

天然和人工油松林生长过程的研究

肖瑜 周立

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

摘要

经分析比较黄龙山地区天然和人工油松林的种群结构、生物量、年净初级生产量, 结果表明, 天然林的种群结构较为合理, 与人工林的生物量差异不明显, 其年净初级生产量一般低于人工林。天然和人工油松林的直径和树高生长过程均符合S型曲线的增长形式, 但枝条长度的生长方式略有差异, 前者符合S型曲线, 后者与指数S型曲线的形式相吻合。天然林针叶的平均寿命为1.90年, 人工林为1.75年, 但天然林针叶的平均生存期限短于人工林。两者针叶的生存曲线均具有Deevey I型的明显特征。人工林根系长度的年平均生长量明显高于天然林, 根系总长度与年净初级生产量等有密切的相关关系。从种群结构、直径生长、枝条伸长的角度出发有必要对人工林采取必要的抚育间伐措施; 在其经营决策制订方面可参考天然林的生长过程。

关键词: 油松; 天然林; 人工林; 生长; 黄龙山

一、前言

林业上最重要的生长现象是单株木和森林群体的生长。一般来说, 单细胞植物的生长仅是其生理作用的简单表达, 而高等植物, 尤其是森林中乔木个体的进化则需要这一类型在形态、生理和生态上的高度综合, 所以要求这些基础过程在生长中有更为复杂的表达, 能使个体适应日益变化着的微气候条件 (Leopold 等, 1975)。树木生长是遗传与环境相互作用的综合体现 (Hocker, 1979), 不仅不同种类的树木在生长类型上有较大差异, 就是同一种类的个体也会因起源、年龄、环境异质性方面的差异而在生长中表现出不同的特点。针对不同条件的林分研究树木的生长过程, 可为合理利用、管理森林资源打下比较坚实的理论基础, 还可以丰富生态学中有关种群或群体的生长与消亡方面的知识。

油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.) 是我国北方地区地带性森林的主要组成种类之一。

本文1994年5月10日收到。

由于近百年来的连续开采利用,已罕见大面积天然林分布,各地油松林一般都是人工营造的(中国植被编辑委员会,1980)。目前,大部分人工油松林均为幼龄或中龄林,如何更好地经营,以提高其生产力,使之发挥更大的社会和生态效益,应是当前的一项主要工作。本文目的就是以—个地区为例,比较天然和人工油松林生长过程的异同点,以此作为合理营林措施的依据。

二、调查区概况

地处黄土高原的山西、陕西是油松分布的中心。陕西省的天然油松林已不多见,在调查中仅发现黄龙山林区仍有较大面积的成片分布,而且该林区人工营造的油松林面积广阔,是进行本项研究的理想调查地。研究区所在的黄龙县官庄林场,位于东经109°42',北纬35°48',是黄龙山主体所在。油松林大面积分布的海拔高度为1100—1200米。年平均气温8.6℃,年降水量589.3毫米,年≥10℃积温2939.2度·日。

该林区土壤为灰褐色森林土,pH在6.5—7.5之间,粘化层中光性粘土较为显著。林下植物以华北植物区系成分占优势。灌木主要有山桃(*Prunus davidiana* (Carr.) Franch.),疏毛绣线菊(*Spiraea hirsuta* (Hemsl.) Schneid.),美丽胡枝子(*Lespedeza formosa* (Vog.) Koehne),黄蔷薇(*Rosa hugonis* Hemsl.),草本层主要由大油芒(*Spodiopogon sibiricus* Trin.),白茅(*Imperata cylindrica* Beauv.)等组成。

调查在1984年7—8月进行,天然林共设置2块样地,砍伐标准木11株,人工林共设置6块样地,砍伐标准木32株。各样地特征见表1。

表1 调查样地的基本情况
Table 1 Generalities of Sample plots

样地 Plot	坡向 Direction	坡度 Slope	坡位 Location	样地面积 Plot area (m ²)	林分密度 Density (trees/ha)
N-1	S40°W	22°	中部	400	2520
N-2	S60°W	27°	上部	600	1630
A-1	N30°E	30°	近山麓	400	4070
A-2	N40°E	28°	下部	600	1630
A-3	N30°E	29°	中部	300	5270
A-4	S50°E	24°	下部	300	2330
A-5	S30°E	29°	下部	300	4030
A-6	S70°W	15°	下部	300	5200

