

# I-69 杨胶合板用材林密度及立地效应研究\*

梁 军 吕士行 徐锡增

**摘要** 以胶合板材为培育目标,研究了 I-69 杨胶合板用材林平均单株材积与造林密度和优势高的关系。分别不同林龄(6~11 a)建立了平均单株材积与造林密度及优势高的模型  $V = a_0 N^{a_1} H^{a_2}$ , 通过生产弹性分析、边际产量分析,研究了密度效应及优势高效应,计算出了不同林龄林分的生产弹性值和边际产量,并且根据立地及密度效应模型研究了造林密度、林龄、立地指数对林分蓄积的影响。认为在长江中、下游地区营造 I-69 杨胶合板用材林密度应适当减小,选择造林地时以立地指数大于等于 20 m 林地为佳。

**关键词** I-69 杨、密度效应、立地效应、生产弹性、边际产量

I-69 杨[*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux']自 70 年代初从意大利引入我国至今已在黄淮海、长江中下游的苏、鄂、湘、鲁、豫、皖、浙、川等省推广达 16.7 万  $\text{hm}^2$  左右。获得了巨大的成功,现在相当一部分林分已进入采伐利用阶段,为胶合板、火柴、纤维板和造纸等木材工业提供生产原料,促进了当地经济的发展。但是经营杨树胶合板用材的人工林比起一般人工林具有更强的目标性和计划性,其培育目标是林木的高质量和大径级,培育措施也必然不同于其它材种。其中特别是立地质量及造林密度是影响单株生长的最主要因素。因此,如何通过调控密度和立地质量来达到既定目标,是胶合板材培育急待解决的问题,为此对现有 I-69 杨林分的生长情况进行研究,提出合理的经营策略就显得更为重要。

## 1 材料来源

建模的调查样地应尽量均匀地分布在时间和空间序列中<sup>[1]</sup>。建模材料来自 290 块 6~11 年生 I-69 杨固定标准地和临时标准地,调查区分布于 I-69 杨栽培区内,包括山东、湖南、湖北、江苏、河南、安徽各省,标准地随林分年龄、林分密度、立地指数的分布基本均匀。

数据的收集是采用以下方法进行的。在林分中选择有代表性的地段,设置临时标准地及永久标准地,每块标准地调查 50~100 株林木,测定胸径和树高,选伐平均标准木一株,由解析木查定林分年龄,并计算单株材积,根据株行距推算单位面积林木株数。在被查的 50~100 株林木中选树高值最大的 5 株进行平均,得林分平均优势高即优势高。

## 2 结果与分析

### 2.1 生产函数建立

林分单株径级的大小在一定条件下与单株的材积是成正相关的。因此选用林分单株材积作为评价指标来对造林密度及优势高效应进行研究是合理的。一般认为密度效应是在相同立

1995—10—23 收稿。

梁军讲师,吕士行、徐锡增(南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037)。

\* 本项研究属“八五”国家攻关“南京地区杨树纸浆林和胶合板林优化栽培模式”专题的部分内容。

地条件和生长阶段的林分,其单株材积随密度的增加而减少的规律。吉良龙夫(1953)<sup>[2]</sup>在研究草本植物密度与生长之间的关系时提出

$$V = KN^{-a}$$

式中:  $V$  为平均个体重量;  $N$  为单位面积密度。此模型用于研究林木时,必须在林分疏密度相同时期才有意义。在研究自然稀疏过程中 Silvertoun J. W. (1982)<sup>[3]</sup>也同样提出这种模型。

当优势木高  $H_0$  相同时,有许多人提出下列模型:  $V = A - BN$ 。

为了研究林分单株材积因林分的生长而变化的规律,引入用优势木高  $H_0$  表示的林分类型参数值:  $A = a_{11}H_0^{b_{11}}$ ,  $B = a_{12}H_0^{b_{12}}$ , 这样得到了  $V = a_{11}H_0^{b_{11}} - a_{12}H_0^{b_{12}}N$ 。

安藤贵(1968)<sup>[4]</sup>认为林分生长过程中,不断分化出来的生长落后的被压木,因光照和营养不足,最后导致自然枯死,于是提出模型  $V = aN^{-1} - b_0$ 。

