting. The results showed that (1) harvesting did not significantly influence fluctuations in *P. koraiensis* populations. In addition, 15% selective logging improved the survival prospects of the populations. (2) In the primary forest and the forest subjected to 15% selective logging, population survival followed a Deevey II curve and was stable. In the forest subjected to 40% selective logging, population survival followed a pattern intermediate between the Deevey II and Deevey III curves, and the population was in a transition zone between a stable period and a mature period. In the forest subjected to clear cutting, population survival followed a Deevey I curve, and the trees were in the growth period. (3) Diameter class distribution for

基金项目: 国家“十二五”科技支撑资助项目子专题(2012BAD22B040101)

收稿日期: 2014-03-25; 修订日期: 2014-11-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ji.lanzhu@iae.ac.cn

all *P. koraiensis* populations followed a stable inverted J curve. In all cases, the results showed evidence of growth retardation during the sapling stage. The proportion of young trees was slightly lower in the forest subjected to 15% selective logging than in the primary forest; however, it increased concomitantly with the increase in cutting intensity in the forests subjected to 40% selective logging and clear cutting. (4) Analysis of variance showed that population survival varied significantly among the forests studied and was significantly influenced by tree logging.

Key Words: life table; survival analysis; survival curve; age structure; Changbai Mountain

森林作为陆地最大的生态系统,不仅能为人类提供木材,而且在保护环境、涵养水分、防止水土流失等方面都发挥着重要的作用。然而大量的森林采伐使得森林资源锐减、质量下降,关于森林采伐所带来的各种影响,一直受到国内外学者的积极关注^[1-4]。森林采伐迹地植物种群动态变化规律是森林开发利用、植被改造或重建、生物多样性保护的重要依据^[5-6]。植物种群数量动态是植物个体生存能力与外界环境相互作用的结果^[7-8]。研究植物种群的年龄结构、存活曲线和生命表不仅可以反映种群生存现状^[8],还可以展现植物种群与环境适应的结果,对阐明群落未来发展趋势也具有重要意义^[7,9-13]。

红松(*Pinus koraiensis*)是我国长白山阔叶红松林的主要建群种。近百年来,历经3次过度采伐,大范围的原始阔叶红松林遭到破坏^[14],红松已成为我国稀有物种,被列为国家二级保护植物^[15]。20世纪90年代,有关学者报道了小兴安岭天然红松林、长白山白桦林、云冷杉阔叶红松林、原始阔叶红松林内的红松种群数量变化的波动性、种群结构、更新格局动态和趋势等^[16-21],以期了解不同群落类型中红松种群的生存现状。近年来,有关采伐干扰对阔叶红松林中植物种群的影响已有少量报道。王惠等^[22]分析了采伐干扰下长白山阔叶红松林主要灌木种群在伐后不同年度资源维上的生态位动态特征;齐麟等^[23]研究了4种不同强度的采伐对白桦和红松的重要值以及幼树(胸径<10cm)占种群数量的比例的影响;倪瑞强^[24]研究了原始阔叶红松林及其次生林在不同演替阶段群落内,红松、紫椴(*Tilia amurensis*)、色木槭(*Acer mono*)等林中主要树种的径级结构。然而,不同森林经营方式(如择伐和皆伐)、不同森林经营强度(如轻度择伐、中度择伐)对红松种群影响的研究亟需展开,结合红松种群结构和动态的研究方法,从年龄结构、静态生命表、存活曲线、生存函数等的变化规律,阐述采伐干扰对红松种群的影响,可以为长白山阔叶红松林的经营管理和红松种群的恢复提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地概况

研究地在吉林省露水河林业局东升林场(42°24′—42°49′N, 127°29′—128°02′E),位于长白山西北麓,平均海拔700m;属于温带季风大陆性山地气候^[25],年平均气温为3.6℃,最冷月(1月份)平均气温为-15.6℃,最热月(7月份)平均气温为19.7℃;年平均降水量约700mm,且主要集中在7—9月,在480—500mm之间^[26-27]。土壤主要亚类有白浆暗棕壤、典型暗棕壤和暗色暗棕壤^[28]。地带性植被为阔叶红松林,分布于海拔500—1100m的玄武岩台地上^[29]。阔叶红松林群落类型以红松、紫椴、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)和色木槭等为主要建群种,林分结构复杂,多形成复层混交林^[25]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样地调查