注: N-i 代表天然林, A-i 代表人工林。下同

Note: N-i and A-i represent natural forests and plantations, respectively

三、研究方法

1. 野外调查

在样地中对各标准木所进行的生物量等项目测定，是按研究油松的有关方法操作的(肖瑜，1990)。

2. 资料的处理与计算

在 85℃ 下烘干林木各器官的样品，推算出各部分干重后用相对生长法估计林木生物量。根据 11 株天然油松林标准木的资料，拟合出各器官干重与胸径和树高的数学方程(表 2)，以 32 株人工油松林标准木资料拟合的数学方程见有关报道(肖瑜，1990)。林分的年净初级生产量用下式估算(Fujimori 等，1976)：

$$Npp = Y_{NS} + Y_{NB} + Y_{NL} + Y_{NR} \quad (1)$$

式中， Y_{NS} 、 Y_{NB} 、 Y_{NL} 、 Y_{NR} 分别为林木树干(带皮)、树枝、树叶、树根的年生产量。树干、树皮的年生产量采用树干解析法并配合相对生长关系式估算。树枝的年生产量是枝生物量被平均枝龄所除之商。树根的年生产量利用建立的树根生物量的相对生长关系式估算。树叶年生产量的估算有多种方法(木村允，1981; Newbould, 1970)，本文根据下式计算(肖瑜，1993)：

$$Y_{NL} = 0.693B/\bar{x} \quad (2)$$

式中 B 为树叶生物量， \bar{x} 为针叶平均寿命。

表 2 天然油松林单株木各器官干重的估计方程

Table 2 Regression equations for dry weight estimation of each single tree component in natural Chinese pine forests

项目 Item	方程 Equation	相关系数 Correlation coefficient	幅度 Scope	
			X	Y
树干 Stem	$W_S = 0.02487(D^2H)^{0.92637}$	0.998	D: 2.40—19.60 H: 3.18—10.45	0.42—62.93
树皮 Bark	$W_B = 0.00444(D^2H)^{0.93726}$	0.997	同上	0.08—13.11
树枝 Branch	$W_{BR} = 0.01477D^{2.50416}$	0.978	同上	0.15—30.96
树叶 Leaf	$W_L = 0.02832D^{2.10114}$	0.982	同上	0.23—14.68
树根 Root	$W_R = 0.01458D^{2.35925}$	0.997	同上	0.09—20.05

单株木针叶的平均寿命采用特定时间生命表法进行估算 (Harper, 1977; Namboodiri 等, 1987; Sharitz 等, 1972)。

根据野外调查及计算的各样地油松种群的生长与结构特征列于表 3, 其中的林分群体光学因素是表明群体结构 (疏透、郁闭等) 的重要指标。

表 3 各样地油松种群的生长与结构要素
Table 3 Growth and structure characteristics of Chinese pine population in the sample plots

标准地 Plot	林龄 Age (yr)	胸径 DBH (cm)	树高 Height (m)	轮生枝层数 Branch cohort number	胸高断面积 Basal area (m ² /ha)	叶面积指数 LAI	消光系数 Extinction coefficient	透光系数 Light penetrat- ion coefficient
N-1	31	9.77	8.8	20	18.75	8.95	0.28	0.76
N-2	34	12.97	9.8	22	21.57	14.85	0.14	0.87
A-1	24	8.29	7.8	12	22.01	11.59	0.22	0.80
A-2	24	10.12	8.5	11	13.15	6.25	0.34	0.71
A-3	23	8.42	8.5	10	29.35	13.82	0.21	0.81
A-4	23	9.85	8.3	10	17.78	9.95	0.29	0.75
A-5	21	7.64	6.7	10	18.49	15.63	0.21	0.81
A-6	21	7.46	8.8	8	22.74	14.39	0.21	0.81

四、结果与讨论

1. 种群的结构

种群结构 (即林木株数按径阶的分配) 因林木生长、死亡而随年龄的增长而变化 (胡希等, 1981)。经比较发现, 天然林的种群结构一般较规则, 而人工林中有 3 个样地内的株数分布无规律性 (图 1)。天然林各径阶的株数百分比中, 12 径阶 (含 12 径阶) 以上的林木株数 N-1 为 30.0%, N-2 为 63.3%; 人工林在同一标准下依次为 A-1 14.7%, A-2 38.8%, A-3 17.1%, A-4 31.4%, A-5 5.0%, A-6 2.6%。由此看来, 决定种群结构的因素主要是密度 (表 1)。A-2 和 A-4 样地虽然较大径阶的单株木所占比例高于 N-1, 但分布不合理。另外, 每公顷土地合理密度指标可根据乌道特公式 (北京林学院主编, 1981) 计算:

$$N = \frac{10000}{0.164D\sqrt{D}} \quad (3)$$

式中, N 为株数, D 为林分平均直径。

结果表明, 天然林的种群结构在调查时期基本合理, 而人工林的密度一般均超过标准, 在现阶段应采取必要的抚育间伐措施进行间伐作业, 以调整到合理的种群结构和密度水平。

