

造林密度对白杨杂种无性系初期生长性状的影响

王利宝^{1,2} 张志毅¹ 康向阳¹ 宋连君³ 尚富华¹

(1 北京林业大学林木育种国家工程实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室

2 中南林业科技大学林学院 3 河北威县毛白杨良种繁育基地)

摘要: 在河北威县毛白杨繁育基地, 采用完全随机区组试验研究不同造林密度(2 500、1 667、1 111、833、625、500、417 株/hm²) 对 5 年生毛白杨杂种无性系 S86 生长及产量性状的影响, 探讨造林密度对生长性状的作用规律。结果表明: 造林后 4 年, 造林密度对林分胸径、立木单株材积的影响效用突显出来并达极显著水平, 对树高生长的影响仅在造林当年显著, 对蓄积量的影响在前 5 年内的各年均呈显著水平; 造林密度与胸径、单株材积的生长存在极显著负相关关系, 与蓄积量的生长呈极显著正相关, 与树高生长呈显著负相关。造林密度对生长指标连年生长量的影响与造林密度和生长指标有关, 一般造林密度超过 1 111 株/hm² 时, 连年生长量峰值出现较早, 速生期持续期较短, 低密度林分连年生长量峰值出现较晚; 培育短周期 S86 无性系工业用材林, 在造林后 2~4 年内是林分的快速生长期。

关键词: 白杨; 杂种无性系; 造林密度; 生长性状

中图分类号: S725.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)05-0025-06

WANG Li-bao^{1,2}; ZHANG Zhi-yi¹; KANG Xiang-yang¹; SONG Lian-jun³; SHANG Fu-hua¹. **Effects of planting density on the early growth traits of white poplar hybrid clones.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) **34**(5) 25-30 [Ch, 16 ref.]

1 National Engineering Laboratory for Tree Breeding of Ministry of Education, Key Laboratory for Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, 410004, P. R. China;

3 Improving *Populus tomentosa* Variety Nursery of Weixian County, Hebei 054000, P. R. China.

To analyze the influence of planting density on growth properties of 5-year-old hybrid clones of *Populus tomentosa*, effects of seven planting densities(2 500, 1 667, 1 111, 833, 625, 500 and 417 trees/hm²) on the growth and yield properties were studied by completely random block experiments located in Weixian County, Hebei Province of northern China. The results indicated that, the effects of planting density on the diameter at breast height(DBH) and individual stand volume were significant at 1% level 4 years later after planting, that on height growth was remarkable at 5% level only in the first year of afforesting, and that on stand volume per area was significant every year in first 5 years. Regression analysis showed that planting density significantly correlated with DBH, individual stand volume and tree height negatively, and significantly correlated with stand volume positively. The effect of density on current annual increment was related with density and growth properties. The planting density exceeding 1 111 trees/hm² could cause an early occurrence of maximum current annual increment and a short duration of rapid growth. Conversely, the low density could result in a late appearance of maximum current annual increment. According to the results, rapid growth period of short-rotation industrial

收稿日期: 2011-10-24

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD24B04, 2006BAD01A1502)。

第一作者: 王利宝, 博士生。主要研究方向: 林木遗传育种及定向培育。电话: 0731-85553051 Email: libaowang@126.com 地址: 410004 湖南长沙市韶山南路 498 号中南林业科技大学林学院。

责任作者: 张志毅, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林木遗传改良与生物技术。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

plantation of clone S86 was first 2—4 years after planting.

