



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

吴涛¹, 张文辉¹, 陆元昌², 范少辉^{2,3*}

(1 西北农林科技大学 西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西杨陵 712100; 2 中国林业科学研究院林业研究所 国家林木培育重点实验室, 北京 100091; 3 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 根据对黄龙山林区经过抚育、渐伐和封育措施的 3 类油松林种群开展样地调查, 研究了 3 种培育措施对油松林种群的年龄结构、静态生命表、存活曲线和物种多样性的影响, 并运用时间序列模型对不同培育措施的油松林种群数量动态进行了预测。结果表明: 3 种油松林种群结构特征基本一致, 其幼、老龄级个体数较少, 中龄级个体数量较大, 总体判断黄龙山油松林种群属于稳定状态。在经历 3 种不同培育措施的油松林群落中, 抚育和渐伐措施物种丰富度指数最大; 封育措施物种多样性和均匀度指数最大。经过抚育和渐伐措施的油松种群属进展型, 而经过封育措施的油松种群属稳定型。说明在黄龙山林区, 油松林种群未来应该以封育为主, 适当的抚育和渐伐措施为辅, 以促进群落持续发育。

关键词: 年龄结构; 生命表; 存活曲线; 时间序列; 物种多样性

中图分类号: Q948.1; S718 **文献标识码:** A

Effects of Different Forest Practices on *Pinus tabulaeformis* Population Numbers and Species Diversity in the Forest Region of Huanglongshan Mountain

WU Tao¹, ZHANG Wen-hui¹, LU Yuan-chang², FAN Shao-hui^{2,3*}

(1 Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 3 International Centre of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: Three *Pinus tabulaeformis* populations with tending, inter-felling and closed tending separately practiced were investigated to study the effects of these three forest practices on the age structures, static life tables, survival curves and species diversities of *P. tabulaeformis* populations in Huanglongshan Mountain and time series model was adopted to predict the dynamic population numbers of different *P. tabulaeformis* populations with different forest practices practiced. The results revealed that the three populations are essentially identical in population structure, their young and old individuals making up a small proportion and their mid-aged individuals making up a large proportion and consequentially *P. tabulaeformis* populations generally stand stable. In the *P. tabulaeformis* communities with three tending practices, the highest species abundance index appears with tending and inter-felling and the highest evenness index and

收稿日期: 2005-09-22; 修改稿收到日期: 2006-04-10

基金项目: 国家科技支撑项目(TBKJ2003-07)

作者简介: 吴涛(1980—), 男(汉族), 在读硕士, 从事植物生态学和生物多样性研究。

* 通讯联系人。Correspondence to: FAN Shao-hui. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

species diversity appears with closed tending. The *P. tabulaeformis* populations with tending and inter-felling practiced belong to a developmental type and the *P. tabulaeformis* populations with closed tending practices belong to a stable type. These indicates that In the future, closed tending as the major practice and tending and inter-felling as the supporting practices should be practiced for *P. tabulaeformis* populations in Huanglongshan Mountain so that the communities will continuously develop.

Key words: age structure; life table; survival curve; time series; species diversity

天然林保护核心问题是充分发挥天然林自然恢复潜力,将人工抚育、促进恢复与自然恢复力结合起来使森林群落向着更复杂更和谐方向发展。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。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现实状况,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具有重要意义^[1~3]。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国北方温带针叶林中分布最广的群落^[4],也是黄龙山林区主要地带性成林树种之一。油松在黄土高原南部天然更新良好,生态功能强大,合理培育管理油松林,对当地生态环境改善及生物多样性维持意义重大。多年来,为促进黄龙山天然林恢复,提高林分质量,采取过封禁、抚育和渐伐等多种措施。这些措施能否达到预期效果关系到未来天然林保护、退化林恢复的经营对策制定。

