

华北沙地小黑杨人工林生物量及其分配规律^{*}

江泽慧¹ 范少辉^{2,3} 冯慧想² 张 群² 刘广路³ 宗亦尘²

(1. 中国林业科学研究院木材工业研究所 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091;
3. 国际竹藤网络中心 国家林业局竹藤科学与技术重点实验室 北京 100102)

摘 要: 应用相对生长法对不同密度华北沙地小黑杨人工林生物量及其分配规律进行研究。结果表明,用模型 $W = aD^b$ 估测的 27 年生 1 000、500 和 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分生物量分别为 85.23、102.60 和 86.74 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 29 年生小黑杨林分生物量分别为 88.64、104.90 和 90.94 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。林分生物量与林分的密度和年龄密切相关,呈现出随着密度增加而先增加后减少、随着林龄增加而增加的规律。密度对小黑杨器官间生物量分配有重要影响。密度不同,器官生物量所占比例不同,其中,叶和皮生物量所占比例均随着密度增加而增加,干、枝和根生物量所占比例随密度增加没有表现出明显规律性。在 3 种密度中,干生物量所占比例最大,叶生物量所占比例最小。3 种密度小黑杨林分生物量的径阶分配呈正态分布,在 1 000 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中 72.37% 的生物量集中在 18~22 cm 的径阶范围内; 500 株 hm^{-2} 小黑杨林分中生物量主要集中在 20~26 cm 的径阶范围内,占总生物量的 90.02%; 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中,生物量主要集中在 26~30 cm 的径阶范围内,占总生物量的 68.27%。

关键词: 生物量; 分配规律; 密度; 林龄; 小黑杨; 华北沙地

中图分类号: S758 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2007)11-0015-06

Biomass and Distribution Patterns of *Populus xiaohei* Plantation in Sandy Land of North China

Jiang Zehui¹ Fan Shaohui^{2,3} Feng Huixiang² Zhang Qun² Liu Guanglu³ Zong Yichen²

(1. Research Institute of Wood Industry, CAF Beijing 100091; 2. Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091;
3. International Centre of Bamboo and Rattan Key Laboratory of Bamboo and Rattan, State Forestry Administration Beijing 100102)

Abstract: The biomass and distribution of *Populus xiaohei* plantation with different stand densities and ages were studied by the methods of sampling permanent plot and allometric dimension analysis in sand land of North China. The biomass of plantation with densities of 1 000, 500 and 250 tree hm^{-2} was measured by the model of $W = aD^b$. The biomass of 27 years old *P. xiaohei* plantations was 85.23, 102.60 and 86.74 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively; While the biomass of 29 years old *P. xiaohei* plantations was 88.64, 104.90 and 90.94 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. Stand biomass had a close correlation with the stand density and the age. It first increased then reduced along with the increase of stand density, but increased along with the increase of stand age. Stand density had the important influence to the biomass distribution of the *P. xiaohei* organs. The stand density different, the proportion of the organ biomass was different. The proportion of leaf and bark biomass increased along with the increase of stand density, but the proportion of stem, branch and root biomass did not display the obvious regularity along with the increase of stand density. In the three densities of plantations, the proportion of stem biomass was the most, the leaf the least. The biomass distribution of three densities of plantations assumed the normal probability distribution. In plantation with density of 1 000 tree hm^{-2} , 72.37 per cent of biomass centralized on diameter classes from 18 to 22 cm. 90.02 per cent of biomass centralized on classes from 20 to 26 cm in plantations with density of 500 tree hm^{-2} ; In plantation with density of 250 tree hm^{-2} , 68.27 per cent of biomass centralized on classes from 26 to 30 cm.