天然林和人工林的生物量调查结果来看，它们的差异不是很大（表4），但人工林

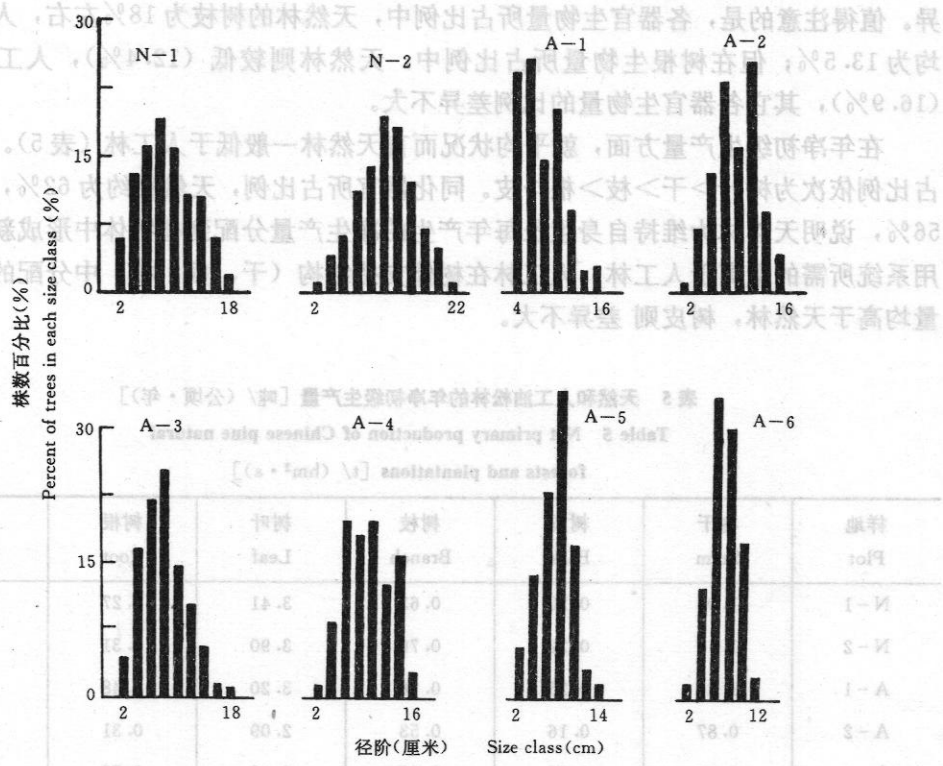


图1 样地的种群结构
Fig. 1 Population structure of sample plots

2. 生物量积累与年净初级生产量

从天然林和人工林的生物量调查结果来看，它们的差异不是很大（表4），但人工林

表4 天然和人工油松林的生物量（吨/公顷）
Table 4 Biomass of Chinese pine natural forests and plantations (t/ha)

样地 Plot	树干 Stem	树皮 Bark	树枝 Branch	树叶 Leaf	果实 Fruit	树根 Root	合计 Total
N-1	32.71	6.32	12.24	8.66	0.41	8.43	68.77
N-2	38.93	7.56	15.66	10.18	0.59	10.47	83.39
A-1	32.20	6.03	9.43	9.64	0.03	11.64	68.96
A-2	20.08	3.76	6.01	5.92	0.05	7.39	43.21
A-3	46.20	8.66	12.82	12.87	—	16.73	97.28
A-4	26.68	4.99	8.12	8.01	0.60	9.80	58.20
A-5	23.61	4.42	7.39	7.88	—	8.32	51.62
A-6	36.34	6.80	8.86	9.59	0.10	12.88	74.57

之间的生物量却有明显不同，主要是由于各样地的立地条件和林分状况有一定程度的差异。值得注意的是，各器官生物量所占比例中，天然林的树枝为18%左右，人工林仅平均为13.5%；但在树根生物量所占比例中，天然林则较低（12.4%），人工林反而高（16.9%），其它各器官生物量的比例差异不大。

在年净初级生产量方面，就平均状况而言天然林一般低于人工林（表5）。各器官所占比例依次为树叶>干>枝>根>皮。同化器官所占比例，天然林约为62%，人工林为56%，说明天然林为维持自身生长每年产生的净生产量分配到植物体中形成新的光合作用系统所需的量高于人工林，人工林在树体支持结构（干、根、枝）中分配的年净生产量均高于天然林，树皮则差异不大。

表5 天然和人工油松林的年净初级生产量 [吨/ (公顷·年)]