露水河林业局1965年建局,主要从事木材和锯材生产,20世纪80年代以前采伐方式为大面积皆伐,后改为采育兼顾伐和径级伐^[30]。根据《露水河林业局森林经营方案》,1979年在露水河东升林场的阔叶红松林采取过小面积皆伐,1982年对红松种群采取过15%和40%择伐强度的采伐作业,而东升林场的21林班作为采伐作业的保留地,保持了原始阔叶红松林的原貌。本研究选取露水河东升林场的四类林区,即原始阔叶红

松林(T_0)、15%择伐林(T_1)、40%择伐林(T_2)、皆伐后恢复的天然次生林(T_3)。每类林区分别选取 2 个林班,在每个林班内分别设置 3 个 30m×30m 的样方,每个样方内各设置 5 个 5m×5m 的小样方。对样方内 DBH $\geq$ 2.5cm 的乔木树种进行每木检尺,记录乔木种名、胸径(DBH)、树高(H);小样方内 DBH<2.5cm 的幼树、幼苗,记录株数和树高,样地内的数值由小样方换算而来。记录样地的生境条件、植被状况及土壤条件。

1.2.2 发育阶段的划分方法

由于乔木树种的年龄较难确定,所以在实际工作中采用发育阶段代替龄级的方法,具体划分结果如下:

I 级幼苗 $H<0.33\text{m}$; II 级幼树 $H\geq 0.33\text{m}$, DBH<2.5cm; III 级小树 $2.5\text{cm}\leq \text{DBH}<7.5\text{cm}$; IV 级中树 $7.5\text{cm}\leq \text{DBH}<12.5\text{cm}$;以后 DBH 每隔 5cm 为 1 级, DBH $\geq 22.5\text{cm}$ 为大树。把树木 H 和 DBH 由小到大的顺序看作是时间顺序关系, I 级对应第 1 发育阶段, II 级对应第 2 发育阶段级,以此类推,统计各龄级株数。

1.2.3 生命表的编制方法

静态生命表一般包括如下内容: x 是单位时间发育等级的中值; a_x 是在 x 发育阶段内现有个体数; l_x 是在 x 发育阶段开始时标准化存活个体数; d_x 是从 x 到 $x+1$ 发育阶段间隔期内标准化死亡数; q_x 是从 x 到 $x+1$ 发育阶段间隔期间死亡率; L_x 是从 x 到 $x+1$ 发育阶段间隔期还存活的个体数; T_x 是从 x 发育阶段到超过 x 发育阶段的个体总数; e_x 是进入 x 发育阶段个体的生命期望或平均期望寿命; K_x 为消失率(损失度)。表中各项都是相互关联的,可以通过实测值求得,其关系如下:

$$L_x = a_x/a_0 \times 1000 ;$$

$$d_x = l_x - l_x^{+1} ;$$

$$q_x = d_x/l_x \times 100\% ;$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1})/2 ;$$

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x ;$$

$$e_x = T_x/l_x ;$$

$$K_x = \ln(x) - \ln(x+1)$$

由于静态生命表是反映了多个世代重叠的发育阶段动态历程中的一个特定时间,而不是对这一种群的全部生活是追踪,并且调查中存在系统误差,在生命表中会出现死亡率为负的情况,因此本研究采用匀滑技术^[31]进行处理,对 a_x 进行匀滑修正得到 a'_x ,据此编制红松种群静态生命表。

1.2.4 生存分析的 4 个函数计算方法

为更好地分析红松种群的结构形式,阐明其生存规律,引入生存分析中的 4 个函数项目于生命表中,即生存率函数 $S(t)$ 、积累死亡率函数 $F(t)$ 、死亡密度函数 $f(t)$ 、危险率函数 $\lambda(t)$ ^[32-34]:

$$\hat{S}_i = \hat{P}_1 \hat{P}_2 \cdots \hat{P}_i \quad (1)$$

式中, P_i 为存活频率。

$$\hat{F}_i = 1 - \hat{S}_i \quad (2)$$

$$\hat{f}(t_i) = \frac{\hat{S}_{i-1} - \hat{S}_i}{h_i} = \frac{\hat{q}_i \hat{S}_{i-1}}{h_i} \quad (3)$$