Key words: biomass; distribution patterns; density; stand age; *Populus xiaohei*; sandy land of North China

小黑杨 (*Populus xiaohei*) 具有生长迅速、抗寒性强、抗旱效果好、抗病虫、适应性较广、树干通直圆满、材质洁白等优良特性(赵天锡等,1994), 现已成为营造杨树速生丰产人工林的优良树种之一。目前,国内外对杨树的研究涉及到杨树生理生态特性对气候变化的响应、转基因技术及经营措施、密度、基因型、树冠结构、

收稿日期: 2006-10-08。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230420)资助。

* 范少辉为通讯作者。

CO₂ 浓度、立地条件等因子对杨树生物量的影响等方面 (Jorg *et al.*, 2003; Victoria *et al.*, 2005; Long *et al.*, 2004; Anna *et al.*, 2000; 朱春全等, 1997; 崔浪军等, 2003; Norby *et al.*, 1999), 有关小黑杨林分生物量的研究很少。对小黑杨人工林的生物量进行研究, 可以揭示小黑杨生态系统能量平衡、能量流动和养分循环等功能过程的变化规律, 为生态系统的碳汇和碳素循环研究提供关键数据 (Houghton *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 1999; Baldwin *et al.*, 2001; Gower *et al.*, 1997; Kurz *et al.*, 1999), 有利于实现利用现代遥感手段预测、监测和经营森林, 为木材性质评价提供基础数据。

1 试验地概况

试验地设在山西省朔州市杨树丰产林实验局薛家庄国营林场 (112°06' E, 39°02' N)。半干旱草原气候, 冬季漫长而寒冷干燥, 夏季短暂而温热多雨, 春秋凉爽。气温日差和年差均大, 大风多, 日照充足。年均温 7.5 左右, 无霜期 134 d, 降水集中在 6—8 月, 年降水量 360~460 mm。主要气象灾害是干旱。平均海拔 1 060~1 400 m, 主要地貌为冲积平原, 成土母质以马兰黄土和冲积物为主, 其次为风积物, 还有少量的玄武岩。土壤类型为草甸土, 多呈碱性, 其 pH 值为 8~9。

调查对象为小黑杨人工林, 1977 年栽植, 造林面积 21.6 hm², 全面机耕, 采用“三大一深”栽植方法, 造林用苗均为二根、二杆一级苗, 植穴 1 m × 1 m × 1 m, 常规经营。

2 研究方法

2.1 样地选择与调查

2004 年 6 月, 根据各种密度的生长状况, 在试验区内选取了 3 种密度 (1 000、500 和 250 株 · hm⁻²) 进行标准地设置, 标准地大小为 25 m × 25 m, 做 3 个重复, 共设 9 块标准地。每木检尺, 测树高、枝下高和冠幅, 并进行林下植被、土壤剖面及生物量调查。在每木检尺的基础上, 以 2 cm 为 1 个径阶选取 14~28 cm 共 8 个径阶的标准木, 选取株数分别为 1、2、3、2、3、3、3、1, 共 18 株做生物量调查。2006 年 7 月对以上标准地林木进行了复查。

2.2 林木各器官生物量的测定

伐倒标准木, 分别称量树干、树皮、树枝和树叶的鲜质量, 然后各取一部分样品带回实验室, 105℃ 烘干至恒重, 计算出各器官的含水率, 推算出标准木地上部分各器官的干质量; 将其根系全部挖出, 称其鲜质量, 取一部分样品带回实验室, 105℃ 烘干至恒重, 推算出解析木地下部分的生物量。

2.3 生物量模型的建立

本研究利用标准木胸径和各器官生物量的数据, 建立小黑杨各器官生物量 (W) 与胸径 (D) 的指数回归模型 $W = aD^b$ 来估计林分的生物量。由于按林木各分量 (干、枝、皮、叶、根) 分别建立模型, 模型确定后根据各分量实际观测数据分别拟合各自方程中的参数, 即各分量之间干质量的估计都是独立进行的。因而造成各分量模型间不相容, 即树干、树皮、树枝、树叶、树根等部位的干质量之和不等于总量。应用线性联立方程组的方法可以很好地解决模型的相容性问题 (张会儒等, 1999; 唐守正等, 2000), 本研究采用线性联立方程组 1:1 级比例平差法来解决模型的相容性问题 (唐守正等, 2000)。