Table 5 Net primary production of Chinese pine natural forests and plantations [t/ (hm²·a)]

样地 Plot	树干 Stem	树皮 Bark	树枝 Branch	树叶 Leaf	树根 Root	合计 Total
N-1	1.06	0.20	0.63	3.41	0.27	5.57
N-2	1.14	0.22	0.70	3.90	0.31	6.27
A-1	1.34	0.25	0.78	3.20	0.48	6.05
A-2	0.87	0.16	0.53	2.09	0.31	3.96
A-3	2.01	0.38	1.32	6.42	0.73	10.86
A-4	1.16	0.22	0.81	3.43	0.43	6.05
A-5	1.12	0.21	0.72	4.02	0.40	6.47
A-6	1.73	0.33	1.08	4.10	0.61	7.85

3. 直径生长过程

经分析天然林和人工林标准木的去皮直径和树皮厚度资料，发现它们之间的关系不尽相同：

$$\text{天然林} \quad \text{BT} = 0.26598e^{0.20877\text{DN}} \quad (4)$$

$$n = 21, \quad r = 0.978, \quad P < 0.001$$

$$\text{人工林} \quad \text{BT} = 1 / (2.67494 - 0.24629\text{DN}) \quad (5)$$

$$n = 58, \quad r = -0.945, \quad P < 0.001$$

式中BT和DN分别表示树皮厚度与去皮直径。

带皮直径与年龄之间存在如下关系：

$$y = \frac{A}{1 + Bx^c} \quad (6)$$

式中A、B、C是与生长有密切关系的参数，显然A是最大直径。在拟合各样地年龄与直径关系的方程后，所得各参数列于表6。

表6 胸径、树高、枝长随年龄增长的模型(方程(6)和(7))中的参数

Table 6 Parameters in DBH vs. age, height vs. age and branch length vs. branch age equations (eqs. (6) and (7))

样地 Plot	胸径 DBH					树高 Height					枝长 Branch length				
	A	B	C	n	r	A	B	C	n	r	A	B	C	n	r
N-1	14.11	603.13	-2.121	27	-0.976	12.0	152.52	-1.730	32	-0.995	200	20.72	-2.066	19	-0.977
N-2	19.60	2500.03	-2.490	29	-0.979	12.5	164.91	-1.669	35	-0.989	400	27.56	-1.796	23	-0.964
A-1	14.93	1146.99	-2.335	19	-0.997	11.2	126.60	-1.719	24	-0.987	205	19.45	-0.467	10	-0.997
A-2	11.91	34912.83	-3.812	18	-0.986	11.0	178.16	-1.836	24	-0.980	245	17.19	-0.362	13	-0.977
A-3	14.29	403.51	-2.070	18	-0.994	10.8	158.24	-1.895	22	-0.990	170	24.91	-0.543	9	-0.991
A-4	12.45	819.67	-2.448	18	-0.984	10.5	110.86	-1.780	22	-0.984	175	19.49	-0.453	10	-0.997
A-5	11.67	4773.77	-2.976	15	-0.998	9.8	102.06	-1.641	21	-0.979	200	17.96	-0.423	12	-0.988
A-6	11.19	1103.79	-2.578	16	-0.999	11.8	138.97	-1.761	21	-0.976	195	26.86	-0.599	9	-0.992

注: A、B、C 为方程(6)和(7)中的相应参数, n 为样本数, r 为相关系数. 详见正文

Note: A, B and C are parameters in eqs. (6) and (7), n is samples and r correlation coefficients. See more details in the text

天然和人工油松林的直径生长符合方程(6)所描述的S型曲线增长形式。根据方程可知,人工林中单株平均木的直径生长与天然林相应的部分相比,在20年以后逐渐趋缓,密度愈大直径生长开始衰减的时期愈早。这一结果表明,从直径生长和林分结构合理性的角度出发,都有必要对现有的人工林采取有效的抚育间伐措施以促进其整体质量的提高。

4. 树高生长过程

树高随年龄的生长仍然符合方程(6)所描述的形式,计算的参数整理后列于表6。由于树高受林分密度的影响很小(Spurr等,1980),所以天然林和人工林单株木的树高在同一年龄阶段差异不大,差异最明显时期(20龄)也仅为1米。又据陕西省不同地区油松林的调查资料比较,黄龙山地区天然和人工油松林单株平均木的树高仅高于其北部同一年龄时期的油松高度,但均低于南部各地油松林的平均高度。产生这一结果的原因,除土壤因素外,气候的影响也不容忽视。

