

文章编号: 1001-1498(2000) 04-0343-06

# I-69 杨生长过程分析和生长阶段划分

梁 军<sup>1</sup>, 徐锡增<sup>2</sup>, 吕士行<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091;

2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 根据 290 块 I-69 杨标准地调查资料, 采用典型相关分析方法对树冠特性与生长的关系进行了定量分析; 分别不同立地指数、不同造林密度拟合了胸径、树高、材积的 Richards 生长曲线, 并用有序样本聚类法以树高和胸径连年生长量为分析指标对生长阶段进行了划分, 分析了不同状态下各生长期的特性。认为 I-69 杨是一个速生性十分明显的无性系, 造林密度太大时会掩盖立地对生长和产量的效应。培育胶合板用材, 应选择高立地(20、22 m)地段和采用小密度(156、204 株· $\text{hm}^{-2}$ )的栽培技术措施。

**关键词:** I-69 杨; 生长过程; 生长阶段; 树冠特性

**中图分类号:** S725.6

**文献标识码:** A

I-69 杨(*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux') 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<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>。但是 I-69 杨在不同立地、不同造林密度条件下明显地表现出不同的生长进程和生长规律<sup>[3~5]</sup>, 为了实现 I-69 杨的集约经营以及定向培育, 就必须对 I-69 杨在不同立地、不同密度条件下的生长规律和生长进程开展系统的研究。

## 1 研究方法

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。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, 测定胸径、树高、树冠长、冠幅、树冠体积、单株叶面积、树冠疏密度。伐平均标准木 1 株, 进行树干解析。调查 6 年生时的胸径平均年生长量、树高平均年生长量、单株材积年生长量、单株生物量年生长量、林分材积年生长量、林分生物量年生长量。根据株行距推算单位面积林木株数。

生长与树冠特性间的关系分析采用典型相关分析方法<sup>[6]</sup>。具体做法是选立地指数为 20 m 林分作为标准地材料。基于吕士行先生的研究<sup>[7]</sup>, I-69 杨生长的最大值出现在 6 年生时, 这里就以 6<sub>a</sub> 作为生长指标进行分析。树冠特性指标有:  $x_1$ ——树冠长/m,  $x_2$ ——冠幅/m,  $x_3$ ——树

收稿日期: 1998-08-13

基金项目: “八五”国家科技攻关“南方地区杨树纸浆与胶合板材优化栽培模式研究”专题

作者简介: 梁军(1963-), 男, 宁夏中卫人, 副研究员, 博士。

冠体积/ $\text{m}^3$ ,  $x_4$ ——单株叶面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{株}^{-1})$ ,  $x_5$ ——树冠疏密度/ $(\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3})$ 。6年生时的生长指标有: $y_1$ ——平均胸径年生长量/ $(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})$ ,  $y_2$ ——平均树高年生长量/ $(\text{m} \cdot \text{a}^{-1})$ ,  $y_3$ ——单株材积年生长量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$ ,  $y_4$ ——单株生物量年生长量/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$ ,  $y_5$ ——林分材积年生长量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ ,  $y_6$ ——林分生物量年生长量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长与树冠特性间的关系

林分密度与树冠特性密切相关。通过分析生长指标与树冠特性间的相关关系来寻求生长与树冠特性乃至林分密度间的关系,从而为制定合理密度提供机制性依据。生长与叶面积指数和净光合速率有密切关系<sup>[8-9]</sup>,但是由于研究的对象是同一无性系并且分布区的光属性也基本一致,又考虑到光量对净光合速率的影响引入了树冠特性指标树冠疏密度,因此将树冠特性指标考虑为影响生长的主要指标是合适的。

#### (1) 树冠特性与生长的第一对典型变量:

树冠特性:  $U_1 = -0.0074x_{11} + 0.0647x_{22} + 4.6237x_{33} + 3.9453x_{44} + 0.1462x_5$

生长:  $V_1 = 1.6714y_{11} - 0.9435y_{22} + 2.8249y_{33} + 3.7541y_{44} - 1.2144y_{55} + 0.7664y_6$