式中, h_i 为区间长度, q_i 为死亡频率。

$$\hat{\lambda}(t_i) = \frac{\hat{f}(t_i)}{\hat{S}(t_i)} = \frac{2\hat{q}_i}{h_i(1+p_i)} \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 红松种群生命表及 4 个函数生存分析

根据红松种群调查资料,把种群分为 18 个发育阶段,按照静态生命表的编制方法和生存理论,分别以原

始林和 3 个采伐梯度的天然次生林的 5400m²样地的调查数据,编制出红松种群静态生命表(表 1)和 4 个函数的估算值(表 2)。限于篇幅,本文仅列出了生命表的部分项目。

表 1 红松种群静态生命表
Table 1 Life table of *P.koraiensis* population.

龄级	x	原始林(T_0)				15%择伐林(T_1)				40%择伐林(T_2)				皆伐林(T_3)			
		a'_x	q_x	K_x	e_x	a'_x	q_x	K_x	e_x	a'_x	q_x	K_x	e_x	a'_x	q_x	K_x	e_x
1	0	47	0.468	0.631	2.703	43	0.488	0.669	3.115	62	0.435	0.571	2.436	102	0.412	0.531	1.795
2	2	25	0.600	0.915	3.641	22	0.637	1.013	4.654	35	0.685	0.155	2.956	60	0.299	0.356	1.702
3	5	10	0.103	0.109	7.343	8	0.000	0.000	10.935	11	0.000	0.000	7.197	42	0.430	0.561	1.216
4	10	9	0.110	0.116	7.131	8	0.000	0.000	9.935	11	0.090	0.094	6.197	24	0.749	1.382	0.753
5	15	8	0.124	0.132	6.947	8	0.124	0.132	8.935	10	0.099	0.104	5.759	6	0.169	4.078	0.508
6	20	7	0.141	0.152	6.852	7	0.000	0.000	9.123	9	0.110	0.116	5.336	—	—	—	—
7	25	6	0.000	0.000	6.891	7	0.000	0.000	8.123	8	0.123	0.131	4.931	—	—	—	—
8	30	6	0.000	0.000	5.891	7	0.141	0.152	7.123	7	0.140	0.151	4.53	—	—	—	—
9	35	6	0.164	0.179	4.891	6	0.000	0.000	7.207	6	0.163	0.178	4.214	—	—	—	—
10	40	5	0.000	0.000	4.748	6	0.000	0.000	6.207	5	0.000	0.000	3.939	—	—	—	—
11	45	5	0.196	0.218	3.748	6	0.164	0.179	5.207	5	0.195	0.217	2.939	—	—	—	—
12	50	4	0.244	0.280	3.535	5	0.000	0.000	5.128	4	0.242	0.278	2.530	—	—	—	—
13	55	3	0.000	0.000	3.508	5	0.000	0.000	4.128	3	0.340	0.416	2.180	—	—	—	—
14	60	3	0.000	0.000	2.508	5	0.197	0.219	3.128	2	0.000	0.000	2.030	—	—	—	—
15	65	3	0.338	0.413	1.508	4	0.000	0.000	2.766	2	0.185	0.663	1.030	—	—	—	—
16	70	2	0.488	0.670	1.023	4	0.245	0.281	1.766	1	1.000	0.833	0.529	—	—	—	—
17	75	1	1.000	3.091	0.500	3	0.338	0.413	1.169	—	—	—	—	—	—	—	—
18	80	—	—	—	—	2	1.000	3.850	0.511	—	—	—	—	—	—	—	—