5. 枝条长度的生长

在枝条长度的生长过程中,天然林与人工林表现出不同的趋势。天然林单株木的枝条长度生长仍符合方程(6)所揭示的曲线形式,但人工林单株木的枝长变化却不符合上述形式,它们的生长有其自身规律性,生长过程与下面的指数S型曲线形式更加吻合:

$$y = \frac{A}{1 + Be^{cx}} \quad (7)$$

经计算方程(6)和(7)中有关枝条随枝龄生长的参数,结果一并列入表6。应该注意的是天然林样地中的参数应代入方程(6),而人工林中的相应参数应代入方程(7)。

天然林中标准木的最高枝龄一般均在20年前后,而人工林的枝龄均较小,平均在10年左右。人工林的枝长增长方式与天然林有异,部分原因可能在此。另外,人工林林龄

小, 密度较高, 自然稀疏过程较剧烈, 位于下部的枝条年龄也就不可能很高。虽然现阶段人工林的枝长增长仍很旺盛, 但受密度的影响和制约会随时间而逐渐明显。这也是前节分析天然和人工油松林各器官生物量所占比例中天然林的树枝比重较大的原因。因此, 从枝条是同化器官载体这一角度出发也应采取适当措施以促进人工林枝条的生长。

6. 针叶平均寿命

本文以上对生长所进行的分析, 均是以年为时间单位的。在这种情况下对于针叶而言其年间变化只能是数量或重量的。根据生产力分析的原理可知(木村允, 1981), 虽然树木生长受遗传和环境异质性的控制或影响, 但其群体的叶生物量在达到一定树龄之后会趋于稳定(Kira等, 1967; Woodwell等, 1968), 对于大多数种类而言, 这一年龄阶段约为20年前后(White, 1979)。即在20龄前后林分的叶年生长量和死亡量将达到平衡。本项研究涉及的对象林龄均在20年以上, 所以讨论其年度变化意义不大。我们假设天然和人工油松林的针叶群体已达到稳定年龄分布阶段, 然后分析它们的生存与死亡情况。

表7 油松天然林和人工林针叶群体的生命表
Table 7 Life table of leaf populations for Chinese pine natural forests and plantations

起源 Origin	样木数 Tree samples	x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x
天然 Natural	11	0	1000	170	170	915	1896	1.90
		1	830	276	332	692	981	1.18
		2	554	542	978	283	289	0.52
		3	12	12	1000	6	6	0.50
人工 Man-made	31	0	1000	281	281	860	1750	1.75
		1	719	213	296	612	890	1.24
		2	506	481	950	266	278	0.55
		3	25	25	1000	12	12	0.48

注 x: 叶龄

l_x : x 年龄级开始时的存活数量(初始群体设为 1000 个体)

d_x : x 年龄期间的死亡数量, $d_x = l_x - l_{x+1}$

q_x : 每一年龄期间的死亡率, $q_x = 1000d_x/l_x$

L_x : x 和 (x+1) 年龄期间的平均存活数量, $L_x = 1/2 (l_x + l_{x+1})$

T_x : x 年龄至超过 x 年龄的总叶片数量, $T_x = L_x + l_{x+1} + \dots$

e_x : 平均寿命, $e_x = T_x/l_x$

Note x: Leaf age (yr)

l_x : Number of leaves surviving to the start of next life stage (numbers are generalized to an initial cohort of 1000 leaves)

d_x : Number of leaves dying during the life cycle stage, $d_x = l_x - l_{x+1}$

q_x : Proportion of leaves entering the age category that do not survive, $q_x = 1000d_x/l_x$

L_x : Average years lived between x and (x+1) age class, $L_x = 1/2 (l_x + l_{x+1})$

T_x : Total lifetime remaining for all individuals attaining the age x, $T_x = L_x + L_{x+1} + \dots$

e_x : Life expectancy of an individual aged x, $e_x = T_x/l_x$

采用生命表方法 (Namboodiri 等, 1987), 我们分析了 11 株天然油松林标准木和 31 株人工油松林标准木的针叶群体, 得到了它们的特定年龄存活率、死亡率及预期寿命等参数 (表 7)。天然林针叶平均寿命为 1.90 年, 人工林针叶平均寿命为 1.75 年, 差异不明显 (平均寿命仅相差约 50 天)。经分别计算它们同生群 (Cohort, 即同期出生群体) 95% 的针叶成员平均死亡时间, 结果表明天然林约为 2.46 年, 人工林约为 2.72 年, 由此可大致了解目前条件下天然和人工油松林针叶的平均生存期限。