$U_1$ 与 $V_1$ 的相关系数是0.8762,也就是说树冠第一典型变量 $U_1$ 对生长第一典型变量 $V_1$ 的影响较大。而 $U_1$ 中起主要作用的是 $x_3$ 、 $x_4$ 两个因素。第一生长典型变量 $V_1$ 中起主要作用的是 $y_4$ 和 $y_3$ 。因此,在立地指数为20m条件下,I-69杨6年生时树冠体积和单株叶面积对单株生物量年生长量和单株材积年生长量影响较大。从 $y_1$ 和 $y_2$ 的系数可看出:在立地指数为20m的条件下,I-69杨6年生时树冠体积和单株叶面积对林分平均胸径的影响要大于对林分平均高的影响,且对林分平均胸径的影响是正向,而对林分平均高的影响是负向的。

#### (2) 树冠特性与生长的第二对典型变量:

树冠特性:  $U_2 = 0.1633x_{11} - 0.4161x_{22} + 1.3464x_{33} + 2.6751x_{44} + 6.0354x_5$

生长:  $V_2 = -1.0054y_{11} + 0.7694y_{22} - 3.1074y_{33} - 2.8419y_{44} + 2.4179y_{55} + 2.1345y_6$

$U_2$ 与 $V_2$ 的典型相关系数为0.7143。表明树冠特性第二典型变量 $U_2$ 对生长第二典型变量 $V_2$ 的影响较大。在 $U_2$ 中起主要作用的是 $x_5$ ,在 $V_2$ 中起主要作用的是 $y_3$ 、 $y_4$ ,即在立地指数为20m条件下I-69杨6年生时树冠疏密度对单株生物量年生长量和单株材积年生长量影响较大,并且呈负相关关系。其次是对林分生物量年生长量和材积生长量的影响。

#### (3) 树冠特性与生长的第三对典型变量:

树冠特性:  $U_3 = 0.5477x_{11} + 1.6847x_{22} + 1.9477x_{33} + 4.6751x_{44} + 2.0456x_5$

生长:  $V_3 = 1.4721y_{11} + 1.2357y_{22} + 3.4762y_{33} + 3.5192y_{44} + 1.9436y_{55} + 2.2073y_6$

第三树冠特性典型变量与第三生长典型变量的相关系数是0.6847。表明第三典型变量间的关系较为密切,相互间的影响也较大。在 $U_3$ 中起主要作用的是 $x_4$ ,在 $V_3$ 中起主要作用的是 $y_4$ 和 $y_3$ 。说明在立地指数为20m条件下,I-69杨6年生时单株叶面积对单株生物量年生长量和单株材积年生长量影响较大。

研究表明,在中上等立地条件下,I-69杨6年生树冠疏密度和树冠光合面积对生长指标均有较大的影响,特别是对单株生长指标的影响更大。表明I-69杨对光照的要求较高,当树冠疏密度增大时将影响净光合速率。这个结论与吕士行先生的结论一致<sup>[7]</sup>,因此在培育I-69

杨大径材时,在一定范围内应尽可能增大株行距,以便为生长提供必要的光照条件。

## 2.2 生长过程分析

在树木生命过程的新陈代谢中,存在着同化和异化两种作用。描述植物生长的模型种类很多<sup>[10]</sup>。理查德(Richards)生长曲线是一类用数学演绎法导出的理论生长方程,其标准形式是:

$$y = A(1 - e^{-Kx})^B$$

式中  $A$ : 生长极限值;  $K$ : 生长速率;  $B$ : 形状参数;  $y$ : 产量指标;  $x$ : 时间值;  $e$ : 2.711 8。

Richards 生长曲线可用作树木的直径、树高及一般生物种群数量生长曲线的拟合,通常效果较好。选择 5 个立地指数等级和 5 种不同造林密度的 25 株解析木资料,以解析木林龄为自变量,以相应林龄所对应的胸径、树高、材积为因变量,用 Richards 生长方程进行拟合,其结果见表 1。