x , a_x , q_x , K_x , e_x 分别为径级中值、在 x 龄级内出现的个体数、死亡率、致死力和平均生命期望

表 2 4 个函数估算值
Table 2 Estimated values of four functions

龄级	x	原始林(T_0)				15%择伐林(T_1)				40%择伐林(T_2)				皆伐林(T_3)			
		S_x	F_x	f_x	λ_x	S_x	F_x	f_x	λ_x	S_x	F_x	f_x	λ_x	S_x	F_x	f_x	λ_x
1	0	0.532	0.468	0.106	0.200	0.512	0.488	0.102	0.200	0.565	0.435	0.113	0.200	0.588	0.412	0.118	0.200
2	2	0.213	0.787	0.064	0.300	0.186	0.814	0.065	0.351	0.178	0.822	0.077	0.435	0.412	0.588	0.135	0.085
3	5	0.191	0.809	0.004	0.023	0.186	0.814	0.000	0.000	0.178	0.822	0.000	0.000	0.235	0.765	0.035	0.151
4	10	0.17	0.830	0.004	0.025	0.186	0.814	0.000	0.000	0.162	0.838	0.003	0.020	0.059	0.941	0.035	0.060
5	15	0.149	0.851	0.004	0.028	0.163	0.837	0.005	0.028	0.146	0.854	0.003	0.022	0.000	1.000	0.012	—
6	20	0.128	0.872	0.000	0.033	0.163	0.837	0.000	0.000	0.130	0.870	0.003	0.025	—	—	—	—
7	25	0.128	0.872	0.000	0.000	0.163	0.837	0.000	0.000	0.114	0.886	0.003	0.028	—	—	—	—
8	30	0.128	0.872	0.004	0.000	0.140	0.860	0.005	0.033	0.098	0.902	0.003	0.033	—	—	—	—
9	35	0.107	0.893	0.000	0.039	0.140	0.860	0.000	0.000	0.082	0.918	0.003	0.039	—	—	—	—
10	40	0.107	0.893	0.004	0.000	0.140	0.860	0.000	0.000	0.082	0.918	0.000	0.000	—	—	—	—
11	45	0.086	0.914	0.004	0.049	0.117	0.883	0.005	0.039	0.066	0.934	0.003	0.048	—	—	—	—
12	50	0.065	0.935	0.000	0.065	0.117	0.883	0.000	0.000	0.050	0.950	0.003	0.064	—	—	—	—
13	55	0.065	0.935	0.000	0.000	0.117	0.883	0.000	0.000	0.003	0.967	0.003	0.103	—	—	—	—
14	60	0.065	0.935	0.004	0.000	0.094	0.906	0.005	0.049	0.003	0.967	0.000	0.000	—	—	—	—
15	65	0.043	0.957	0.004	0.102	0.094	0.906	0.000	0.000	0.017	0.983	0.003	0.188	—	—	—	—
16	70	0.022	0.978	0.004	0.191	0.071	0.929	0.005	0.065	0.000	1.000	0.003	—	—	—	—	—
17	75	0.000	1.000	0.004	—	0.147	0.953	0.005	0.102	—	—	—	—	—	—	—	—
18	80	—	—	—	—	0.000	1.000	0.009	—	—	—	—	—	—	—	—	—

x , S , F , f , λ 分别为径级中值、在 x 龄级内的生存函数、累计死亡率函数、死亡密度函数、危险率函数

从表 1 中可以看出,红松是长寿命物种,样地中调查到的最高龄级为 18 发育阶段。从种群的死亡率(q_x)和致死率(K_x)来看,第 1,2 发育阶段幼苗的死亡率和致死率最高,第 3,4 发育阶段相差不大,第 5,6 发育阶段保持较低水平的死亡率,在 7,8,9 发育阶段出现波动,死亡率升高,此后高发育阶段保持较高的死亡率,达到生理年限附近,死亡率达到最大。采伐干扰对红松种群的波动周期影响不大。原始林和择伐林(T_0 、 T_1 、 T_2)与皆伐后次生林(T_3)相比,林下红松幼苗、幼树的数量普遍偏少,匀滑后幼苗、幼树的数量在个别不同的龄级相似,死亡率为零。择伐内红松约占 60% 以上,种群世代重叠严重,高发育阶段个体死亡率水平偏高,但个别高发育阶段出现死亡率为零的现象;林下幼龄株数稀少,种群更新不良。皆伐后恢复 30 余年的天然次生林内,红松种群生长到第 5 发育阶段,幼苗、幼树的死亡率均较高。

平均生命期望(e_x)反映的是 x 发育阶段内个体的平均生存能力。从表 1 可以看出,皆伐后恢复的天然次生林内红松幼苗数量比原始林和择伐林多,但生命期望值比母树林的幼苗低,原始林和择伐林内(T_0 、 T_1 、 T_2)内红松第 1—5 发育阶段的生命期望为 2.4—10.9,而皆伐林(T_3)为 0.5—1.8。从一个世代周期的生命期望来看,各群落内红松种群的生命期望排序:15% 择伐林(T_1)>原始林(T_0)>40% 择伐林(T_2),说明 15% 的择伐强度可以提高红松种群的生存期望。