天然和人工油松林的针叶生存曲线从总体上看非常相似, 但略有差异 (图 2)。天然林针叶与人工林相比, 在前两年内有较高的存活率, 但随后死亡率增加, 超过人工林的针叶。从针叶生存曲线的形状来看, 均具有 Deevey I 型生存曲线的明显特征, 这一形式在其它植物, 如巴山松 (*Pinus henryi*) (肖瑜, 1994), 白栎 (*Abies veitchii*) (Kimura 等, 1968), 亚麻 (*Linum usitatissimum*) (Bazzaz 等, 1977), 黄肉楠 (*Actinodaphne longifolia*) (Yukawa 等, 1977) 等的叶片中也有发现。White (1979) 在分析所有植物叶片均为 I 型生存曲线后提出叶片在幼年期接近和制造食物导致了有利的生存条件这一假说来进行解释, 它是否正确, 目前尚无法验证。由于不同龄级的叶片对产量贡献不同 (Chabot 等, 1982; Humphries 等, 1963; Kinerson 等, 1974), 生存时间也有差异 (Sydes, 1984), 后者又主要是环境制约的 (肖瑜, 1994; Bazely 等, 1989; Kikuzawa, 1984; Rogers 等, 1986), 所以 Williams 等 (1989) 又提出叶片建造消耗与寿命之间关系的碳耗费/获得比假说。Kikuzawa (1984, 1986) 也认为, 叶片寿命由建造叶片和维持叶片的消耗与叶片的收益或制造光合产物的效益之间的平衡所决定, 是植物对环境条件的一种适应策略, 是对变化着的环境进行适应的结果。以上理论能否解释天然和人工油松林针叶寿命的某些差异及各自群体内部不同单株木的针叶寿命差异, 尚须进行深入研究。

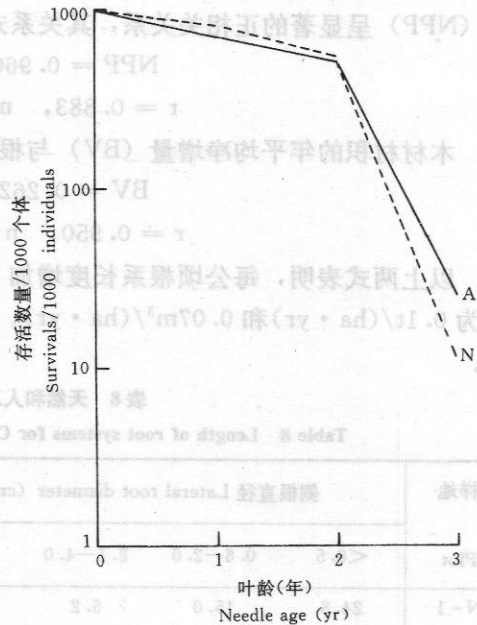


图 2 油松针叶的生存曲线
Fig. 2 Survivorship curves of Chinese pine needles

7. 根系长度的生长

根系与地上部其它器官相同, 生长与死亡的交替也会随着林龄的变化而表现出一定的规律性。但这种研究一般需要连续多年的观测和必要的观察测定手段 (伯姆, 1985), 所以本文仅将研究中测定的单位面积上根系总长度报道如下, 从此可大致了解天然和人工油松林的年平均根系生长长度。

天然和人工林单株木根系总长度 (L) 和胸高直径 (D) 分别有如下关系:

天然林 $L = 53.94958e^{-8.20204 \cdot \frac{1}{D}}$ (8)

$r = -0.961, n = 11, P < 0.001$

人工林 $L = 1.56152D^{1.14443}$ (9)

$r = 0.908, n = 20, P < 0.001$

利用上述方程分别计算了各标准地的根系总长度(表8)。一般来说,直径 $\leq 0.5\text{cm}$ 的根系长度所占比例最高,均超过50%。根的直径愈大,长度比例愈小。但是,不同样地的林分间略有差异,起源的影响似乎不显著。从根系生长长度的年平均结果来看,除个别人工林样地外,它们的年生长量要明显高于天然林。根系长度与林分的年净初级生产量(NPP)呈显著的正相关关系,其关系式如下:

$NPP = 0.96009 + 0.09757L$ (10)

$r = 0.883, n = 8, P < 0.01$

木材材积的年平均净增量(BV)与根系长度的关系更加显著:

$BV = 0.26241 + 0.06595L$ (11)

$r = 0.950, n = 8, P < 0.001$

以上两式表明,每公顷根系长度增加1公里时,相应的干物质和材积年生长量分别约为 $0.1\text{t}/(\text{ha} \cdot \text{yr})$ 和 $0.07\text{m}^3/(\text{ha} \cdot \text{yr})$ 。由此也可看出根系生长在物质生产方面的意义。