Key words white poplar; hybrid clone; planting density; growth property

造林密度是森林培育过程中对林木生长有重要作用的因素之一,它既制约林木生长,又影响林木质量^[1]。造林密度是否合理直接影响到人工林生产力的提高和功能的最大发挥^[2]。长期以来,造林密度对林木生长和木材收获量的影响一直是森林培育研究的中心课题之一。有关造林密度的研究,国内外学者针对某些造林树种已开展了造林密度与林木、林分生长之间关系的探讨,研究结果均表明:造林密度对胸径、立木单株材积及林分蓄积生长有着显著影响;对树高生长的影响因品种不同、林龄不同和立地不同结果各异,但研究结果一致认为密度对树高生长的影响不及对胸径生长的影响^[3-6];对木材质量有一定的影响^[7-8];对根系生长随着密度增大立木根系生物总量减小^[9];同时,造林密度还影响着林分冠层结构、分枝特性等性状^[10]。

毛白杨(*Populus tomentosa*)作为我国北方优良的乡土栽培树种,具有生长迅速、材质优良、树形美观、适应性强等特点,已成为华北、西北等地区主要用材、防护和绿化树种^[11]。选育毛白杨新品种与研究配套栽培措施是扩大毛白杨种植面积和提高其生产力的关键所在。我国在毛白杨新品种选育方面取得了可喜的成绩,近年来,一些优良白杨杂种新无性系也相继培育出来,其中毛白杨杂种无性系 S86(母本是毛新杨(*Populus tomentosa* × *P. bolleana*),父本是银腺杨(*P. alba* × *P. glandulosa*))生长较快,是营造毛白杨速生丰产林的优良无性系之一;但因缺乏 S86 无性系相应系统的配套栽培技术研究,制约着该无性系在生产中的推广应用。前人虽然在 S86 无性系耗水、配方施肥方面作了一些相关研究^[12-14],研究结果为科学经营 S86 无性系林提供了一定的依据;但是目前尚缺乏关于 S86 无性系造林密度方面的研究。本文就此问题展开研究,以期揭示造林密度对 S86 无性系林分生长的作用规律,为该区域营造 S86 无性系速生丰产林提供理论依据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

试验地位于河北省邢台市威县林木良种繁育基地,北纬 37°03′46″~37°04′14″,东经 115°16′26″~115°16′34″。地处华北平原南部,自然环境优越,地势平坦,气候四季分明,为暖温带大陆性半干旱季风气候,年均降水量 584 mm,年均温度 13℃,最冷月份(1月)平均气温 -2.3℃,极端最低气温 -19℃,最热月份(7月)平均气温 26.9℃,极端最高气

温 42.5℃,无霜期 198 d,全年日照 2 574.8 h。试验地地势平坦,为近代河流冲积母质,土壤属砂质潮土,土壤肥沃,土层厚度,浅层地下水平均埋深 15.12 m,深层地下水平均埋深 52.81 m,田间持水量平均为 26%,土壤 pH 8.6,有机质质量含量 8.6 g/kg,全氮 0.584 g/kg,全磷 0.35 g/kg,全钾 15.4 g/kg。

1.2 试验材料

采用毛白杨杂种无性系 S86 的 5 年生试验林。该试验林于 2007 年春季采用威县良种繁育基地繁育的苗木营造,试验林栽植苗为 2 年生嫁接苗,平均苗高 1.5 m,平均地径 2.7 cm。

1.3 试验方法

在经营水平相同的前提下,采用完全随机区组试验设计,共设置 2 500(N1)、1 667(N2)、1 111(N3)、833(N4)、625(N5)、500(N6)、417 株/hm²(N7) 7 个造林密度处理,3 次重复,共 21 个小区,每小区面积为 0.066 7 hm²,小区外设保护行。每试验小区内选 30 株作为被测固定样木。

1.4 测试指标

从 2007 年造林当年起,于每年林木停止生长后测定其胸径、树高生长量,连续测定 5 年。胸径采用胸径围尺测量,精确到 0.01 cm;树高采用 12 m 长的钓鱼竿测量,精确到 0.1 m。立木单株材积按照公式^[15] $V = 0.193 283 21D^2H + 0.007 734 354DH + 0.821 419 15D^2$ 计算。单位面积蓄积量按照公式 $M = V \times$ 单位面积株数计算。5 年生林分平均胸径、平均树高、平均立木单株材积、平均单位面积蓄积量均为 3 重复平均值。连年生长量即林木在某一年间的生长量。胸径连年生长量 = $D_{n+1} - D_n$,树高连年生长量 = $H_{n+1} - H_n$,单株材积连年生长量 = $V_{n+1} - V_n$,单位面积蓄积量连年生长量 = $M_{n+1} - M_n$,其中, D 为胸径, H 为树高, V 为单株材积, M 为单位面积蓄积量, n 为年份(2007—2011 年),2007 年为基准年龄。