从 4 个函数生存分析(表 2)结果来看,原始林和择伐林(T_0 、 T_1 、 T_2)内红松第二发育阶段的危险率(λ_x)(0.30—0.43)最高,皆伐林内(T_3)第一龄级的危险率(0.2)最高,皆伐干扰对红松种群危险率的影响最大。原始林(T_0)、15% 择伐林(T_1)、40% 择伐林(T_2)内红松累计死亡率(F_x)分别第 16、18、15 发育阶段达到 0.98 以上,15% 的择伐强度的采伐降低了红松高发育阶段个体的死亡速率。

2.2 种群存活曲线分析

以红松种群生命表中存活量的对数 $\ln(I_x)$ 为纵坐标,以龄级为横坐标,分别绘制红松不同种群存活曲线(图 1)。从图 1 可见,母树林(T_0 、 T_1 、 T_2)在第 1—3 发育阶段存活曲线的斜率最大,第 3—10 发育阶段保持平稳,而皆伐林在第 1—5 发育阶段存活曲线的斜率较大,皆伐干扰对红松幼苗时期的存活量影响最大。第 11 发育阶段以后,随着择伐强度的增大,存活曲线的斜率逐渐增大,种群存活量逐渐增大。

采用指数方程和幂函数方程来描述存活曲线,检验估算的存活状况是否符合 Deevey II 型还是符合 Deevey III 型,而 Deevey I 型则符合直线分布。对 4 个存活曲线进行模型拟合,结果表明,原始林(T_0)和 15% 择伐林(T_1)内红松存活曲线均为 Deevey II 型,除去幼苗阶段死亡率较高外,其它发育阶段死亡率相当,种群处在稳定期。40% 择伐林(T_2)内,红松存活曲线介于 Deevey II 型和 Deevey III 型之间,群落内高发育阶段红松个体偏多,种群正在由稳定期向成熟期过渡。皆伐林(T_3)内存活曲线为 Deevey I 型,种群处在增长期。随着采伐强度增大,采伐干扰对种群结构影响也增大。

2.3 种群年龄结构及方差分析

根据红松的径级组中值和株数百分数构建种群径级结构图(图 2)。从图 2 可见,原始林和择伐林(T_0 、 T_1 、 T_2)内种群径级结构均呈稳定的倒 J 型;第 10—30 发育阶段幼树比相邻发育阶段的株数百分比偏少,该阶段的幼树处于生长更新的停滞阶段,这与野外调查中发现的“只见红松幼苗,不见幼树”相符。与原始阔叶红松林相比,15% 择伐林内幼树(DBH<10cm)比例略有减少,而 40% 择伐林和皆伐迹地,随采伐强度的增加,幼树比例明显增大。

对红松不同发育阶段的存活量(I_x)及其在不同群落类型中的存活量(I_x)进行方差分析(表 3),结果表明,红松种群不同发育阶段组间生存状况存在很大差异($P<0.001$),种群在不同发育阶段间的生存方式明显