陈辉等(1992)<sup>[5]</sup>在研究杉木人工林密度效应时,提出了模型  $V = aN^{\beta_1}H_0^{\beta_2}$ 。并对杉木的密度效应进行了研究。得到了满意的结果。

尽管以上各模型对研究立地及密度作用规律起了巨大的作用,然而,在建模时由于不分林分年龄而进行混合建模,因此无法排除林分年龄对立地质量(优势高)的影响。笔者则为了研究立地、密度对林木生长的影响,认为对调查的材料应分别不同的林龄建立密度及立地效应模型,来排除林龄对优势高的影响,用于评价立地质量和造林密度对林分单株材积的效应及影响才更为合理。

根据前人的研究结果以及笔者对四种不同的模型进行拟合认为,采用模型

$$V = a_0N^{a_1}H_0^{a_2} \quad (1)$$

为最佳,根据 290 块标准地的调查资料,采用 Marquart 迭代法分别不同林龄的调查资料进行建模,其结果见表 1。

表 1 I-69 杨胶合板用材林密度及立地效应模型

林龄	模 型 参 数			$n$	$R_1$	$R_2$	$R$
	$a_0$	$a_1$	$a_2$				
6	0.000 81	- 0.251 8	2.481 0	42	- 0.623 3	0.909 7	0.911 8
7	0.002 13	- 0.258 5	2.188 5	43	- 0.644 8	0.826 8	0.828 7
8	0.029 83	- 0.482 4	1.808 7	53	- 0.792 9	0.898 9	0.920 6
9	0.028 84	- 0.484 4	1.806 3	55	- 0.622 1	0.881 9	0.917 4
10	0.017 18	- 0.528 6	2.014 8	41	- 0.516 7	0.856 4	0.926 4
11	0.008 76	- 0.663 7	2.421 2	56	- 0.762 5	0.749 8	0.826 2

通过对 6 个模型的复相关系数  $t$  值检验表明,各模型的  $t$  值均大于  $t_{0.01}$ ,表示各模型的估计效果都很好。

## 2.2 单因素生产弹性分析

建立模型后,进行边际分析,研究连续增加(或减少)每单位因素所产生的效应程度<sup>[6]</sup>。计算生产弹性系数的公式为:

$$Ep = (y/y)/(x/x) = (\partial y/\partial x)/(y/x)$$

$Ep$  反映了产量的变动率与影响产量因素的变化率的比值,体现了效应的规律。分析 I-69 杨胶合板用材林的密度及立地效应模型应计算边际效应,计算方法为:

$$Ep(N) = \partial V / \partial N = a_1 V / N, Ep(H_0) = \partial V / \partial H_0 = a_2 V / H_0$$

当  $Ep(x) > 1$  时, 指标  $x$  效应处于效应递增阶段, 资源未被充分利用, 应增加  $x$  的量。当  $Ep(x) < 0$  时, 指标  $x$  效应处于效应递减阶段, 投资反而会引起产量下降, 应减少  $x$  的量。当  $0 < Ep(x) < 1$  时, 指标  $x$  效应处于效应递减阶段, 资源已被充分利用, 应根据平衡原理确定适宜的  $x$  水平<sup>[2]</sup>。

对不同林龄模型的弹性系数进行计算, 结果见表 2。可看出, I-69 杨胶合板用材林的密度效应弹性系数随着林分年龄的增加而减少, 并均小于 0。而优势高效应弹性系数则随林分年龄无明显变化规律, 但其值都大于 1。因此, 密度效应处于负效应阶段, 或是绝对不合理阶段, 应减少林分密度。并且随着林分年龄的不同, 当密度减少 1% 时, 单株材积则增加 0.2518% ~ 0.6637%, 说明长江中下游地区 6~11 年生 I-69 杨胶合板用材林林分密度偏大, 应适当减少造林密度。根据 290 块标准地资料来看, 密度为 625、400、278 株/hm<sup>2</sup> 的标准地占总标准地的 78%, 因此, 造林密度应减小到 156 株/hm<sup>2</sup> 或 204 株/hm<sup>2</sup> 为宜。尽管林分优势高效应弹性系数随林分年龄无明显变化规律, 但其值均大于 1。说明其效应处于正效应阶段, 或说相对不合理阶段, 应增加其量。从变动值可看出, 不同年龄的林分, 当林分优势高增加 1% 时, 单株材积也将增加, 其值变动于 1.8063% ~ 2.4810%, 说明 I-69 杨胶合板用材林栽培区内 I-69 杨的生长潜力还没有完全发挥出来, 或说立地条件阻碍了 I-69 杨本身生长潜力的发挥, 因此, 应注重于立地条件的改善, 加强集约化栽培。从  $Ep(H_0)$  还可看出, 在 6~7 年生或 10~11 年生时改善立地条件后对产量的影响要比在 8~9 年生时改善立地的效果好。