1.5 数据处理

采用 SPSS 16.0 统计软件的 Compare Means 模块、GLM 模块和 Regression 模块进行方差分析和回归分析,多重比较采用最小显著差数法(LSD 法),利用 Excel 软件辅助统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 造林密度对胸径生长的影响

造林密度不仅直接影响着林木直径生长,而且

还对林木收获及成材规格有着间接的重要作用; 因此研究密度对直径生长的作用规律无疑是短周期工业用材林造林密度研究的首要问题。造林密度对 5 年生毛白杨 S86 无性系胸径生长的影响见表 1。

通过不同造林密度与林分平均胸径进行回归分析, 得到回归方程式:

$$D = -3.193 \ln N + 35.84 \quad (1)$$

式中: D 为林分平均胸径; N 为造林密度; 相关系数 $r = -0.989$ ($r_{0.05} = 0.7545$, $r_{0.01} = 0.8745$, $n = 7$ 。下同)。

表 1 不同造林密度的 5 年生林分平均胸径

Tab. 1 Mean DBH of 5-year-old forests at different planting densities

重复	平均胸径						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
I	10.10 ± 0.85	10.90 ± 0.88	12.23 ± 1.25	15.65 ± 0.75	15.12 ± 0.18	14.80 ± 0.83	17.00 ± 0.37
II	11.85 ± 0.90	12.10 ± 0.32	14.15 ± 0.67	14.70 ± 0.20	15.37 ± 0.07	16.40 ± 0.77	16.75 ± 0.12
III	10.90 ± 0.05	12.33 ± 0.55	14.05 ± 0.57	14.35 ± 0.55	15.40 ± 0.10	15.70 ± 0.07	16.15 ± 0.48
平均值	10.95Ed	11.78CEd	13.48BCc	14.90ABb	15.30Ab	15.63Aab	16.63Aa

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。下同。

由图 1、表 1 可知, 胸径连年生长量与胸径平均生长量的变化趋势基本一致, 造林密度低, 其胸径平均连年生长量大, 最大和最小胸径平均连年生长量相差约 49.4%。据林分生长进程知, 造林密度高于 625 株/hm² 时, 林木间竞争激烈, 胸径连年生长量在造林后 4 年达到最大, 而低于该密度的林分胸径连年生长量均在造林后 3 年达到最大, 并在造林 3 年后开始下降。从图 1 看出, 以 2007 年为基准年龄的胸径总生长量, 而造林后第 2 年胸径连年生长量均低于造林当年的胸径生长量。该结果说明, 在一定密度范围内, 林木胸径连年生长量峰值滞后 1 年出现, 相对延长了胸径生长的速生期, 而超过此密度范围, 胸径连年生长量峰值提前出现, 速生期缩短。

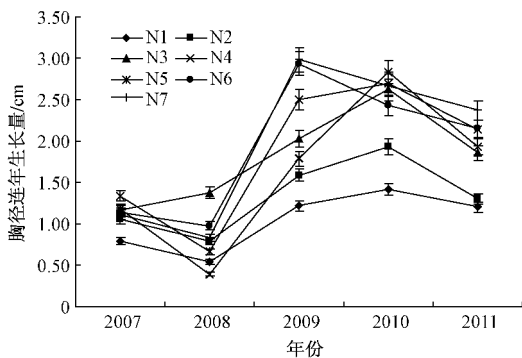


图 1 不同密度胸径连年生长量的生长进程

Fig. 1 Growth trend towards current annual increment of DBH with age at different densities