以前对黄龙林区油松的研究主要集中在群落动态、病虫害防治、种子园以及生长特性等方面^[5~8],而不同培育措施对油松种群动态及生物多样性的影响研究尚未见报道。本研究通过对黄龙山林区经过不同培育措施的油松林优势种群数量动态和群落物

种多样性分析,阐明不同经营措施的效果,为建立稳定和谐的森林培育体系提供依据,为华北、西北同类地区天然林保护和天然林恢复培育提供参考。

1 研究区自然概况

黄龙山林区地理位置位于陕西北部延安市黄土高原东南部,东临黄河,南北长 60 km,东西宽 50 km,总面积 1 941.74 km²。本区属于暖温带半湿润与半干旱气候的过渡区,海拔 1 000~1 300 m,年平均气温 8.6℃,最高气温 36.7℃,最低气温 -22.5℃,年均降水量 611.8 mm,土壤主要是褐土,地带性植被为暖温带落叶阔叶林带。主要成林树种是油松(*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山桃(*Prunus davidiana*)等,以这些树种为主组成的森林群落呈镶嵌性分布形成当地主要森林植被^[9]。

20 世纪 60~70 年代,黄龙山林区对油松林进行过抚育、渐伐和封育等多种措施,其效果不尽相同。本研究区域选择在生境条件基本一致的经过抚育、渐伐和封育措施的天然林地段,详见表 1。

表 1 黄龙山林区油松林不同的培育措施与方法

Table 1 The tending practices of *P. tabulaeformis* forests in Huanglongshan Mt.

培育措施类型 Tending practices	方法 Measures tending
抚育 Tending	又称抚育间伐,是为了给保留木创造良好的生长条件,而采伐部分林木得森林经营措施。主要是间密留匀,留优去劣,使森林分布均匀,调整林分组成,同时伐去过密处生长不良的目的树种;抚育间伐强度一般为 15%~30%,以伐后人工林郁闭度不低于 0.6,天然林郁闭度不低于 0.5。
渐伐 Inter-felling	又称遮荫木法或伞伐法,是在较长期限(一般不超过 1 个龄级期,如 10~20 a)分 2 次或多次采伐掉伐区上的全部成熟林。采伐对象根据树种和年龄确定,首先伐去成熟木、过熟木、病虫木、枯立木,保留可以继续培育成大径级的部分成熟木和有培育前途的中龄木,伐后郁闭度不低于 0.5。
封育 Closed tending	对处于山脊、陡坡(立地条件差)、生产力低,但对山体有重要防护作用的次生林,主要以封护为主,在封育期内严禁放牧、砍材、开荒等。

2 研究方法

2.1 样地调查

对经过 3 种培育措施的油松林经充分踏查后,在阳坡中下部,生境条件基本一致地段设置样地,3 种不同培育措施的油松林中共布设 15 块 20 m×20

m 的样地,每种培育措施各 5 块样地。每块样地内沿对角线设 5 m×5 m 灌木样方 3 个,1 m×1 m 草本样方 3 个。调查内容:(1) 生境:包括地形地貌、人为干扰强度、土壤、气象、坡向、坡位。(2) 群落学特征:包括群落组成、高度、盖度等,方法见文献[10];灌木和草本调查包括分别按物种,计测平均高度、基径、

盖度、多度、频度和生长势等。(3) 乔木树种定位:以样地一边为 X 轴,其垂直边作为 Y 轴建立平面直角坐标系,记录每 1 株油松和乔木树种的坐标值、胸径(幼苗测基径)、树高和冠幅等。(4) 油松树龄的确定:胸径小于 6 cm,利用其轮生枝数目确定年龄;胸径大于 6 cm,每个样地选择 6 株标准木,测定胸径与年轮数,然后根据胸径与年龄关系确定其它个体年龄。