2.4 林分生物量的测定

将标准地各株林木的胸径值代入生物量指数回归模型中, 计算出林分生物量。

3 结果与分析

3.1 生物量模型及其相关系数

由表 1 可知, 除 250 株 · hm⁻² 的小黑杨叶的生物量模型相关系数较小外 (0.641 1), 其余的相关系数均很高, 经 F 检验, 模型均达到极显著水平, 表明模型具有良好的相关性, 均可用于计算小黑杨人工林的生物量。

3.2 不同密度、年龄的小黑杨生物量及其在各器官间的分配

通过对 27 年生和 29 年生小黑杨人工林生物量的研究可知, 2 年间生物量增长幅度很小 (表 2), 按密度高低分别增长了 3.32、2.30 和 4.20 t · hm⁻², 反映了 27 年生小黑杨人工林已经进入成熟期, 生长速度缓慢。密度对器官间生物量分配有重要影响, 在密度为 1 000 和 250 株 · hm⁻² 的林分中, 器官间的生物量排列顺序是

干 > 根 > 枝 > 皮 > 叶; 在 500 株 hm^{-2} 的林分中, 器官的生物量排列顺序是干 > 枝 > 根 > 皮 > 叶, 27 年生时分别为 57.79、21.44、12.72、7.92 和 2.73 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 29 年生时分别为 58.98、22.14、12.97、8.04 和 2.77 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。器官生物量所占比例在同一密度不同林龄的林分中差异很小, 但在不同密度的林分中差异较大。干生物量所占比例在 3 种密度林分中的排列顺序是 1 000 > 250 > 500 株 hm^{-2} 的林分, 27 年生时分别为 63.34%、59.95% 和 56.32%, 29 年生时分别为 63.28%、60.47% 和 56.22%; 枝生物量所占比例的排列顺序是 500 > 250 > 1 000 株 hm^{-2} 的林分, 27 年生时分别为 20.90%、14.92% 和 8.94%, 29 年生时分别为 21.11%、14.81% 和 9.00%; 叶和皮生物量所占比例的排列顺序是 1 000 > 500 > 250 株 hm^{-2} 的林分, 27 年生时叶生物量所占比例分别为 3.63%、2.66% 和 2.11%, 皮生物量所占比例分别为 9.72%、7.72% 和 7.22%, 29 年生时叶生物量所占比例分别为 3.64%、2.64% 和 2.03%, 皮生物量所占比例分别为 9.74%、7.66% 和 7.18%; 根生物量所占比例的排列顺序是 250 > 1 000 > 500 株 hm^{-2} 的林分, 27 年生时分别为 15.80%、14.36% 和 12.40%, 29 年生时分别为 15.51%、14.34% 和 12.37%。在 1 000 株 hm^{-2} 小黑杨林分中, 干生物量比例最大 (27 年生时为 63.34%, 29 年生时为 63.28%), 叶生物量所占比例最小 (27 年生时为 3.63%, 29 年生时为 3.64%), 说明在大密度林分中, 树木自然整枝良好, 干形好, 干生物量所占比例大。在 500 和 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中, 有较大的枝生物量比例, 却有较小的叶生物量比例, 反映了该密度小黑杨林分自然整枝不良, 叶的生长效率较低, 应人工去掉下部叶较少的枝, 既可以节省树木营养, 又不会对叶的生长造成太大的影响, 同时可以减少木材节疤, 提高木材质量。