表8 天然和人工油松林的根系长度

Table 8 Length of root systems for Chinese pine natural forests and plantations

样地 Plot	侧根直径 Lateral root diameter (cm)				主根 Taproot	合计 Total	年平均生长长度 Yearly mean increment
	<0.5	0.6—2.0	2.1—4.0	>4.0			
N-1	24.8 (50.7)	15.0 (30.6)	5.2 (10.7)	2.6 (5.4)	1.3 (2.6)	48.9	1.6
N-2	30.1 (70.6)	5.2 (12.3)	3.5 (8.2)	2.5 (5.9)	1.3 (3.0)	42.6	1.3
A-1	38.4 (57.8)	12.3 (17.1)	5.3 (7.9)	3.9 (5.9)	3.0 (1.7)	66.4	2.8
A-2	22.2 (64.7)	7.6 (22.1)	2.4 (7.0)	1.5 (4.4)	0.6 (1.8)	34.3	1.4
A-3	48.0 (55.0)	21.7 (24.9)	11.3 (12.9)	4.4 (5.0)	1.9 (2.2)	87.3	3.8
A-4	26.2 (55.7)	13.3 (28.4)	3.9 (8.2)	3.0 (6.5)	0.6 (1.2)	47.0	2.0
A-5	33.3 (54.6)	15.1 (24.8)	7.0 (11.4)	3.6 (5.9)	2.0 (3.3)	61.0	2.9
A-6	41.9 (53.9)	25.1 (32.2)	5.9 (7.6)	3.3 (4.2)	1.6 (2.1)	77.8	3.7

注: 括号内数值为百分比(%)

Note: Values inside the parentheses are proportions (%) of the category

五、结 论

(1) 天然油松林的种群结构与人工林相比较为合理。它们之间的生物量平均结果差异不大, 但个别器官分配比例有差别。天然林在树枝生物量方面的分配比例比人工林约高 4.5%, 但在树根生物量比例方面又比人工林约低 4.5%。在年净初级生产量方面, 天然林一般低于人工林。年净生产量在针叶方面的分配, 天然林约占 62%, 人工林占 56%; 但在树体支持结构的光合产物分配方面, 人工林均高于天然林。

(2) 天然和人工油松林的直径与树高生长过程均符合 S 型曲线的增长形式。天然与人工林枝条长度的生长方式略有差异, 前者符合 S 型曲线, 后者与指数 S 型曲线的形式吻合。天然和人工油松林的直径生长受到密度差异的影响, 在同年龄时有一定的差别, 树高生长过程受到的影响不明显。枝长生长方式的差异也许与林龄有关。

(3) 天然林针叶的平均寿命为 1.90 年, 人工林为 1.75 年, 差异不明显; 天然林针叶的平均生存期限约为 2.46 年, 人工林约为 2.72 年。两者针叶的生存曲线均具有 Deevey I 型的明显特征, 但在各年的存活和死亡率上略有不同。

(4) 从单位面积上根系总长度方面来看, 起源的影响不显著; 从根系长度的年平均生长来看, 人工林的年生长量明显高于天然林。根系总长度与年净初级生产量和材积年平均生长量之间有非常密切的关系。

(5) 从种群结构、直径生长、枝条伸长的角度考虑, 有必要对现有的人工林采取合理的抚育间伐措施, 以促进其生产力和质量的稳步提高。

(6) 天然林的生长过程在某种程度上预示着未来人工林的生长, 所以在人工林的经营决策方面可以作为部分参考。

参 考 文 献

- 木村允, 1981, 陆地植物群落的生产量测定法, 科学出版社, 58—105。
- 中国植被编辑委员会, 1980, 中国植被, 科学出版社, 211—218。
- 北京林学院主编, 1981, 造林学, 中国林业出版社, 277—287。
- 肖 瑜, 1990, 陕西省不同气候区域油松人工林生物量和生产力的比较研究, 植物生态学与地植物学学报, 14: 237—246。
- 肖 瑜, 1993, 对采用平均叶龄估算叶年净初级生产量的修正, 植物生态学与地植物学学报, 17: 358—363。
- 肖 瑜, 1994, 巴山松种群针叶群体数量与寿命的水平与垂直分布规律分析, 植物生态学报, 将刊。
- B. 胡希, C. I. 米勒, T. W. 比尔斯, 1981, 测树学, 中国林业出版社, 270—305。
- W. 伯姆, 1985, 根系研究法, 科学出版社, 1—186。
- Bazely, D. R. and Jefferies R. L., 1989, Leaf and shoot demography of an Arctic stoloniferous grass, *Puccinellia phryganodes*, in response to grazing. *J. Ecol.*, 77: 811—822.
- Bazzaz, F. A. and Harper, J. L., 1977, Demographic analysis of the growth of *Linum usitatissimum*. *New Phytol.*, 78: 193—208.
- Chabot, B. F. and Hicks, D. J., 1982, The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 229—259.
- Fujimori, T., Kawanabe, S., Saito, H., Grier, C. C. and Shidei, T., 1976, Biomass and primary production in forest of three major vegetation zones of the Northwestern United States. *J. Jap. For. Sci.*, 58: 435—441.
- Harper, J. L., 1977, Population biology of plants. Academic Press, London.