2.2 年龄结构

以 1~10 a 为 I 龄级,每 10 a 为一个龄级,依次编号为 I、II、III、IV……龄级,统计每一个样地内各龄级的株数;将同一培育措施油松林样地中不同龄级的株数合并,组成各种群的年龄结构基本数据。以龄级为横坐标,以株数/hm² 为纵坐标绘制年龄结构图^[11,12]。

2.3 静态生命表和存活曲线

以各培育措施样地内油松种群年龄结构数据为基础编制静态生命表,具体方法见文献^[11~14]。

2.4 种群数量动态的时间序列预测模型

$$M_t^{(1)} = M_{t-1}^{(1)} + \frac{X_t - X_{t-n}}{n}$$

式中, $M_t^{(1)}$ 是近期 n 个观测值在 t 时刻的平均值,称为第 n 周期的移动平均。本文以 n 值为各龄级株数; t 分别取 20 a、40 a 和 60 a,对未来种群发展趋势进行预测,其原理与方法见文献^[15]。

2.5 多样性指数

根据样地资料,计算不同物种盖度、多度、频度;计算每一个样地不同物种的重要值(IV);统计出不同培育措施油松样地内各物种重要值平均值,以此为基础分层(乔、灌、草)计算各物种 α 多样性指数,物种丰富度指数(Richness 指数 S)、多样性指数(Simpson 指数 D ;Shannon-wiener 指数 H')和均匀度指数(Pielou 指数 J ;W;Alatalo 指数 E_u)。具体计算方法见文献^[16~18]。

3 结果与分析

3.1 不同培育措施对油松种群年龄结构的影响

种群年龄结构分析是揭示种群生存现状和更新策略的重要途径之一^[19]。从图 1 可以看出不同培育措施油松种群年龄结构基本一致,幼龄、老龄株数少,中龄级株数较多。由于油松是阳性树种,在郁闭状态下幼苗很难生长,但在林窗出现后,幼苗会很快发育,进入主林层。因此,可以判断,黄龙山油松林种群属于稳定状态。由于培育措施的不同,种群年龄结

构表现出各自特征:渐伐后的油松林最大密度出现在 III、IV 龄级也就是中龄林和近熟林阶段,这是因为渐伐主要是为了培育大径阶的木材,所以保留了相当数量有培育前途的中龄林和近熟林个体;经过抚育后的油松林密度最大的是 V 龄级,这是因为抚育措施主要针对密度过大的幼龄、中龄和近熟个体进行调整,而处于成熟林阶段的母树没有进行采伐作业;经过封育措施后的油松种群的 III、IV、V 龄级之间的个体数变化幅度很小,这是因为处于自然状态下的油松种群在没有人外力干扰的情况下,主要依靠种群自疏作用来调节林分密度,由于这种强度远不及人为采伐作业的强度,所以对油松种群的密度影响不大。3 个培育措施中的 I、II 龄级的幼苗数量都偏低,尤其是渐伐措施中的幼苗数量明显不足。在油松林的未来经营措施中除了追求经济效益和培育大径阶木材的同时,也应注重种群密度的合理配置,对郁闭度过大的林分要及时调整,为林下幼苗的更新和生长提供有利空间,促进种群的稳定发展。

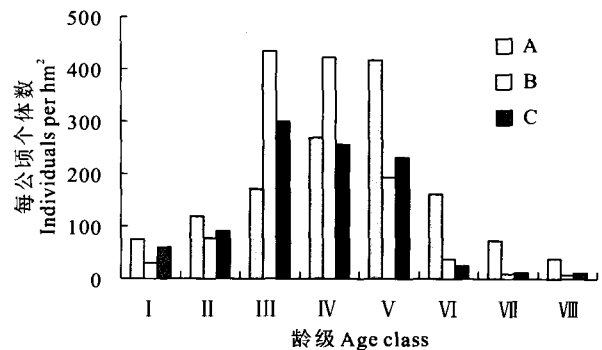


图 1 不同培育措施对油松种群年龄结构的影响
A. 抚育;B. 渐伐;C. 封育

Fig. 1 The age structures of the *P. tabulaeformis* populations with different tending practices
A. Preliminary thinning; B. Shelterwood cuttings;
C. Closing the land for reforestation