表 1 生物量估算的回归方程

Tab. 1 Regression equations in biomass estimation

密度 Density/ (tree hm^{-2})	组分 Component	模型 Model	相关系数 Coefficient of correlation
1 000	树干 Trunk	$W = 0.088 D^{2.173}$	0.812 4 **
	树枝 Branch	$W = 0.001 D^{3.013}$	0.811 2 **
	树叶 Leaf	$W = 0.002 D^{2.482}$	0.858 5 **
	树皮 Bark	$W = 0.004 D^{2.579}$	0.897 2 **
	树根 Root	$W = 0.027 D^{2.072}$	0.982 3 **
	全树 Whole tree	$W = 0.105 D^{2.274}$	0.883 7 **
500	树干 Trunk	$W = 0.106 D^{2.251}$	0.993 0 **
	树枝 Branch	$W = 0.001 D^{3.415}$	0.941 8 **
	树叶 Leaf	$W = 0.057 D^{1.478}$	0.832 5 **
	树皮 Bark	$W = 0.096 D^{1.651}$	0.947 1 **
	树根 Root	$W = 0.029 D^{2.182}$	0.907 2 **
	全树 Whole tree	$W = 0.149 D^{2.295}$	0.980 8 **
250	树干 Trunk	$W = 0.01 D^{2.931}$	0.987 9 **
	树枝 Branch	$W = 0.04 D^{2.102}$	0.949 2 **
	树叶 Leaf	$W = 2.501 D^{0.281}$	0.641 1 **
	树皮 Bark	$W = 0.016 D^{2.159}$	0.998 9 **
	树根 Root	$W = 0.293 D^{1.524}$	0.986 4 **
	全树 Whole tree	$W = 0.01 D^{3.082}$	0.996 5 **

** : $P < 0.01$

表 2 不同密度、年龄的小黑杨生物量分配

Tab. 2 Biomass distribution of *P. xiaohei* plantation with different densities and stand ages

密度 Density/ (tree hm^{-2})	林龄 Age/a	生物量 Biomass/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)					合计 Total
		干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	根 Root	
1 000	27	54.04	7.63	3.10	8.29	12.25	85.32
	29	56.09	7.97	3.23	8.64	12.71	88.64
500	27	57.79	21.44	2.73	7.92	12.72	102.60
	29	58.98	22.14	2.77	8.04	12.97	104.90
250	27	52.00	12.94	1.84	6.26	13.70	86.74
	29	54.99	13.47	1.85	6.53	14.11	90.94

3.3 小黑杨生物量的径阶分配

3.3.1 27 年生小黑杨生物量的径阶分配 由表 3 可知, 3 种密度 27 年生小黑杨生物量的径阶分布呈现出“中间高两边低”的分布规律。在 1 000 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中, < 18 cm 的生物量占总生物量的 17.26%, 18 ~ 22 cm 的生物量占 72.37%, > 22 cm 的株数占总生物量的 10.37%。500 株 hm^{-2} 的小黑杨林分生物量主要集中在 20 ~ 26 cm 的径阶范围之内, 占总生物量的 90.02%, < 20 cm 树木生物量占 4.39%, > 26 cm 树木生物量占 5.59%。在 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中, 生物量主要集中在径阶为 26 ~ 30 cm 的树木中, 占总生物量的 68.28%, < 26 cm 的树木生物量占 8.89%, > 30 cm 树木生物量占 22.83%。在 3 种密度小黑杨林分的器官生物量分配中, 根生物量所占比例随着径阶增加呈增加的趋势, 其他器官生物量所占比例在不同密度林分中表现出不同的变化趋势。在 1 000 株 hm^{-2} 小黑杨林分中, 随着径阶增加, 干生物量所占比例逐渐降

低,枝、叶、皮生物量比例逐渐升高,说明大密度林分有利于培育小径材;在 500 株 hm^{-2} 的小黑杨林分中,随着径阶增加,干、叶、皮生物量所占比例逐渐下降,而枝生物量所占比例逐渐升高,反映了该密度林分自然整枝不良,并且枝干生长的叶较少,应该及时修去下部枝条,既节省营养,又提高木材质量;在 250 株 hm^{-2} 林分中,随着径阶增加,树干生物量所占比例逐渐增加,枝、叶、皮生物量所占比例逐渐降低,揭示了小密度林分适合培养大径材。

表 3 27 年生小黑杨生物量的径阶分配

Tab.3 Biomass allocation among the various DBH classes for 27 years old *P. xiaohai* plantation