表 2 I-69 杨胶合板用材林密度及立地效应与生产弹性及边际产量

林龄	生产弹性			边际产量	
	$Ep(N)$	$Ep(H_0)$	$Ep(N+H_0)$	$Mpp(N)(m^3 \cdot 株^{-1})$	$Mpp(H_0)(m^3 \cdot m^{-1})$
6	-0.2518	2.4810	2.2292	-0.00010256	0.02675
7	-0.2585	2.1885	1.9297	-0.00023241	0.03080
8	-0.4824	1.8087	1.3263	-0.00072257	0.03391
9	-0.4844	1.8063	1.3219	-0.00092050	0.03957
10	-0.5286	2.0148	1.4862	-0.00110937	0.05016
11	-0.6637	2.4212	1.7575	-0.00168319	0.06927

### 2.3 多因素生产弹性分析

多因素生产弹性系数的计算方法为:

$$\sum_{i=1}^2 a_i = Ep(N) + Ep(H_0)$$

当  $\sum a_i = 1$  时, 表明多项因素增加量  $C\%$  时, 产量增加量  $C\%$ ; 当  $\sum a_i > 1$  时, 表明多项因素增加量  $C\%$  时, 产量增加量超过  $C\%$ ; 当  $\sum a_i < 0$  时, 表明多项因素增加量  $C\%$  时, 产量反而相应减小; 当  $0 < \sum a_i < 1$  时, 表明多项因素增加量  $C\%$  时, 产量增加小于  $C\%$ 。对 I-69 杨胶合板材不同年龄林分的多项因素生产弹性计算结果见表 2。从表 2 可看出, 不同年龄林分的  $\sum a_i$  值均大于 1, 表明多项因素增加  $C\%$  时, 产量增加大于  $C\%$ , 并且在 6~7 年生时加强集约化栽培的效果要好于其它年龄阶段的林分。

### 2.4 边际产量分析

边际产量是指连续追加每单位某因素的量, 所引起总产量的增加额。即边际产量  $Mpp =$

$y/x$ 。由  $V = a_0 N^{a_1} H^{a_2}$  得  $\partial V / \partial N = a_1 N^{a_1-1} / N \cdot a_0 H^{a_2} = a_1 V / N$ ;  $\partial V / \partial H = a_2 H^{a_2-1} / H \cdot a_0 N^{a_1} = a_2 V / H$ 。将  $\sum V_i$  代替  $V$ ,  $\sum N_i$  代替  $N$ ,  $\sum H_{oi}$  代替  $H$ , 则

$$\partial V / \partial N = a_1 \sum V_i / \sum N_i \quad (2), \quad \partial V / \partial H = a_2 \sum V_i / \sum H_{oi} \quad (3)$$

根据(2)、(3)式计算不同年龄林分的边际产量  $M_{pp}$ , 结果见表 2。从表 2 可看出, 在不同年龄林分中, 在现有条件下, 当其它条件不变时, 每公顷面积上增加 1 株林木, 单株材积减少 0.000 102 56 ~ 0.001 683 19  $m^3$ , 并且随着林分年龄的增大单株材积的减少量也在增加。而优势高每增加 1 m, 单株材积相应地增加 0.026 75 ~ 0.069 27  $m^3$ 。并随着林分年龄的增加, 单株材积的增加量也有所增加。从密度效应和优势高效应来看, 优势高的边际产量远大于密度的边际产量值, 因此, 要使单株材积增加, 关键是选择立地条件好的林地, 但是密度效应也不可忽视。