3.2 不同培育措施对油松种群生命表及存活曲线的影响

3.2.1 不同培育措施对油松种群生命表的影响

以 10 a 为一个龄级单位,将不同培育措施的 3 类油松林种群相对应的存活数(a_x)计算出标准化存活量(l_x)、死亡量(d_x)、总寿命(T_x)、消失率(k_x)、区间寿命(L_x)等,得到不同培育措施油松种群标准生命表^[12~14](表 2)。从表 2 中可以看出,该种群最大编表年龄为 80 年生,种群最高死亡率的龄期因培育措施的不同而表现各异:其中封育措施 III、IV、V 龄级较高,渐伐措施是 IV、V 龄级,抚育措施是 IV、V、VI 龄

级较高。不同种群的期望寿命的高峰值都出现在 I、II 龄级,期望寿命(e_x)反映的是个体的平均生存能力,种群在 IV 龄级以前时平均期望寿命达到最大,表明此阶段种群的生存质量较好,生理活动达到旺盛期,随着龄级的增加, e_x 值下降,说明随着油松个体生长发育和种群密度增加,个体间竞争加剧,其生存

力逐渐下降。不同培育措施的油松种群标准生命表是黄龙林区 3 种不同经营措施的油松种群平均值,它基本反映了该地区油松种群基本规律,说明这 3 种培育措施中抚育和渐伐措施对于促进油松种群的更新和个体生长作用较为有利。

表 2 不同培育措施对油松种群生命表的影响

Table 2 The life table of the *P. tabulaeformis* populations with different tending practices

培育措施类型 Type of tending practices	龄级 Age stage	存活数 a_x	存活量 l_x	死亡量 d_x	死亡率 q_x	区间寿命 L_x	总寿命 T_x	期望寿命 e_x	$\ln a_x$	$\ln l_x$	消失率 K_x
抚育 Tending	I	75.10	180.26	-103.87	-576.23	232.19	3 040.92	16.87	4.32	5.19	-0.46
	II	118.38	284.13	-127.51	-448.79	347.88	2 855.54	10.05	4.77	5.65	-0.37
	III	171.50	411.64	-233.72	-567.78	528.50	2 507.65	6.09	5.14	6.02	-0.45
	IV	268.88	645.36	-354.64	-549.51	822.68	1 979.15	3.07	5.59	6.47	-0.44
	V	416.63	1 000.0	611.16	611.16	694.42	1 156.47	1.16	6.03	6.91	0.94
	VI	162.0	388.84	214.82	552.47	281.43	462.05	1.19	5.09	5.96	0.80
	VII	72.50	174.02	80.41	462.07	133.81	180.62	1.04	4.28	5.16	0.62
渐伐 Inter-felling	I	29.70	68.37	-108.61	-1 588.59	122.67	2 725.53	39.87	3.39	4.22	-0.95
	II	76.88	176.98	-823.02	-4 650.47	588.49	2 623.12	14.82	3.85	5.18	-1.73
	III	434.38	1000.0	28.79	28.79	985.61	2 044.10	2.04	6.07	6.91	0.03
	IV	421.88	971.22	525.17	540.74	708.63	1 058.49	1.09	6.04	6.88	0.78
	V	193.75	446.04	359.71	806.45	266.18	349.87	0.78	5.27	6.10	1.64
	VI	37.50	86.33	64.75	750.00	53.96	83.68	0.97	3.62	4.46	1.39
	VII	9.38	21.58	2.65	122.67	20.26	29.73	1.38	2.24	3.07	0.13
封育 Closed tending	I	59.40	198.0	-104.08	-525.67	250.04	3 130.25	15.81	4.08	5.29	-0.42
	II	90.63	302.08	-697.92	-2 310.34	651.04	2 921.88	9.67	4.51	5.71	-1.20
	III	300.0	1 000.0	145.83	145.83	927.08	2 291.67	2.29	5.70	6.91	0.16
	IV	256.25	854.17	83.33	97.56	812.50	1 364.58	1.60	5.55	6.75	0.10
	V	231.25	770.83	678.50	891.89	427.08	552.08	0.72	5.44	6.65	2.22
	VI	25.00	83.33	41.67	500.0	62.50	125.0	1.50	3.22	4.42	0.69
	VII	12.50	41.67	0.00	0.00	41.67	62.50	1.50	2.53	3.73	0.00
VIII	12.50	41.67	0.00	0.00	20.83	20.83	0.50	2.53	3.73	0.00	