密度 Density/ (tree hm^{-2})	径阶 Diameter class/cm	株数 Tree number	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average height/m	生物量 Biomass/kg					合计 Total
					干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	根 Root	
1 000	14.1 ~ 16.0	5	15.14	17.00	161.76	18.08	8.52	22.19	37.71	248.26
	16.1 ~ 18.0	10	17.32	17.85	432.71	54.02	23.75	62.64	99.53	672.64
	18.1 ~ 20.0	16	19.14	19.22	861.26	117.08	48.77	129.90	196.08	1 353.10
	20.1 ~ 22.0	25	21.00	19.81	1 578.52	231.71	91.94	247.10	356.07	2 505.35
	22.1 ~ 24.0	2	22.95	19.50	159.48	25.21	9.55	25.88	35.66	255.77
	24.1 ~ 26.0	2	24.50	20.25	183.76	30.68	11.22	30.61	40.81	297.08
500	18.1 ~ 20.0	2	19.15	17.25	163.13	47.84	8.95	25.13	36.40	281.45
	20.1 ~ 22.0	9	21.17	17.89	920.93	304.22	46.73	133.48	204.08	1 609.43
	22.1 ~ 24.0	8	23.14	18.44	999.84	366.07	47.37	137.41	220.21	1 770.92
	24.1 ~ 26.0	9	24.96	18.17	1 332.78	532.25	59.59	175.11	292.03	2 391.75
	26.1 ~ 28.0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	28.1 ~ 30.0	1	28.20	16.00	194.90	89.66	7.93	23.80	42.35	358.65
250	24.1 ~ 26.0	2	25.85	19.60	276.03	74.49	12.48	35.86	83.27	482.13
	26.1 ~ 28.0	9	27.09	17.93	1 426.27	370.01	56.88	178.63	402.48	2 434.27
	28.1 ~ 30.0	4	28.88	18.05	764.69	188.10	25.74	91.14	197.17	1 266.84
	30.1 ~ 32.0	2	30.90	19.00	466.57	108.47	13.12	52.76	109.32	750.25
	32.1 ~ 34.0	1	34.30	20.50	316.19	67.49	6.75	33.02	64.07	487.53

3.3.2 29 年生小黑杨生物量的径阶分配 表 4 列出了 3 种密度 29 年生小黑杨生物量的径阶分布,与 27 年生小黑杨人工林生物量的径阶分布规律相似,也呈现出“中间高两边低”的分布规律。器官生物量在绝对值上比 27 年生小黑杨器官生物量有一定的增加,但其在各径阶间的分配比例与 27 年生小黑杨人工林器官生物量的分配比例相似,说明 27 年生小黑杨已经进入成熟期,生长缓慢,生物量在各器官间的分配不再有很大的变化。

3.3.3 不同林龄小黑杨径阶及生物量动态分析 所调查的小黑杨人工林虽为同龄林,但由于小黑杨个体的差异及其所处的环境条件不完全相同,树木的生长产生了差异,这种差异也造成了林木生物量的差异。图 1 揭示了不同密度 27 年生和 29 年生小黑杨人工林株数与生物量在不同径阶间的分配规律,3 种密度 27 年生和 29 年生小黑杨的株数和生物量径阶分布均表现出正态分布特征。可以看出,在 3 种密度的林分中,29 年生小黑杨林分株数的径阶分布曲线与 27 年生小黑杨林分株数的径阶分布曲线几乎重叠,说明 3 种密度的小黑杨林分在 2 年内的胸径变化极小,生长极其缓慢。不同密度 27、29 年生小黑杨林分生物量的径阶分布规律与株数的径阶分布规律类似,也呈现出正态分布格局。不同的是 3 种密度林分生物量分布峰值相差不大,而株数的径阶分布峰值则是 1 000 株 hm^{-2} 林分远远高于 500 和 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分,反映了在株数相等的情况下,径阶越大,林分生物量越高。由图 1 也可以看出,密度为 1 000 和 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分径阶分布曲线较陡峭,500 株 hm^{-2} 小黑杨林分径阶分布曲线较平缓,说明了 500 株 hm^{-2} 的小黑杨林分胸径方差较大,林分径阶分化较明显,而 1 000 和 250 株 hm^{-2} 的小黑杨林分生长较均匀。