据不同年份间胸径生长量差异分析知: 不同密度林分胸径生长量在造林后前 3 年各处理间的差异不显著 (2007 年 $F = 1.69$, 2008 年 $F = 0.61$, 2009 年 $F = 2.34$, 均小于 $F_{0.05} = 2.85$); 而在造林后 4 年, 不

式 (1) 说明: 毛白杨 S86 无性系人工林造林密度与林分平均胸径之间呈极显著负相关, 即林分平均胸径随着造林密度的增大而减小。方差分析结果表明, 造林密度对林分平均胸径的影响极显著 ($F = 24.23 > F_{0.01} = 4.46$), 不同造林密度的林分平均胸径多重比较结果表明 (表 1): 密度 N1 与 N3、N4、N5、N6、N7 间, 密度 N2 与 N4、N5、N6、N7 间, 密度 N3 与 N5、N6、N7 间均存在极显著差异; 密度 N2 与 N3、N4 间, 密度 N4 与 N6、N7 间存在显著差异。

同密度林分胸径生长量呈现显著性差异 (2010 年 $F = 5.52$, 2011 年 $F = 24.23$, 均大于 $F_{0.01} = 4.46$), 说明不同造林密度对胸径生长的影响在林分发育的各阶段是有变化的, 并随着林分年龄的增长, 这种差异愈为明显。

2.2 造林密度对树高生长的影响

造林密度对 5 年生 S86 无性系林分平均树高生长的影响见表 2。经回归分析表明, 5 年生林分造林密度与平均树高生长之间呈显著性负相关 ($r = -0.722$)。将 5 年生林分的树高平均生长量进行方差分析, 结果表明, 树高平均生长量在密度间差异不显著 ($F = 1.889 < F_{0.05} = 2.85$); 但是, 造林当年树高平均生长量在密度间差异显著 ($F = 3.22 > F_{0.05} = 2.85$), 原因是由于高密度林分开始郁闭, 低密度林分尚未郁闭引起的。当林分充分郁闭后, 树高生长量在密度间无显著差异 (2008 年 $F = 2.27$, 2009 年 $F = 1.42$, 2010 年 $F = 0.41$, 均小于 $F_{0.05} = 2.85$), 说明造林密度对树高的影响在林分发育的各个阶段也是有变化的。

从树高连年生长量随年龄的变化 (图 2) 来看, 各造林密度间树高连年生长量的差异亦很小; 但不同造林密度的林分树高连年生长量均在造林后 3 年达到最大, 3 年后树高连年生长量迅速降低。其中造林密度大的林分前期生长量较大, 后期生长量较小, 这主要是由于高密度林分早郁闭, 促使森林微环境的形成, 从而促进了林木生长; 但后期由于密度过大, 个体间竞争激烈, 抑制了生长。该结果表明: 造林密度对树高生长进程的影响与胸径不同, 在造林

初期,适当加大造林密度有利于林木的高生长;但随着林木个体的增大,这种促进作用的持续受到破坏,

生长量迅速下降,最终表现为高密度限制了树高生长,以致抵消了前期的促进作用。

表2 不同造林密度的5年生林分平均树高

Tab.2 Mean *H* of 5-year-old forests at different planting densities

重复	平均树高						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
I	8.5 ± 1.0	10.5 ± 1.1	11.5 ± 0.2	11.8 ± 0.8	12.3 ± 0.8	13.0 ± 1.4	13.2 ± 1.5
II	9.5 ± 0.0	12.1 ± 0.7	12.4 ± 0.7	10.3 ± 0.7	11.6 ± 0.1	10.8 ± 0.8	10.3 ± 1.4
III	10.5 ± 1.0	11.7 ± 0.3	11.2 ± 0.5	10.9 ± 0.1	10.7 ± 0.8	11.0 ± 0.4	11.5 ± 0.2
平均值	9.5	11.4	11.7	11.0	11.5	11.6	11.7