表 1 I-69 杨 Richards 生长曲线拟合参数

立地 指数/ m	造林 密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	胸 径				树 高				材 积			
		$A$	$B$	$K$	$r$	$A$	$B$	$K$	$r$	$A$	$B$	$K$	$r$
14	625	10.567 2	0.637 2	0.043 2	0.994 3	11.690 7	0.605 7	0.055 5	0.990 6	0.157 5	2.424 7	0.071 2	0.997 4
	400	13.403 1	0.804 4	0.067 7	0.965 4	16.360 8	0.793 2	0.063 1	0.995 9	0.203 7	2.613 3	0.091 7	0.997 9
	278	18.639 8	0.905 7	0.096 3	0.993 7	21.404 4	0.837 2	0.071 7	0.896 9	0.284 8	2.759 9	0.131 0	0.997 7
	204	24.277 6	0.975 4	0.087 4	0.995 1	23.437 2	0.927 6	0.073 4	0.996 2	0.325 8	3.092 8	0.193 6	0.997 6
	156	26.473 0	1.032 1	0.100 7	0.994 7	25.769 3	1.107 7	0.082 9	0.988 4	0.351 3	3.585 6	0.254 0	0.995 3
16	625	14.653 1	1.005 3	0.105 7	0.992 1	16.039 9	0.782 3	0.083 4	0.998 2	0.274 6	2.351 1	0.092 9	0.998 1
	400	20.725 7	1.106 9	0.108 2	0.990 2	18.765 2	0.947 2	0.089 9	0.995 9	0.350 1	3.098 5	0.150 6	0.997 3
	278	26.693 7	1.187 2	0.144 7	0.974 0	21.463 1	0.964 4	0.093 0	0.990 6	0.499 5	3.488 7	0.209 9	0.998 3
	204	38.050 4	1.210 7	0.148 1	0.934 1	25.756 8	0.996 6	0.094 2	0.996 9	0.542 6	4.341 2	0.291 3	0.996 7
	156	39.078 2	1.211 6	0.149 3	0.982 9	28.057 9	1.145 2	0.107 7	0.996 2	0.645 3	4.870 5	0.353 0	0.997 7
18	625	20.634 1	1.175 6	0.105 4	0.993 7	25.693 1	1.103 1	0.111 1	0.994 7	0.431 8	2.162 4	0.104 9	0.993 7
	400	28.536 9	1.193 6	0.119 2	0.990 5	26.507 3	1.113 6	0.120 7	0.996 9	0.644 5	2.535 9	0.117 9	0.991 4
	278	35.540 7	1.213 7	0.140 4	0.996 7	29.768 3	1.136 5	0.137 7	0.994 8	0.858 7	3.161 1	0.200 6	0.990 1
	204	43.327 4	1.353 7	0.169 8	0.964 1	34.095 4	1.142 8	0.148 7	0.998 9	1.189 1	4.268 9	0.304 8	0.995 2
	156	45.767 1	1.405 3	0.193 8	0.988 7	36.095 4	1.152 3	0.160 7	0.998 0	1.454 4	5.477 8	0.315 3	0.995 9
20	625	23.537 6	1.307 5	0.146 2	0.989 2	28.057 1	1.205 7	0.114 2	0.996 3	0.537 6	4.932 7	0.184 6	0.994 4
	400	25.705 3	1.762 6	0.151 0	0.993 1	29.765 4	1.305 6	0.154 7	0.995 7	0.749 8	5.311 5	0.205 9	0.991 2
	278	39.874 1	1.905 2	0.196 7	0.996 6	36.987 5	1.462 7	0.187 5	0.991 9	1.035 1	6.520 4	0.326 1	0.986 4
	204	47.607 7	2.308 4	0.207 3	0.995 1	39.113 2	1.486 5	0.199 7	0.998 3	1.410 9	6.718 6	0.365 2	0.984 3
	156	49.054 6	2.473 6	0.218 5	0.995 6	40.057 2	1.488 2	0.197 2	0.996 2	1.854 1	7.465 8	0.428 9	0.975 1
22	625	24.605 1	1.325 7	0.136 6	0.995 5	28.407 6	1.265 0	0.147 6	0.995 6	0.710 4	3.508 1	0.273 1	0.998 3
	400	29.327 8	1.963 9	0.172 2	0.990 7	31.056 6	1.294 7	0.156 6	0.995 4	0.982 3	4.557 7	0.298 4	0.993 9
	278	38.625 3	1.977 4	0.194 3	0.994 7	34.413 8	1.465 9	0.158 2	0.996 3	1.333 3	6.374 2	0.342 5	0.997 8
	204	49.428 6	2.204 4	0.205 6	0.995 9	39.613 7	1.488 0	0.171 6	0.998 8	1.838 6	7.634 1	0.374 6	0.991 7
	156	51.615 4	2.315 7	0.206 9	0.996 9	41.628 9	1.475 1	0.164 7	0.992 3	2.331 5	8.500 7	0.497 3	0.991 8