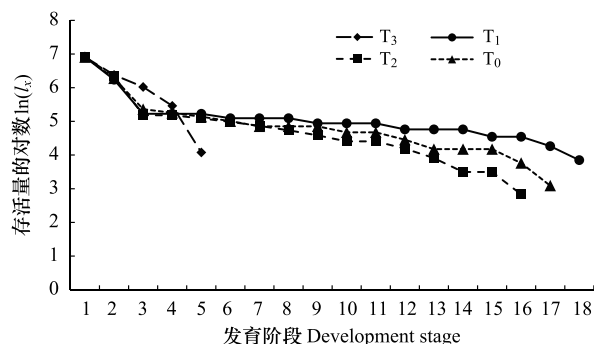


图 1 红松种群在不同采伐强度群落中的存活曲线
Fig.1 Survival curve of *P. koraiensis* population

不同。红松种群在 4 个不同群落类型中的生存过程存在较大差异,不同强度的采伐干扰对红松种群生存过程的影响达到显著水平($P<0.05$)。

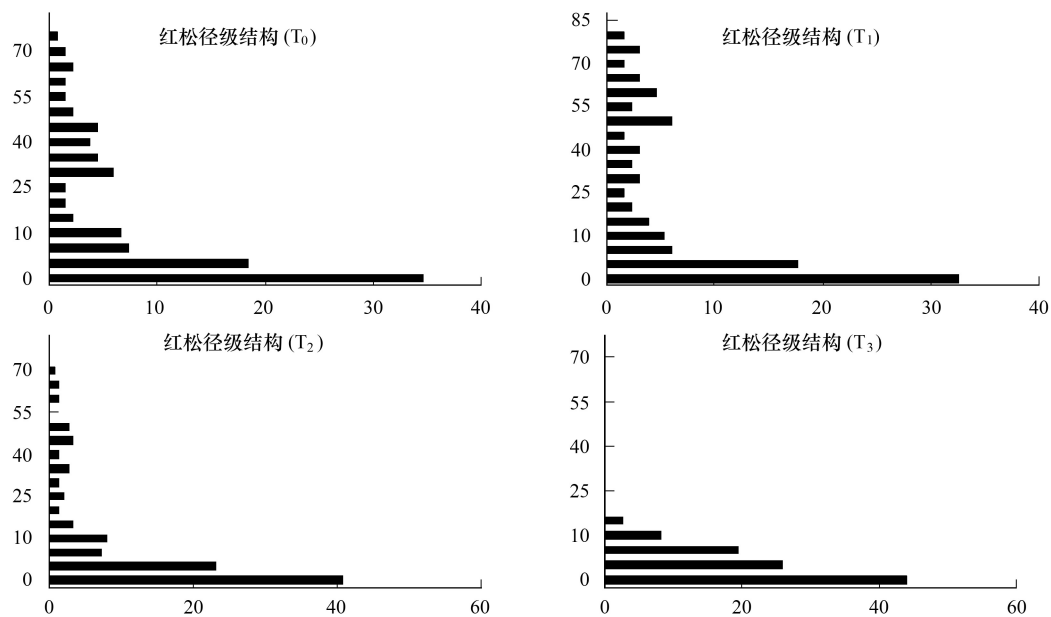


图 2 红松种群径级分布

Fig.2 Diameter class distribution of *P. koraiensis* population

表 3 红松种群群落状况方差分析

Table 3 ANOV of *P. koraiensis* population survival number

来源 Source	离差平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
4 个群落 Communities	18066.606	3	6022.202	3.887	0.017
发育阶段 Development stage	3140846.308	16	196302.894	126.688	0.000 *
残差 Error	54232.477	35	1549.499	—	—
合计 Total	6145266.000	55	—	—	—

* 表示 $P<0.001$

3 讨论

3.1 不同采伐方式和采伐强度对红松种群波动周期的影响

红松种群不同年龄阶段存在波动,这种波动的过程和速度是不连续或不均匀的,表现出一定的阶段性和随时间不断发生变化的特征^[35]。红松幼苗时期耐阴性较强,适宜郁闭度为 0.6—0.7,幼树的适宜郁闭度为 0.3—0.5,随着年龄的增加需光量明显增大^[18, 21, 29, 36-37]。本研究中,不同群落内红松幼苗时期死亡率较高,幼树时期存在生长停滞阶段,高龄级期稳定生长,接近生理寿命时的密集死亡,红松种群的天然更新过程呈波浪式发展,采伐干扰对红松种群的波动周期无明显影响。

3.2 不同采伐方式和采伐强度对红松种群结构的影响

红松种群的恢复依靠种子传播,红松种子来源常受鸟类、鼠类搬运或残留在地被物下的种子数量为转移^[39],种子的更新没有一定规律性。皆伐迹地最先更新的是枫桦(*Betula costata*)、白桦(*Betula platyphylla*)等小粒种子,以后是五角槭(*Acer mono Maxim*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、水曲柳、黄檗(*Phellodendron amurense*)等阔叶树的中粒种子,而针叶树种不能迅速恢复^[40]。本研究中,皆伐迹地恢复 30 余年,红松种群最高仅生长至第 5 发育阶段,种群结构恢复缓慢,这与红松种子的动物传播方式和皆伐迹地针叶树种恢复周期有关。

齐麟等^[23]研究发现采伐会改变群落中物种的优势地位,红松的重要值排名随采伐强度的增加而降低,采伐 30a 后,红松幼树(胸径<10 cm)占种群数量的比例随采伐强度的增加而增加。本研究中,与原始林相比,40%择伐林和皆伐迹地红松幼树的数量随采伐强度的增加而明显增加,与前人的研究结论相符。而 15%择伐林内红松幼树的比例略有减少,这是由于 15%择伐林内,高径级产种母树较多,每到丰收季节大量松塔被非法采摘^[41],导致林内松籽数量减少,林下幼苗幼树随之减少。