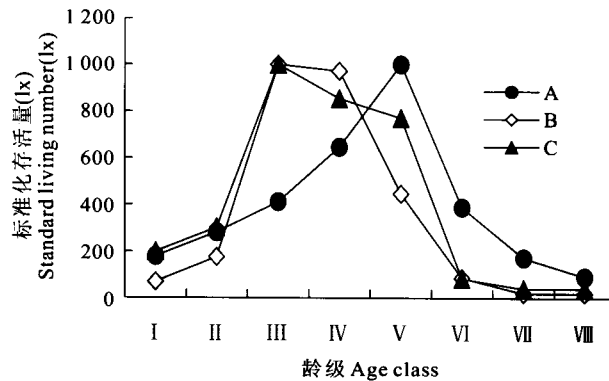


图 2 不同培育措施下油松种群存活曲线
A. 抚育; B. 渐伐; C. 封育

Fig. 2 Survival curves of the *P. tabulaeformis* populations with different tending practices
A. Tending; B. Inter-felling; C. Closed tending

3.2.2 不同培育措施对油松种群存活曲线的影响

以不同培育措施的油松种群生命表中存活量 l_x 为纵坐标,以龄级为横坐标分别绘制不同培育措施的油松种群存活曲线(图 2)。从图中可以看出如果以标准化最大存活量为起点,不同培育措施的油松种群的存活曲线接近于 Deevey III 型^[20],同时也反映了油松种群死亡率高峰期出现分化,不同培育措施油松种群各龄级的死亡率有差异,但基本趋势一致,幼龄株数少是不同种群更新不良的特征。VIII 龄级个体存在说明种群具有较长的生殖期,只要能充分利用这一生物学特性,种群的恢复和发展潜力就较强。

3.3 不同培育措施油松种群数量动态时间序列预测

以黄龙山林区不同培育措施的油松种群各龄级株数为原始数据,按一次平均推移法^[21]预测各龄级在未来 20 a、40 a 及 60 a 后的株数,将结果绘成年龄与株数关系图(图 3)。从图 3 可知,不同培育措施的油松种群各龄级株数峰值在预测序列中依次向后推移,随时间推移,中龄级个体数不断下降,老龄级个体先增多随后逐渐减少。表明现有幼龄级株数明显不足以维持种群的长期稳定,而中龄级个体株数多、密度大须进行采伐,以降低林分密度和郁闭度,为幼苗的生长发育创造条件,促进种群的长期稳定发展。