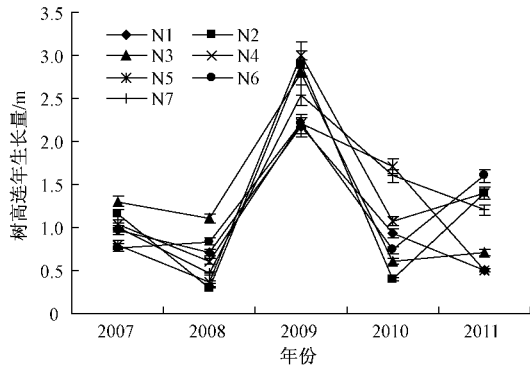


图2 不同密度林分树高连年生长量的生长进程
Fig.2 Growth trend towards current annual increment of stand height with age at different densities

2.3 造林密度对立木单株材积生长的影响

立木单株材积决定于树高、胸径和树干形数。其中,造林密度对胸径生长的影响最大,而胸径又是立木单株材积的决定性因子;所以造林密度对单株材积生长的作用规律与对直径生长的影响一致,林分密度越大,其平均单株材积越小。造林密度对单株材积生长的影响可以用一定的数学公式^[16]来表示,其中最著名的密度竞争效应幂乘式: $V_i = KN^{-\alpha}$, 其中 V 为单株材积, N 为单位面积株数, K 和 α 是与树种特性和竞争状态有关的参数,随植物的生长发育阶段而变化。

本试验中,造林密度对5年生S86无性系人工林平均立木单株材积生长的影响也符合密度竞争效应幂乘式,经回归分析得回归方程式:

$$V_i = 1.95033N^{-0.488} \quad (2)$$

式中: V_i 为林分平均立木单株材积; N 为造林密度。

式(2)表明:造林密度与林分平均立木单株材积之间呈极显著负相关关系($r = -0.985$),即林分密度越大,其平均立木单株材积越小。

从表3可以看出,造林密度高的林分其平均立木单株材积小,最大平均立木单株材积与最小平均立木单株材积之间相差60.0%。方差分析表明:5年生林分立木单株材积在不同造林密度间差异极显著($F = 17.50 > F_{0.01} = 4.82$);4年生林分立木单株材积在不同造林密度间差异显著(2010年 $F = 4.15 > F_{0.05} = 2.85$),1年、2年和3年生林分立木单株材积在不同密度间均不显著(2007年 $F = 2.24$, 2008年 $F = 0.82$, 2009年 $F = 1.71$)。说明4年前林木个体间的竞争较弱,个体间的差异不明显,随着林龄增大,树体间竞争作用逐渐增强,个体间的差异趋于明显。对5年生林分立木单株材积在密度间差异进行多重比较分析,结果表明:立木单株材积在密度N1与N4、N5、N6、N7之间,在密度N2与N6、N7之间均存在极显著差异;在密度N5与N7之间, N3与N2、N5、N6之间存在显著差异(表3)。

表3 不同造林密度的5年生林分平均立木单株材积

Tab.3 Mean individual tree volume of 5-year-old forests at different planting densities

重复	平均立木单株材积						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
I	0.03178 ± 0.00837	0.04272 ± 0.01006	0.05641 ± 0.01205	0.09046 ± 0.01193	0.08770 ± 0.00278	0.08791 ± 0.0006	0.11460 ± 0.01432
II	0.04591 ± 0.00576	0.05759 ± 0.00481	0.07801 ± 0.00955	0.07266 ± 0.00587	0.08597 ± 0.00105	0.09161 ± 0.0031	0.09247 ± 0.00871
III	0.04275 ± 0.00260	0.05803 ± 0.00525	0.07096 ± 0.00250	0.07248 ± 0.00605	0.08108 ± 0.00384	0.08601 ± 0.0025	0.09376 ± 0.00652
平均值	0.04015Aa	0.05278ABab	0.06846ABc	0.07853Bc	0.08492BCd	0.08851Cd	0.10028Ce