4 结论与讨论

27 年生小黑杨人工林已经进入成熟期,生长极其缓慢,到 29 年时胸径、生物量的增长幅度很小。密度为 1 000、500 和 250 株 hm^{-2} 的 27 年生小黑杨林分生物量分别 85.23、102.60 和 86.74 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$;29 年生的分别为 88.64、104.90 和 90.94 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在生产实践中,可根据实际需要选择适宜的栽植密度和采伐时间。

表 4 29 年生小黑杨生物量的径阶分配

Tab.4 Biomass allocation among the various DBH classes for 29 years old *P. xiaohei* plantation

密度 Density/ (tree hm^{-2})	径阶 Diameter class/cm	株数 Tree number	平均胸径 Mean DBH/cm	平均树高 Mean height/m	生物量 Biomass/kg					合计 Total
					干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	根 Root	
1 000	14.1 ~ 16.0	5	15.50	17.00	170.08	19.36	9.02	23.54	39.56	261.55
	16.1 ~ 18.0	10	17.51	17.70	443.10	55.83	24.40	64.43	101.80	689.55
	18.1 ~ 20.0	13	19.12	19.38	697.22	94.60	39.45	105.07	158.77	
	20.1 ~ 22.0	27	20.98	19.82	1 772.10	259.97	103.20	277.32	399.77	
	22.1 ~ 24.0	3	22.97	19.17	239.58	37.89	14.34	38.88	53.56	384.25
	24.1 ~ 26.0	2	25.15	20.25	183.76	30.68	11.22	30.61	40.81	297.08
500	18.1 ~ 20.0	2	19.35	17.25	166.98	49.55	9.09	25.56	37.24	288.42
	20.1 ~ 22.0	7	21.02	17.75	704.60	230.65	35.96	102.59	156.22	
	22.1 ~ 24.0	9	22.94	18.17	1 103.79	400.21	52.64	152.46	243.25	
	24.1 ~ 26.0	9	25.00	18.22	1 338.63	536.07	59.75	175.65	293.27	
	26.1 ~ 28.0	1	26.60	19.50	170.89	73.45	7.28	21.61	37.28	310.51
	28.1 ~ 30.0	1	28.60	16.00	201.18	94.08	8.10	24.36	43.67	371.39
250	24.1 ~ 26.0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	26.1 ~ 28.0	9	27.21	18.03	1 444.72	373.46	56.95	180.34	405.22	
	28.1 ~ 30.0	5	28.78	18.20	945.39	233.38	32.14	113.05	245.19	
	30.1 ~ 32.0	3	30.87	18.90	697.06	162.28	19.67	78.93	163.69	
	32.1 ~ 34.0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	34.1 ~ 36.0	1	35.50	20.50	349.72	72.55	6.82	35.57	67.52	532.17