从表 1 可看出, I-69 杨 Richards 生长曲线的拟合参数随着立地指数和林分密度的不同而表现出明显的变化规律。在立地指数相同的条件下, 胸径和树高曲线的  $A$ 、 $B$ 、 $K$  参数都随着林分密度的增大而减小。表明林分密度越大, 胸径、树高的极限值越小; 林分密度越大在整个生长周期中生长速率越小; 并且通过  $K$  值的变化可看出, 随着林分密度的增大, 阻滞时间出现得越

早。当林分密度相同时,随着林分立地指数的增大, $A$ 、 $B$ 、 $K$  值也表现出明显的增大。表明立地指数越大,林分胸径、树高生长的最大极限越大,生长速率和前期生长速率也越快。

对单株材积而言, $A$  值随着立地指数的增大而增大。当密度越大时, $A$  值随立地指数增大而增大的幅度在减小。这就表明,大密度造林时单株材积生长极限受立地影响的程度相对较小。这是因为大密度掩盖了立地对单株材积的影响之故。在立地指数相同时单株材积生长极限  $A$  值随造林密度的增大而减小。并且立地指数越大, $A$  值随密度变化的幅度也越大。这是由于当立地指数增大时,个体生长潜力得以充分发挥,相对而言密度则是影响生长的主要因子,反之则除受密度的影响之外还受立地质量的影响,也就相对削弱了密度对单株材积的作用。

$B$  值则随立地指数的增大和密度的减小而增大,立地指数越高, $B$  值随密度变动的幅度越大,表明立地质量越好单株材积生长速率受密度的影响也越大。还可以看出,密度越大时,单株材积生长速率受立地影响相对减小。表明密度较大时立地质量对单株材积生长的影响将受到密度的制约,并会掩盖立地对生长和产量的效应。

### 2.3 生长阶段划分

生长进程规律是指导栽培技术措施的依据。特别是 I-69 杨在不同立地指数、不同密度条件的生长规律更为重要。为此对其生长阶段进行划分是十分必要的。选择 5 种林分密度和 5 个立地指数级的 25 株解析木资料的树高和胸径连年生长量为分析指标,采用有序样本聚类分析方法<sup>[6]</sup> 将其分成 4 个生长阶段。根据聚类结果与实际胸径和树高生长情况相结合进行分析,将 I-69 杨生长过程划分为 4 个不同生长期,即缓慢生长期、速生期、速生期和后生长期(表 2)。

表 2 I-69 杨不同生长阶段的树龄

a

生长阶段	立地指数/ m	林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )				
		625	400	278	204	156
缓慢生长期	14	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
	16	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
	18	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
	20	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
	22	1	1	1	1	1
速生期	14	3	3	3~4	3~4	3~4
	16	3	3~4	3~4	3~5	3~5
	18	3~4	3~4	3~5	3~6	3~6
	20	3~4	3~4	3~5	3~6	3~6
	22	2~3	2~4	2~4	2~5	2~5
速生期	14	4	4~5	5~6	5~6	5~6
	16	4~5	5~6	5~6	6~7	6~8
	18	5	5~6	6~7	7~8	7~9
	20	5	5~6	6~7	7~8	7~9
	22	4~6	5~7	5~8	6~8	6~9
后生长期	14	5~6	6~7	7~8	7~9	7~9
	16	6~7	7~8	7~8	8~9	9~11
	18	6~7	7~8	8~9	9~11	10~12
	20	6~7	7~8	8~9	9~11	10~12
	22	7~8	8~9	9~11	9~12	10~12

从表2可看出, I-69 杨各生长期的长短与林分立地指数和密度有着密切的关系。当立地指数为 22 m 时, 各密度林分的缓慢生长期均为 1 a, 其它为 2 a。即缓慢生长期与密度无关, 而在最高立地指数条件下将减少 1 a。速生期随着林分立地指数的增大而延长; 随着林分密度的增大而缩短; 最长为 8 a, 最短为 2 a。后生长期都为 2~3 a, 其变化规律是随着立地指数的增大而延长, 随着林分密度的增加而缩短。从 4 个生长期来看, 缓慢生长期较短, 速生期相对较长, 后生长期只有 2~3 a 即结束, 这说明 I-69 杨的速生特性十分明显, 因此, 在制定相应的栽培技术措施时应充分考虑其生长期特性, 以便获得最大的技术经济效益。培育胶合板用材, 应选择立地指数(20、22 m)较高的地段和采用小密度(156、204 株·hm<sup>-2</sup>)的栽培技术措施。