由图3可看出:林分立木单株材积平均连年生长量随造林密度增大而减少,且随着林分年龄递增,林分立木单株材积平均连年生长量在密度间的差异愈明显。不同造林密度的林分平均连年生长量在造林后3年急剧上升,其中,造林密度高于1111株/hm²的林分立木单株材积平均连年生长量在造林后

第3年达到最大值;造林密度低于1111株/hm²的林分立木单株材积连年生长量在造林后第4年达到最大值。所以,高密度(N1、N2、N3)的林分从造林后第3年开始,长势已明显不如低密度的林分。说明在林分郁闭之后,造林密度对林分立木单株材积生长的调控作用是非常明显的。

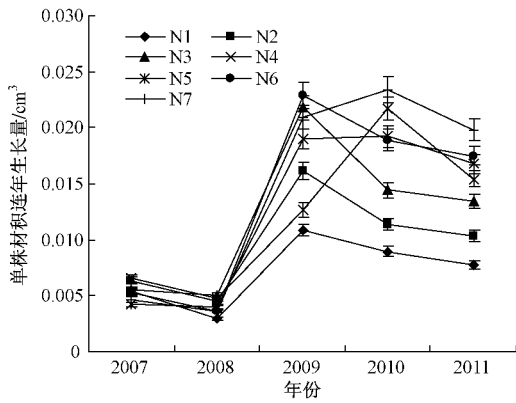


图 3 不同密度单株材积连年生长量的变化情况

Fig. 3 Growth trend towards current annual increment of individual standing volume with age at different densities

表 4 不同造林密度的 5 年生林分平均单位面积蓄积量

Tab. 4 Volume per hectare of 5-year-old forests at different planting densities

$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

重复	平均单位面积蓄积量						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
I	79.446 34 ± 20.917 5	71.219 95 ± 16.764 7	62.672 18 ± 13.383 6	75.353 25 ± 9.935 5	54.812 22 ± 1.739 4	43.955 52 ± 0.300 3	47.787 60 ± 5.972 2
II	114.761 90 ± 14.398 1	96.005 14 ± 8.020 5	86.663 47 ± 10.607 7	60.523 55 ± 4.894 2	53.730 74 ± 0.657 9	45.806 46 ± 1.550 6	38.559 34 ± 3.256 1
III	106.883 30 ± 6.519 5	96.728 71 ± 8.744 1	78.831 60 ± 2.775 9	60.376 57 ± 5.041 2	50.675 45 ± 2.397 4	43.005 50 ± 1.250 3	39.099 42 ± 2.716 0
平均值	100.363 80Aa	87.984 60ABab	76.055 75ABCb	65.417 79BCDc	53.072 80CDcd	44.255 83Dd	41.815 45Dd

式 (3) 反映出 5 年生 S86 无性系人工林造林密度与林分单位面积蓄积量呈极显著的正相关关系 ($r = 0.986$), 即蓄积量随密度的增大而增大。

方差分析结果表明, 造林密度对林分单位面积蓄积量的影响达极显著水平 ($F = 12.86 > F_{0.01} = 4.82$)。进一步进行多重比较分析, 结果表明: 密度 N4、N5、N6、N7 与 N1, 密度 N2 与 N5、N6、N7, 密度 N3 与 N6、N7 之间的林分单位面积蓄积量均存在极显著差异; 密度 N1 与 N3、N2 与 N4 以及 N4 与 N7、N6 之间的林分单位面积蓄积量差异显著, 其余密度之间的林分单位面积蓄积量差异不显著 (表 4)。

对不同林龄的林分单位面积蓄积量进行方差分析, 其结果表明, 不同林龄间造林密度对林分单位面积蓄积量的影响均达到极显著水平 (2007 年 $F = 37.12$, 2008 年 $F = 22.65$, 2009 年 $F = 10.60$, 2010 年 $F = 12.75$, 均大于 $F_{0.01} = 4.82$)。说明对于 S86 无性系短周期工业用材林而言, 在立地条件相同的情况下, 无论是在林分干材生长初期还是在其速生期, 造林密度始终起主要的作用, 林分单位面积蓄积量随密度增大而增加。