择伐和皆伐改变了红松种群的径级比例,对种群存活曲线和生活过程也有显著影响。有研究表明不同培育措施(抚育、渐伐和封育措施)影响油松的存活曲线,抚育和渐伐后油松种群属进展型,而经过封育措施的油松种群属稳定型^[42]。也有研究表明,不同的干扰强度对栓皮栎、翅果油树也有显著影响,在持续受到砍柴、放牧等强烈干扰的群落中,栓皮栎种群呈现衰退势态,而受人为干扰少、发育较好的群落中,栓皮栎种群呈现持续发展势态^[43];而对于翅果油树种群,人为干扰限制了翅果油树的稳定可持续生长^[44]。由此可见,不同的干扰方式和干扰强度都会对植物种群的结构产生影响,对目标树种干扰强度增大会导致种群稳定性下降甚至衰退,轻度择伐、抚育和渐伐等可持续性经营管理措施能够维持林木的良好生长。未来林场的经营管理应以轻度择伐为主,同时,对于高径级产种母树较多的林分,应当适当予以补植幼苗、幼树以维持其在种群中的比例,使其能够可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 安玉泽,田洪华,孙亚萍.不同采伐强度对森林土壤温度影响的探讨.森林工程,2006,22(2):1-2.
- [2] Berry N J, Phillips O L, Ong R C, Hamer K C. Impacts of selective logging on tree diversity across a rainforest landscape: the importance of spatial scale. Landscape Ecology, 2008, 23(8): 915-929.
- [3] Behjou F K, Mollabashi O G. Selective logging and damage to unharvested trees in a hyrcanian forest of Iran. Bioresources, 2012, 7(4): 4867-4874.
- [4] Imai N, Seino T, Aiba S, Takyu M, Titin J, Kitayama K. Effects of selective logging on tree species diversity and composition of Bornean tropical rain forests at different spatial scales. Plant Ecology, 2012, 213(9): 1413-1424.
- [5] 郭泉水,王德艺,冯天杰,李东义,蔡万坡.雾灵山落叶阔叶林采伐迹地物种多样性和植物种群动态变化研究.应用生态学报,1999,10(6):645-649.
- [6] Lie M H, Josefsson T, Storaunet K O, Ohlson M. A refined view on the "Green lie": Forest structure and composition succeeding early twentieth century selective logging in SE Norway. Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, 27(3): 270-284.
- [7] Crawly M J. Plant Ecology. London: Blackwell Scientific Publications, 1986.
- [8] 李奎,郑宝强,王雁,卜文圣.滇牡丹自然种群数量动态.植物生态学报,2012,36(6):522-529.
- [9] Khan D, Shaukat S S. Population structure, intraspecific competition and phasic development of *Urochondra setulosa* (Trin.)// Hubb C E, ed. A Coastal Halophytic Grass of Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 1997, 29(2): 271-288.
- [10] Svensson J S, Jeglum J K. Structure and dynamics of an undisturbed old-growth Norway spruce forest on the rising Bothnian coastline. Forest Ecology and Management, 2001, 151(1/3): 67-79.
- [11] Fuchsia M A, Krannitzb P G, Harestad A S. Factors affecting emergence and first-year survival of seedlings of Garry oaks (*Quercus garryana*) in British Columbia, Canada. Forest Ecology and Management, 2000, 137(1/3): 209-219.
- [12] Molles M C. Ecology: Concept and Applications. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2002.
- [13] Wu J X, Zhang X M, Deng C Z, Liu G J. Structure and dynamic of *Populus euphratica* population along Tarim River. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(5): 1651-1656.
- [14] Yu D P, Zhou L, Zhou W M, Ding H, Wang Q W, Wang Y, Wu X Q, Dai L M. Forest management in northeast China: History, problems, and challenges. Environmental Management, 2011, 48(6): 1122-1135.
- [15] 傅立国.中国植物红皮书——稀有濒危植物:第一册.北京:科学出版社,1991:1-736.
- [16] 李俊清,王业蓬.天然林内红松种群数量变化的波动性.生态学杂志,1986,5(5):1-5,12-12.
- [17] 伍业钢,韩进轩.阔叶红松林红松种群动态的谱分析.生态学杂志,1988,7(1):19-23.
- [18] 乌弘奇.长白山白桦林中红松种群动态的研究.生态学杂志,1989,8(5):16-18.
- [19] 葛剑平,郭海燕,陈动.小兴安岭天然红松林种群结构的研究.东北林业大学学报,1990,18(6):26-32.
- [20] 阳含熙,顾连宏.云冷杉阔叶红松林演替与天然更新过程及红松种群动态数学模型的研究.自然资源,1991,(6):82-82.