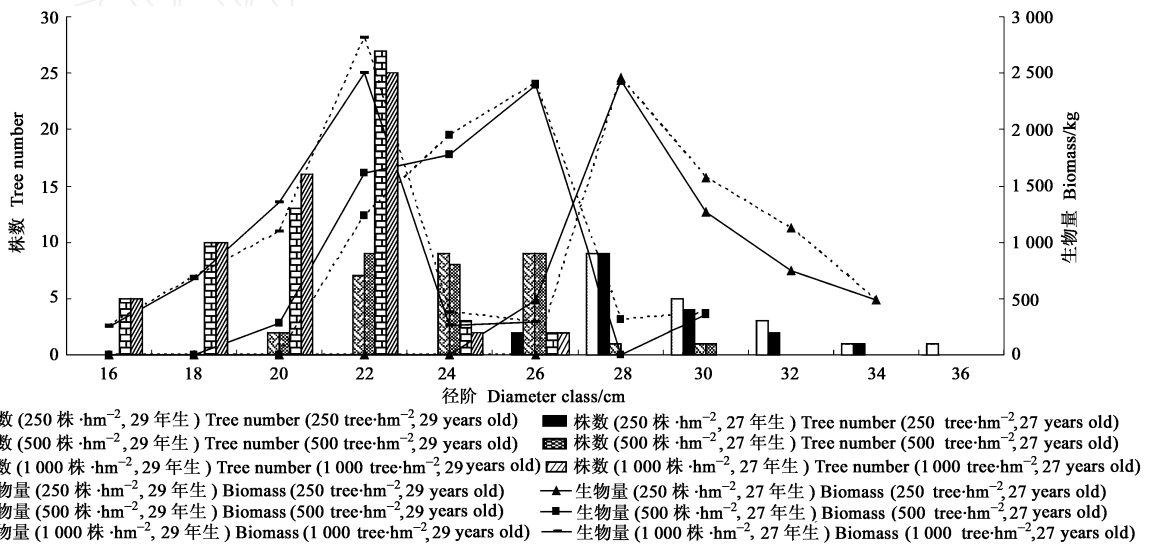


图 1 不同林龄和密度小黑杨株数和生物量的径阶分配

Fig. 1 Diameter class distribution of tree number and biomass in *P. xiaohei* plantation with different ages and densities

林分的生物量与林分密度、年龄和生长环境密切相关。密度 500 株 hm^{-2} 的华北沙地小黑杨林分生物量高于密度 1 000 和 250 株 hm^{-2} 的林分,这与唐万鹏等(2004)的研究成果相符,当林分密度从 208 株 hm^{-2} 增加到 625 株 hm^{-2} 时,南方型杨树生物量从 57.6 t hm^{-2} 增加到最高值 112.87 t hm^{-2} ,密度继续增加到 1 000 株 hm^{-2} 时,生物量逐渐下降到 82.83 t hm^{-2} ;曹志伟等(2006)也发现,当林分密度从 570 株 hm^{-2} 增加到 667 株 hm^{-2} ,10 年生小黑杨生物量从 58.45 t hm^{-2} 降低到 11.99 t hm^{-2} ,这与本文小黑杨生物量随着密度的变化趋势相符,密度大于 500 株 hm^{-2} 时,生物量随着密度的增加而降低。密度对林分的影响主要通过种内、种间竞争来实现。密度不同会影响到林木的生存竞争环境,包括林木对水、肥、光等各种可利用资源的争夺,从而影响到林分生物量和生产力(Kellomaki S,1986)。林分年龄与林分的生物量有密切关系,随着林分年龄的增大,林分生物量也增大。密度相同的小黑杨林分,29 年生生物量大于 27 年生的生物量,丁贵杰等(2002)对

马尾松人工林生物量随林龄的变化进行研究时,也揭示了相似变化规律。生长环境的差异可以造成林分生物量的较大差异,通过资料查询可知,北方地区杨树的生物量变化范围为 $11.99 \sim 116.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (崔浪军等, 2003;曹志伟等, 2006),而南方杨树林的生物量为 $57.6 \sim 201.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (吴泽民等, 2001;唐万鹏等, 2004)。在密度和林龄相同的情况下,南方杨树林生物量高于北方的杨树林生物量,这主要是由气候条件差异造成的,尤其是水分,水分是杨树生长的重要限制因子(王力等, 2004)。在生产实践中,可通过改变栽植密度、适当延长采伐时间和改善生长环境等措施来提高小黑杨林分单位面积的生物量。

3种密度小黑杨林分株树和生物量的径阶分配均表现为正态分布,与杨宗武等(2001)对福建柏(*Fokienia hodginsii*)人工林生物量分布规律的研究结果相同。在 $1000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的小黑杨林分中 72.37% 的生物量集中在径阶为 $18 \sim 22 \text{ cm}$ 的树木; $500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的小黑杨林分生物量主要集中在径阶为 $20 \sim 26 \text{ cm}$ 的树木,占总生物量的 90.02% ; $250 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的小黑杨林分中,生物量主要集中在径阶为 $26 \sim 30 \text{ cm}$ 的树木,占总生物量的 68.27% 。可见,较低的栽植密度有利于生物量在大径阶的分布,有利于培育大径材。