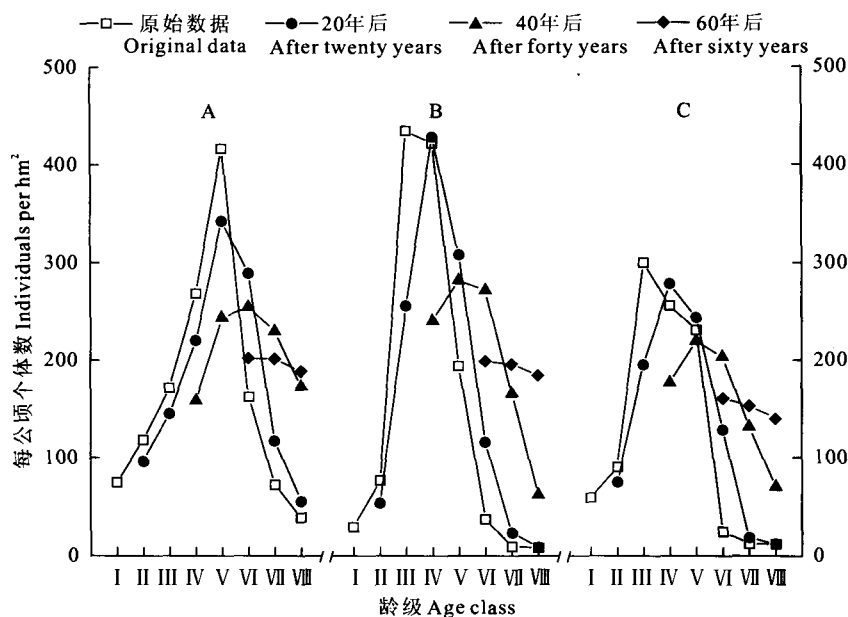


图 3 不同培育措施油松种群数量动态时间序列预测

A. 抚育; B. 渐伐; C. 封育

Fig. 3 Predicted numbers of the *P. tabulaeformis* populations with different tending practices adopted

A. Tending; B. Inter-felling; C. Closed tending

3.4 不同培育措施对油松种群多样性指数的影响

群落物种多样性是描述生态功能和稳定性重要指标^[22]。不同培育措施油松种群物种多样性的变化趋势(表 3)和多样性显著性检验(表 4)。从表 3 中可以看出不同培育措施对物种多样性发育的影响:(1) 3 种培育措施中的物种丰富度指数呈明显差异即抚育 > 渐伐 > 封育。由于抚育和渐伐作业的过程中林下灌木进行了砍伐和清理,林中空地和林窗的出现为植物的生长和发育提供了一定的空间,在这有限的空间内各种植物不断繁衍、激烈地争夺光照、水分、土壤养分和生存空间,植物的物种数目不断增

加,种群处于进展型阶段;而封育措施的油松群落由于没有较大的外力干扰,植物的演替趋势相对缓和而处于比较稳定的状态,随着过渡性植物的死亡,物种丰富度下降,优势植物处于统治地位。(2) 3 种经营措施中的物种多样性和均匀度指数也有差异即封育 > 抚育 > 渐伐。由于抚育和渐伐措施对群落的干扰大,导致种群分布不均匀,在林窗的地方呈聚集分布,在郁闭度较大的地方呈离散分布;而封育措施内的优势植物已经处于演替的高级阶段又没有人干扰,群落比较稳定,所以植物呈随机分布状态,均匀度指数高。

表 3 不同培育措施对油松群落物种多样性指数的影响

Table 3 The diversity indexes of *P. tabulaeformis* communities with different tending practices adopted

林层 Forest layer	多样性指数 Diversity index	封育 Closed tending	渐伐 Inter-felling	抚育 Tending
草本层 Herb layer	Richness (<i>S</i>)	20	23	25
	Simpson 指数 (<i>D</i>)	0.42	0.64	0.94
	Shannon-wiener 指数 (<i>H'</i>)	0.98	1.63	3.21
	Pielou 指数 (<i>J,W</i>)	0.33	0.50	0.84
	Alatalo 指数 (<i>E_a</i>)	0.43	0.44	0.64
灌木层 Shrub layer	Richness (<i>S</i>)	32	36	46
	Simpson 指数 (<i>D</i>)	0.91	0.90	0.56
	Shannon-wiener 指数 (<i>H'</i>)	2.81	2.79	1.35
	Pielou 指数 (<i>J,W</i>)	0.81	0.74	0.42
	Alatalo 指数 (<i>E_a</i>)	0.64	0.60	0.43
乔木层 Arbor layer	Richness (<i>S</i>)	7	8	9
	Simpson 指数 (<i>D</i>)	0.52	0.18	0.43
	Shannon-wiener 指数 (<i>H'</i>)	1.01	0.44	0.95
	Pielou 指数 (<i>J,W</i>)	0.52	0.24	0.43
	Alatalo 指数 (<i>E_a</i>)	0.61	0.41	0.47