### 3 结 论

(1) 在立地指数 20 m 条件下, I-69 杨 6 年生时树冠疏密度和树冠光合面积对生长指标均有较大影响。在林分生长指标和单株生长指标中以对单株生长指标的影响更大。表明 I-69 杨对光量的要求较高, 当树冠疏密度增大时将对净光合速率产生影响。为了给单株生长提供必要的光照条件和实现培育大径材的目标, 在培育 I-69 杨大径材时应尽可能增大株行距, 并进行必要的修枝以调节树体结构。

(2) 用 Richards 生长曲线对 I-69 杨胸径、树高、单株材积拟合分析表明, 林分密度越大, 胸径、树高的生长极限值越小, 整个生长周期中生长速率也越小, 阻滞时间出现得越早。当林分密度相同时, 随着林分立地指数的增大, 林分胸径、树高生长的最大极限值也越大, 生长速率和前期生长速率也越快。不同密度条件的树高生长受林分密度的影响相对较小, 胸径的生长则受到较大的影响。

(3) 单株材积的生长极限  $A$  值随立地指数的增大而增大, 随造林密度的增加而减小。而且当大密度造林时, 由于密度的掩盖作用, 单株材积生长极限受立地影响的程度相对减小。立地质量越好, 单株材积生长速率受密度的影响就越大, 即立地对密度的效应有强化作用。当密度较大时, 单株材积生长速率受立地的影响相对减小。即密度太大会掩盖立地对生长和产量的效应。

(4) 从 I-69 杨在不同的立地指数级和不同造林密度条件下的生长阶段划分分析来看, 缓慢生长期与造林密度无关, 在立地指数为 22 m 条件下为 1 a, 其它立地指数的为 2 a。速生期随林分立地指数的增大而延长, 随着林分密度的增大而缩短, 其变幅为 2~8 a。后生长期随立地和造林密度的变化幅度不大, 为 2~3 a。从 4 个生长期来看, 速生期最长, 缓慢生长期和后生长期相对较短。表明 I-69 杨是一个速生性十分明显的无性系。培育胶合板用材, 应选择高立地(20、22 m)地段和采用小密度(156、204 株·hm<sup>-2</sup>)的栽培技术措施。

### 参考文献:

- [1] 吕士行, 方升佐, 徐锡增. 杨树定向培育技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [2] 梁军, 徐锡增, 吕士行. I-69 杨胶合板用材林优化栽培模式[J]. 南京林业大学学报, 1995, 19(4): 45~50.
- [3] 洪岩. I-69 杨产量预测表的编制[J]. 南京林业大学学报, 1992, 16(3): 25~30.
- [4] 梁军, 徐锡增, 吕士行. I-69 杨胶合板用材林密度及立地效应研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(4): 348~358.
- [5] 梁军, 徐锡增, 吕士行. I-69 杨胶合板用材林最佳造林密度研究[J]. 南京林业大学学报, 1998, 22(1): 1~4.
- [6] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.

- [7] 吕士行. 黑杨派南方型无性系速生丰产技术论文集[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1990.
- [8] 郝文康, 励龙昌. 林分生长和收获预估模型综述和分析[J]. 华东森林经理, 1988, 2(3): 43 ~ 46.
- [9] 骆其邦. 森林生长量的测定方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1987. 92 ~ 121.
- [10] 郎奎健. IBM-PC 系列程序集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.

## Analysis of Growth Process and Partition of Growth Phase on Poplar Clone I-69

*LIANG Jun*<sup>1</sup>, *XU Xi-zeng*<sup>2</sup>, *LU Shi-xing*<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;

2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** According to the survey data of 290 valuation-areas, the authors quantitatively analyzed the relationship between the crown characteristic and growth with canonical correlation analysis method; fitted Richards growth model of diameter at breast height, height of tree and volume in different planting density and different site index; distinguished growth phase with ordinal sample cluster method by variable annual growth increment of diameter at breast height and height of tree; analyzed characteristic of each growth phase in different planting density and site index. The results showed that poplar clone I-69 is with characteristic of very distinct fast-growth. In the condition of high planting density, the effects of site upon growth and yield are been weaken. For the sake of cultivating plantation for the plywood, the site with SI 20 m or 22 m and planting density 156 or 204 trees · hm<sup>-2</sup> should be adopted.

**Key words:** poplar clone I-69; growth process; growth phase; crown characteristic