从图 4 看出: 林分单位面积蓄积量平均连年生长量随密度的增大而增大。高密度 (N1、N2、N3) 的林分在造林后 3 年, 单位面积蓄积量连年生长量达到最大值; 低密度 (N4、N5、N6、N7) 的林分在造林后 3 年, 林分单位面积蓄积量平均连年生长量仍在持续增加。说明造林密度大的林木间出现竞争营养空

2.4 造林密度对单位面积蓄积量的影响

林分单位面积蓄积量取决于其立木单株材积和林分密度 2 个因子。对于短周期工业用材林而言, 在立地条件相同的情况下, 密度起着主要的作用, 林分单位面积蓄积量随密度的增大而增大。造林密度对林分平均单位面积蓄积量的影响见表 4, 5 年生林分单位面积蓄积量随造林密度增大而增加, 单位面积蓄积量的最大值与最小值相差 58.3%。通过回归分析, 构建了造林密度与林分单位面积蓄积量的关系:

$$M = 1.950 33N^{0.512} \quad (3)$$

式中: M 为林分单位面积蓄积量; N 为造林密度。

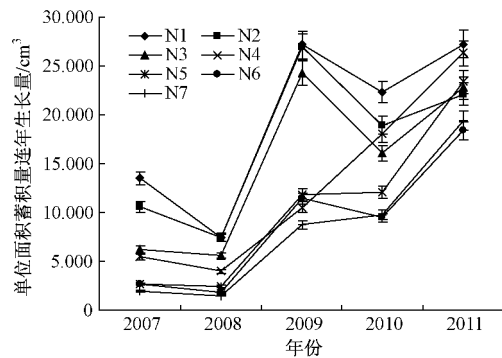


图 4 不同密度蓄积量连年生长量的变化进程

Fig. 4 Growth trend towards current annual increment of stand volume with age at different densities

间较早且较为剧烈, 造林密度小的单株营养空间较大, 林分蓄积呈持续累加状态。在不同年份间, 林分单位面积蓄积量连年生长量的递增幅度不同, 2009 年林分单位面积蓄积量连年生长量增加最大, 因为在该时期林分胸径、单株材积连年生长量增幅最大。

3 结论与讨论

林分密度是制约林木生长发育的关键因素, 决定着人工林的稳定性、林地生产力的高低以及收获期的长短。进行人工林营造时, 确定造林密度是很重要的一个环节。合理的密度能够使造林地适时郁闭, 增强林分的稳定性和抗逆性, 改善树干质量、促进林木、林分生长, 提高了林分的经济、生态效益; 因此, 探索合理的造林密度就成为森林培育工作的核