密度对小黑杨器官间生物量分配有重要影响。密度不同,器官生物量所占比例不同,其中,叶和皮生物量所占比例均随着密度增加而增加,干、枝和根生物量所占比例随密度增加没有表现出明显规律性。器官生物量所占比例在同一密度不同林龄的林分中差异很小,但在同一林龄不同密度的林分中差异较大。在3种密度中,干生物量所占比例最大,叶生物量所占比例最小。

参 考 文 献

- 曹志伟,戴玉玮,张玉柱,等. 2006. 嫩江沙地杨树用材林生产力的研究. 防护林科技, (2): 9 - 11
- 崔浪军,梁宗锁,韩蕊莲,等. 2003. 沙棘-杨树混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征研究. 林业科学, 39(6): 1 - 7
- 丁贵杰,王鹏程. 2002. 马尾松人工林生物量及生产力变化规律研究. 不同林龄生物量及生产力. 林业科学研究, 15(1): 54 - 60
- 唐守正,张会如,胥辉. 2000. 相容性生物量模型的建立及其估计方法. 林业科学, 36(增刊): 19 - 27
- 唐万鹏,王月容,郑兰英. 2004. 南方型杨树人工林生物量与生产力研究. 湖北林业科技, (sp1): 43 - 47
- 王力,邵明安,侯庆春,等. 2004. 不同水肥条件对杨树生物量的影响. 西北农林科技大学学报, 32(3): 53 - 58
- 吴泽民,陈美工. 2001. 安徽长江滩地杨树人工林生物量和养分积累. 应用生态学报, 12(6): 806 - 810
- 杨宗武,谭芳林,肖祥希,等. 2001. 福建柏人工林生物量的研究. 林业科学, 36(专刊1): 120 - 124
- 赵天锡,陈章水. 1994. 中国杨树集约栽培. 北京:中国科学技术出版社
- 张会儒,赵有贤,王学力,等. 1999. 应用线性联立方程组方法建立相容性生物量模型. 林业资源管理, 6: 63 - 67
- 朱春全,刘晓东,张启,等. 1997. 集约与粗放经营杨树人工林生物量的研究. 东北林业大学学报, 25(5): 53 - 56
- Anna A S, Diane L M, Steven A. 2000. Competition between native *Populus deltoids* and invasive *Tamarix ramosissima* and the implications for reestablishing flooding disturbance. Conservation Biology, 14(6): 1744 - 1754
- Baldwin J R, Burkhart H E, Westfall J M, et al. 2001. Linking growth and yield and process models to estimate impact of environmental changes on growth of loblolly pine. Forest Science, 47(1): 77 - 82
- Gower S T, Vogel J G, Norman J M, et al. 1997. Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine, and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. Journal of Geophysical Research, 102 (D24): 29 - 41
- Houghtou J T, Ding Y, Griggs D J, et al. 2001. Climate change 2001 in the Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 994
- Jorg K, Ilka H, Carsten M, et al. 2003. Elevated pCO₂ affects N-metabolism of young poplar plants (*Populus tremula* × *P. alba*) differently at deficient and sufficient N-supply. New Phytologist, 157: 68 - 81
- Kellomaki S. 1986. A model for the relationship between branch number and biomass in *Pinus sylvestris* crowns and the effect of crown shape and stand density on branch and stem biomass. Scandinavian Journal of Forest Research, 1: 455 - 472
- Kurz W A, Apps M J. 1999. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. Ecological Applications, 9(2): 526 - 547
- Liu J, Chen J M, Gihlar J, et al. 1999. Net primary productivity distribution in the BOREAS study region from a process model using satellite and surface data. Journal of Geophysical Research, 104 (D22): 735 - 354
- Long S P, Ainsworth E A, Rogers A, et al. 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: Plant FACE the future. Annual Review of Plant Biology, 55: 591 - 628
- Norby R J, Wullschlegel S D, Gunderson C A, et al. 1999. Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. Plant, Cell & Environment, 22: 683 - 714
- Victoria E W, Carl J B, Xin Guang Zhu, et al. 2005. Gross primary production is stimulated for tree *Populus* species grown under free-air CO₂ enrichment from planting through canopy closure. Global Change Biology, 11: 644 - 656

(责任编辑 于静娴)