- Hocker, H. W., 1979, Introduction to forest biology. Wiley, New York.
- Humphries, E. C. and Wheeler, A. W., 1963, The physiology of leaf growth. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 14: 385-410.
- Kikuzawa, K., 1984, Leaf survival of woody plants in deciduous broad-leaved forests. 2. Small trees and shrubs. *Can. J. Bot.*, 62: 2551-2556.
- Kikuzawa, K., 1986, Leaf survival strategy of forest trees. *Jap. J. Ecol.*, 36: 189-203.
- Kimura, M., Mototani, I. and Hogetsu, K., 1968, Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. VI. Growth and dry matter production of young *Abies* stand. *Bot. Mag. (Tokyo)*, 81: 287-296.
- Kinerson, R. S., Higginbotham, K. O. and Chapman, R. C., 1974, The dynamics of foliage distribution within a forest canopy. *J. Appl. Ecol.*, 11: 347-353.
- Kira, T. and Shidei, T., 1967, Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. *Jap. J. Ecol.*, 17: 70-87.
- Leopold, A. C. and Kriedemann, P. E., 1975, Plant growth and development. McGraw-Hill, New York.
- Namboodiri, N. K. and Suchindran, C. M., 1987, Life table techniques and their applications. Academic Press, Orlando.
- Newbould, P., 1970, Methods for estimating the primary production of forests. IBP Handbook No. 2, Blackwells, Oxford.
- Rogers, R. W. and Barnes, A., 1986, Leaf demography of the rainforest shrub *Wilkiea macrophylla* and its implications for the ecology of foliicolous lichens. *Aust. J. Ecol.*, 11: 341-345.
- Sharitz, R. R. and McCormic, J. F., 1972, Population dynamics of two competing annual plant species. *Ecology*, 54: 723-740.
- Spurr, S. H. and Barnes, B. V., 1980, Forest ecology. 3rd Edition, Wiley, New York.
- Sydes, C. L., 1984, A comparative study of leaf demography in limestone grassland. *J. Ecol.*, 72: 331-345.
- White, J., 1979, The palnt as a metapopulation, *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 10: 109-145.
- Williams, K., Field, C. B. and Mooney, H. A., 1989, Relationships among leaf construction cost, leaf longevity, and light environment in rain-forest plants of the genus *Piper*. *Amer. Nat.*, 133: 198-211.
- Woodwell, G. M. and Whittaker, R. H., 1968, Primary production in terrestrial ecosystems, *Amer. Zoologist*, 8: 19-30.
- Yukawa, J., Yamauchi, S., Nagai, S. and Tokuhisa, E., 1977, Leaf longevity and the defoliating process in sapling of *Actinodaphne longifolia*. *Jap. J. Ecol.*, 27: 171-175.

**COMPARISONS BETWEEN CHINESE PINE NATURAL
FORESTS AND PLANTATIONS (*PINUS TABULAEFORMIS* CARR.)
IN GROWTH PROCESS**

Xiao Yu and Zhou Li

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

The population structure, biomass, net primary production, and the others of natural forests and plantations of Chinese pine were investigated and analyzed in Huanglong Mountains, Shaanxi province. The results showed that, population structure of natural forests is more regular than that of plantations; origin difference did not affect the biomass greatly, the net primary production of natural forests is usually lower than that of plantations. The growth processes of diameter at breast height and total tree height were well in accordance with the pattern of sigmoid curve, but there was divergence in branch length elongation mode between the natural forests and plantations; those conformed to the sigmoidal pattern, and these exponential sigmoidal pattern. The life expectancy of needles in natural forests was about 1.90 years, and that was 1.75 years in plantations, but mean lifespan of the latter was longer than that of the former; the survivorship curve of needles in both natural forests and plantations maintained the significant features of Deevey I type. The yearly mean increments of root length in plantations were considerably higher than those in natural forests; the total root length was closely correlated to the net primary production and yearly mean volume increment. From the viewpoints of population structure, diameter growth and branch elongation requirements, the Chinese pine plantations should be regulated and thinned to the necessary densities, the growth processes of trees in natural forests could be referenced in designing management decisions for plantations.

Key words: Chinese Pine; Natural Forest; Plantations; Growth; Huanglong Mountains