心问题之一^[2]。合理的造林密度不仅与树种的生物学特性相关,还与造林目标、出材规格等相关。对较喜光的毛白杨来说,确定造林密度是人工林集约栽培的首要任务。

造林密度对树高的影响弱于对胸径、单株材积和单位面积蓄积量的影响。造林密度对林分生长发育的效应随着年龄的增大愈加明显。本文通过研究造林密度对河北邢台地区速生白杨杂种无性系 S86 人工林树高、胸径、单位面积蓄积量等生长因子的影响,结果表明,造林密度对胸径生长的效应最大,主要是由于胸径生长强烈受制于由密度决定的单株营养空间的大小。5年生 S86 无性系林分胸径、立木单株材积与造林密度呈极显著负相关关系,即造林密度越大,林分平均胸径、立木单株材积越小;高密度林分与低密度林分平均胸径相差 5.68 cm,单株材积相差 0.060 13 m³;不同造林密度间,林分平均胸径、平均立木单株材积在 4 年生时差异显著,5 年生时差异均达极显著水平;造林密度对胸径连年生长峰值出现的早晚有影响,造林密度高于 625 株/hm² 胸径连年生长量峰值出现在造林后 4 年,造林密度低于 625 株/hm² 其胸径连年生长量峰值出现在造林后 3 年,造林密度高于 1 111 株/hm²,立木单株材积连年生长量峰值出现在造林后 3 年,造林密度低于 1 111 株/hm² 其峰值出现在造林后 4 年。造林密度对树高生长的影响因树种和树龄而不同。对于 5 年生 S86 无性系林分来说,虽然造林密度对树高生长的影响弱于对胸径生长的影响,但树高生长与造林密度仍存在着显著的负相关关系;不同造林密度的林分树高连年生长量的峰值均出现在造林后 3 年。5 年生林分单位面积蓄积量随造林密度增大而增大,最大单位面积蓄积量与最小单位面积蓄积量相差 58.548 4 m³;造林密度与林分单位面积蓄积量呈显著正相关关系,密度越大单位面积蓄积量越大;不同密度的林分单位面积蓄积量在不林龄间均呈极显著水平;单位面积蓄积连年生长量随造林密度增大而增加,高密度林分(密度大于 1 111 株/hm²)造林后 3 年,林分单位面积蓄积量连年生长量达最大,低于该密度的 5 年生林分单位面积蓄积量尚未达最大值。

综上所述,在河北邢台地区培育 S86 杨林以生产小径材为定向目标,5 年左右的经营周期,宜采用

超过 1 111 株/hm² 的栽培密度,高于此密度的林分在造林后 2~3 年生长达到高峰,5 年生林分蓄积量超过 76 m³/hm²。若以培育中大径级材为目标,密度低于 625 株/hm² 时,5 年生林分平均胸径超过 15 cm,5 年后采取适度间伐,既可获得较高的林地收益,又能达到定向培育目标。

参 考 文 献

- [1] 王文全. 欧美杨幼林密度作用特性研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(1): 13-16.
- [2] 沈国防. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 64-76.
- [3] 田新辉, 孙荣喜, 李军, 等. 107 杨人工林密度对林木生长的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 184-188.
- [4] 张平冬, 康向阳, 赵光荣, 等. 三倍体毛白杨超短轮伐纸浆林生长量与密度关系研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 121-124.
- [5] 杨文斌, 王晶莹, 王晓江, 等. 科尔沁沙地杨树固沙林密度、配置与林分生长过程初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 33-38.
- [6] 谌红辉, 丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 92-98.
- [7] 张华林, 李天会, 吴志华, 等. 不同林分密度对桉树幼林木材材性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(6): 85-91.
- [8] 黄宝灵, 吕成群, 蒙钰钗, 等. 不同造林密度对尾叶桉生长、产量及材性影响的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(1): 81-90.
- [9] 张艳杰, 温佐吾. 不同造林密度马尾松人工林的根系生物量[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 75-80.
- [10] MEHARI A, HABTE B. Influence of initial spacing on growth and branching characteristics of *Cordia africana* trees established on Eritrean highland[J]. *New Forests*, 2006, 31(2): 185-193.
- [11] 董雯怡, 赵燕, 张志毅, 等. 水肥耦合效应对毛白杨苗木生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2194-2200.
- [12] 任忠秀, 聂立水, 张强, 等. 水氮耦合下毛白杨无性系材积生长规律及品种选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(8): 187-193.
- [13] 赵燕, 董雯怡, 张志毅, 等. 施肥对毛白杨杂种无性系幼苗生长和光合的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(4): 70-77.
- [14] 方晓娟, 李吉跃, 聂立水, 等. 毛白杨杂种无性系生长及耗水特性研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 12-17.
- [15] 方升佐, 徐锡增, 吕士行. 杨树定向培育[M]. 安徽: 安徽科学技术出版社, 2004.
- [16] 孙时轩. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.

(责任编辑 李 斐)