## 2.5 密度、立地对林分蓄积及平均单株材积影响的分析

据上述分析, 当造林密度减少时, 林分平均单株材积在增加, 然而当林分胸径分布为正态时, 林分蓄积是平均木单株材积和密度的乘积。那么, 由于密度和平均木单株材积的共同作用对林分的蓄积影响又如何呢? 根据表 1 中不同林龄的 6 个模型, 对林分产量的变化进行分析是必要的。

为了分析方便, 选立地指数 18、20、22 m 和林龄 6、8、10 a 为代表来进行。首先根据梁军 (1996)<sup>[7]</sup> 的研究将立地指数和林龄代入优势高方程  $H_0 = SI(4.642 8 - 4.668 1 \exp(-0.041 33A))$  求出林分优势高, 然后将林分优势高和造林密度代入表 1 中的模型, 求解平均木单株材积; 用  $V_m = N \cdot V$  求得林分蓄积,  $N$ : 林分密度,  $V$ : 平均木单株材积,  $V_m$ : 林分蓄积, 结果见表 3。

表 3 部分林龄下密度、立地效应的林分及单木产量

林龄 A (a)	密度 N (株 · hm <sup>-2</sup> )	立地指数 SI (m)					
		18		20		22	
		$V_m$ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	$V$ (m <sup>3</sup> · 株 <sup>-1</sup> )	$V_m$ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	$V$ (m <sup>3</sup> · 株 <sup>-1</sup> )	$V_m$ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	$V$ (m <sup>3</sup> · 株 <sup>-1</sup> )
6	156(8 m × 8 m)	46.1	0.295 5	59.8	0.383 7	75.8	0.486 1
	204(7 m × 7 m)	56.3	0.276 2	73.2	0.358 7	92.7	0.454 4
	278(6 m × 6 m)	71.0	0.255 5	92.2	0.331 8	116.8	0.420 3
	400(5 m × 5 m)	93.2	0.233 1	121.1	0.302 7	153.4	0.383 5
	625(4 m × 4 m)	130.2	0.208 3	169.1	0.270 6	214.2	0.342 7
8	156(8 m × 8 m)	120.1	0.769 9	145.3	0.931 6	172.6	1.106 9
	204(7 m × 7 m)	138.0	0.676 5	166.9	0.818 5	198.4	0.972 5
	278(6 m × 6 m)	161.9	0.582 7	195.9	0.705 0	232.9	0.837 6
	400(5 m × 5 m)	195.5	0.488 8	236.6	0.591 5	281.1	0.702 8
	625(4 m × 4 m)	246.3	0.394 2	298.1	0.476 9	354.1	0.566 7
10	156(8 m × 8 m)	152.8	0.979 9	189.0	1.211 6	229.0	1.468 1
	204(7 m × 7 m)	173.5	0.850 3	214.5	1.051 4	259.9	1.274 0
	278(6 m × 6 m)	200.7	0.721 9	248.2	0.892 7	300.7	1.081 7
	400(5 m × 5 m)	238.3	0.595 7	294.6	0.736 5	356.9	0.892 5
	625(4 m × 4 m)	294.1	0.470 5	363.6	0.581 8	440.6	0.704 9

从表 3 可看出, 不论在任何林龄、任何立地指数条件下, 林分平均单株材积都随密度的增大而减小; 并且当林龄增大时, 随着密度的增大平均单株材积的绝对减小量在增加。由此得出,

林分年龄越大,密度对平均单株材积的影响也越大的结论。同样在不同林龄和立地指数下,林分的蓄积都随密度的增大而增大;并且当林龄增大时,随着密度的增大林分蓄积的绝对增加量也在增加。根据饱和和生物产量原理得出,在现有的条件下, I-69 杨胶合板材林林龄达 10 a 时还未达生物产量饱和,也即在现有林分密度条件下还有一定的空间潜力用于林木生长。从立地指数来看,无论是不同林龄或是同林龄的不同密度,林分蓄积和单株材积都随着立地指数的增大而增大;并且当密度增大时,随着立地指数的增大平均单株材积增大的绝对量在减小。由此可得出,当密度增加时将会阻碍立地指数对平均单株材积的影响,因此,为了充分发挥地力,应在现有的造林密度状况下适当地减小造林密度。