- [21] Li J Q, Zhu N. Structure and process of korean pine population in the natural forest. *Forest Ecology and Management*, 1991, 43(1/2): 125-135.
- [22] 王惠, 邵国凡, 代力民, 许东, 王飞. 采伐干扰下长白山阔叶红松林主要灌木种群生态位动态特征. *东北林业大学学报*, 2007, 35(11): 27-28, 31-31.
- [23] 齐麟, 代力民, 于大炮, 周莉, 钟磊, 苏东凯. 采伐对长白山阔叶红松林乔木群落的影响. *湖南农业科学*, 2009, (8): 129-132
- [24] 倪瑞强. 长白山典型针阔混交林群落结构与动态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [25] 李文华, 邓坤枚, 李摇飞. 长白山主要生态系统生物量和初级生产力研究. *森林生态系统研究*, 1981, 2: 34-50.
- [26] 许广山, 丁桂芳, 张玉华, 程伯容. 长白山北坡主要森林系统土壤有机质及其特征的研究. *森林生态系统研究*, 1980, 1: 215-220.
- [27] 程伯容, 许广山, 程伯容, 许广山, 丁桂芳, 张玉华, 王伟. 长白山主要森林生态系统的凋落物量及养分含量. *森林生态系统研究*, 1984, 4: 19-24.
- [28] 苏东凯, 谢小魁, 刘正纲, 于大炮, 周莉, 代力民. 长白山次生白桦林数量特征. *东北林业大学学报*, 2009, 37(10): 1-4.
- [29] 代力民, 邵国凡. 森林经营决策: 理论与实践. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2004.
- [30] 苏东凯. 长白山阔叶红松林植被恢复研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2010.
- [31] 江 洪. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 8-40.
- [32] 冯士雍. 生存分析 I. 数学的实践与认识, 1982, (3): 72-80.
- [33] 冯士雍. 生存分析 II. 数学的实践与认识, 1982, (4): 64-74.
- [34] 冯士雍. 生存分析 III. 数学的实践与认识, 1983, (1): 70-76.
- [35] 李俊清, 祝宁. 红松的种群结构与动态过程. *生态学杂志*, 1990, 9(4): 6-10.
- [36] 周以良, 李景文. 中国东北东部山地主要植被类型的特征及其分布规律. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1964, 2(2): 190-206.
- [37] 刘兴双. 长白山次生林群落动态及其生态恢复[D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2001.
- [38] 孙一荣, 朱教君, 于立忠, 闫巧玲, 王凯. 不同光环境对红松幼苗光合生理特征的影响. *生态学杂志*, 2009, 28(5): 850-857.
- [39] 姬兰柱, 刘足根, 郝占庆, 王庆礼, 王森. 松果采摘对长白山阔叶红松林生态系统健康的影响. *生态学杂志*, 2002, 21(3): 39-42.
- [40] 李景文, 刘庆良, 陈运大. 红松林皆伐迹地天然更新的研究. *东北林学院学报*, 1964, (3): 15-32.
- [41] 刘足根, 姬兰柱, 郝占庆, 朱教君, 康宏樟. 松果采摘对长白山自然保护区红松天然更新的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 958-962.
- [42] 吴涛, 张文辉, 陆元昌, 范少辉. 黄龙山林区不同培育措施对油松种群数量动态及物种多样性的影响. *西北植物学报*, 2006, 26(5): 1007-1013.
- [43] 张文辉, 卢彦昌, 周建云, 张晓辉, 史小华. 巴山北坡不同干扰条件下栓皮栎种群结构与动态. *林业科学*, 2008, 44(7): 11-16.
- [44] 卢鹏, 徐燕, 毕润成. 不同干扰程度对翅果油树种群结构与动态的影响. *山西师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 25(3): 103-108.