表 4 不同培育措施油松群落物种多样性显著性检验

Table 4 Notable test of diversity different managing measurements in *P. tabulaeformis* community

培育措施 Tending practices	<i>t</i> 值 <i>t</i> value				
	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J_w</i>	<i>E_a</i>
抚育-渐伐 Tending-inter-felling	1.522	0.314	0.245	2.504	1.781
抚育-封育 Tending-closed tending	1.941	3.406*	2.210	3.378*	-3.592*
渐伐-封育 Inter-felling-closed tending	3.024*	-2.866*	5.670**	-4.615**	-9.105**

注:自由度=4;*.差异显著,**.差异极显著。

Note: The degree of freedom $df=4$; $T_{0.05}=2.776$, $T_{0.01}=4.604$; * mean that the difference is significant, ** means that the difference is extremely significant.

不同培育措施对油松群落的物种组成、结构和功能等多方面都有影响,从而决定了它们在物种多样性(丰富度、多样性、均匀度)特征上也有一定的差异。由表 4 知,经过人为抚育与渐伐措施的油松林群落之间,物种多样性指数没有显著差异;而经过人为抚育和渐伐措施的油松林群落与未经人为干扰的封育油松林群落之间的物种多样性指数差异大多显著。说明经过抚育和渐伐措施对油松林群落物种多样性有很大的影响,群落内的物种稳定性下降、物种的演替和更新速率加快,群落处于不稳定的状态;而封育的油松林种群处于稳定状态,其物种多样性没有显著变化。

4 结 论

黄龙山油松种群存活曲线接近 Deevey III 型。但是,如果要包括 I、II 龄级,油松种群存活曲线并不完全符合 Deevey III 型。这是幼龄个体数量少,中老龄个体多导致的现象,说明植物种群幼苗缺

乏^[12,22]。对种群数量的时间序列预测表明,3 个种群均呈现老龄级株数先增加后减少的趋势,缺少幼龄株数补充是共同特征。对依靠种子繁殖、阳性的油松天然林种群来说,只要有足够结实量,有适合生境条件,种群更新不成问题。事实上,黄龙山林区油松天然更新很好,只要有林窗出现,幼苗就会发育,因此黄龙山油松种群长期维持应该没有问题。判断种群不能仅从年龄结构、生命表表征分析,还要考察种群生物学属性和所处的环境条件,否则可能会得到脱离实际的结论。

油松是喜光树种,耐干旱瘠薄,天然林生境土壤偏酸性、气候凉湿,油松除个体生长前期阶段需要遮荫外,其它的生长阶段都需要充足的光照和土壤养分、水分条件。黄龙山地区气候土壤条件能够满足油松林生长需要。在未来经营利用中,应该通过各种培育措施,调整各类生态因子的关系,尽量满足林分持续发展需要。要引进近自然经营理论,通过目标树培育,提高林分质量和经济价值;要通过低强度的间

伐、开拓小面积林窗,营造对油松幼苗发育有利的生境,要通过伐除干扰树、改善光照条件促进成年个体

结实,提高天然条件下的种子发芽率;在种子丰产年,适时采收种子,建立苗圃,扩大人工种群。

参考文献:

- [1] CRAWLEY M J. Plant ecology[M]. London:Blackwell Scientific Publications,1986:97-185.
- [2] FUCHSA 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[J]. *Canada For. Ecol. and Manag.*, 2000, 137:209-219.
- [3] MANUEL C, MOLLES J. Ecology. concept and applications[M]. 2nd ed. New York:McGraw-Hill Companies, 2002:186-254.
- [4] 皱年根, 罗伟祥. 造林学[M]. 北京:中国林业出版社, 1995:375-380.
- [5] HOU L(侯林), LEI R D(雷瑞德), LIU J J(刘建军), WANG D X(王德祥), et al. Dynamic characteristics of hillsides closed afforested *Pinus tabulaeformis* population in Huanglongshan forest zone[J]. *Acta Bot. Borel.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, 24(11):1 263-1 266(in Chinese).
- [6] WANG X J(王小军). Forecast and pollution free control techniques against *Dendrolimus tabulaeformis*[J]. *Forest Pest and Disease*(中国森林病虫), 2006, 25(1):35-39(in Chinese).
- [7] HAN X H(韩向红), JIA ZH B(贾志斌). Primary study on the growth regular of *Pinus tabulaeformis* Carr. population of silvicultural pureforest in west Liaoh Valley[J]. *Acta Scientiarum Universitatis Neimong*(内蒙古大学学报), 2001, 32(2):217-221(in Chinese).
- [8] YANG X M(杨晓民). Correlation of DBH with height of *Pinus tabulaeformis* Carr. plantation in Hasishan Forest Area[J]. *Forestry Science & Technology*(林业科技), 2003, 28(5):15-18(in Chinese).
- [9] 张仰渠. 陕西森林[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 北京:中国林业出版社, 1986:66-67.
- [10] 董 鸣, 王义凤, 孔繁志. 陆地生物群落调查观测与分析——中国生态系统研究网络观测与分析表住方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1996.
- [11] CRAWLEY M J. Plant ecology[M]. London:Blackwell Scientific Publications, 1986:97-185.
- [12] 江 洪. 云杉种群生态学研究[M]. 北京:中国林业出版社, 1992:8-15.
- [13] 周纪纶, 郑师章, 杨 持. 植物种群生态[M]. 北京:高等教育出版社, 1992:71-80.
- [14] ZHENG Y R(郑元润), ZHANG X SH(张新时), XU W D(徐文铎). Model forecast of population dynamics of spruce on sandy land[J]. *Acta Phytoecol. Sinica*(植物生态学报), 1997, 21(2):130-137(in Chinese).
- [15] 谢衷洁. 时间序列分析[M]. 北京:北京大学出版社, 1990.
- [16] 雷明德. 陕西植被[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [17] 蒋志刚, 马克平. 保护生物学[M]. 北京:科学技术出版社, 1997.
- [18] SHI Z M(史作民), LIU SH R(刘市荣), CHENG R M(程瑞梅). The change of high plant's species of diversity in *Quercus variabilis* extensive course in Baotianman area[J]. *Acta Phytoecol. Sinica*(植物生态学报), 1998, 22(5):415-421(in Chinese).
- [19] ZHANG L Q(张利权). Density and biomass dynamics of *Pinus tabulaeformis* in Songyang county, Zhejiang Province[J]. *Acta Phytoecol et Geobotany Sinica*(植物生态学与地植物学学报), 1991, 15(3):216-223(in Chinese).
- [20] ZHANG F(张 峰), SHANGGUAN T L(上官铁梁). The age structure and dynamic feature of *Pinus tabulaeformis* population in Yunmeng Mountain, Shanxi Province[J]. *Wuhan Bot. Res.* (武汉植物学研究), 1992, 10(4):321-324(in Chinese).
- [21] 张文辉. 裂叶沙参种群生态学研究[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1998.
- [22] ZHANG W H(张文辉), WANG Y P(王延平), KANG Y X(康永祥), et al. Age structure and time sequence predication of populations of an endangered plant, *Larix potaninii* var. *chinensis*[J]. *Biodiversity Science*(生物多样性), 2004, 12(3):361-369(in Chinese).