### 3 结 论

(1) 采用单株材积公式  $V = a_0 N^{a_1} H^{a_2}$  分别不同林龄的林分建立模型,是用于研究密度和立地对林分单株材积影响的一种较好方法。

(2) 据弹性分析和边际产量分析认为,在长江中、下游地区经营的 I-69 杨胶合板用材林密度处于绝对不合理阶段,应减小林分密度,但是 I-69 杨的生长规律及生物学特性决定了即使间伐也不可能引起生长的恢复( $A > 6$  a 时),因此,应注重于造林密度的选择。由于 I-69 杨的速生性和喜光性,在经营中必须严格密度控制,否则对培育胶合板材为营林目的的林分,将产生不可挽回的经济损失。

(3) 长江中、下游地区的 I-69 杨胶合板用材林的造林密度普遍偏大,密度的弹性系数为  $-0.2518 \sim -0.6637$ , 边际产量为  $-0.00010256 \sim -0.00168319 \text{ m}^3$ , 因此,今后在营造胶合板用材林时应适当减小密度,以  $7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$  或  $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$  为好。

(4) 长江中、下游地区 I-69 杨 6~11 年生胶合板用材林,优势高弹性系数为  $1.8063 \sim 2.4810$ , 边际产量为  $0.02675 \sim 0.06927 \text{ m}^3$ , 处于生产的相对不合理阶段。为了培育大径材,立地条件的选择和改良尤为重要。培育胶合板用材林应尽可能选择立地指数大于或等于 20 m 的林地,并在造林后连续两年施肥,采伐前施肥一次,以便改善立地质量。

(5) 在现有林分状况下,当减小造林密度时,平均单株材积将增加,但全林分蓄积仍将减小。从产品结构来看,大径级木的比例将会增加,同时由于减小造林密度而相应地延长了间伐年限,因此整个林分的经济效益将不会有很大的变化。

### 参 考 文 献

- 1 赫文康. 林分生长和收获预估模型综述和分析. 华东森林经理, 1988, 2(3): 43~46.
- 2 刘景芳. 编制林分密度管理图研究报告. 林业科学, 1980, 16(4): 241~251.
- 3 Silvertoun J W. Introduction of plant population ecology. Longman, London and New York, 1982.
- 4 安藤贵. 同齡单層林の密度管理に关す为生态学的研究. 林试研报, 1968, 210: 1~155.
- 5 陈辉, 何宗明, 洪伟. 杉木人工林密度效应模型研究. 福建林学院学报, 1992, 12(3): 227~282.
- 6 贾庆文. 林业技术经济学. 北京: 中国林业出版社, 1990, 156~190.
- 7 梁军, 方升佐, 徐锡增. I-69 杨胶合板材用材林优化栽培模式研究. 南京林业大学学报, 1995, 19(4): 45~50.
- 8 Lortz D A. Production function for short-rotation woody-crop *Populus* spp. plantations. Can. J. For. Res., 1994, 24: 180~184.

## Studies on the Stand Density and Site Effect of I-69 Poplar Plantation for Plywood

Liang Jun Lu Shixing Xu Xizeng

**Abstract** Taking developing plywood as the main objective, the relationship between average individual tree volume i. B. and stand dominant height and between average individual tree volume i. B. and silviculture density on I-69 poplar (*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux ') plantation was studied. Taking selected silviculture density and stand dominant height as independent variable, fitted models of average individual tree volume i. B.  $V = a_0 N^{a_1} H^{a_2}$  for the stand of respective stand age from 6 to 11. With the elasticity of production and marginal production analysis, the silviculture density effect and stand dominant height effect and the amount of the elasticity of production and the marginal production were studied. In addition, based on the effect models of the stand site and silviculture density, the stand volume effected by silviculture density, stand age and site index were also studied. The research indicated that when the I-69 poplar plantation was cultivated for plywood, silviculture density should be lowered down properly. The optimum silviculture density is 156 or 204 trees/ha. And when selecting the land be used for cultivation, the site index of the land should be equal to or more than 20 m in the region of the middle reaches and the lower reaches of the Changjiang River.

**Key words** I-69 poplar, site effect, density effect, marginal production, elasticity of production

---

Liang Jun, Lecturer, Lu Shixing, Xu Xizeng (College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University Nanjing 210037).