

文章编号: 1001-1498(2010) 01-0071-06

# 华北沙地小黑杨林生物量及其与树冠关系的研究

范少辉<sup>1,2</sup>, 刘广路<sup>2</sup>, 张群<sup>1</sup>, 冯慧想<sup>1</sup>, 宗亦尘<sup>1</sup>, 任海青<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102;  
3. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 应用相对生长法和典型样方调查法对华北沙地不同密度、不同年龄的小黑杨人工林生物量和生产力进行了估算, 同时对树冠与生物量的关系进行了研究。结果表明: 密度为 1 000 株·hm<sup>-2</sup>、500 株·hm<sup>-2</sup>、250 株·hm<sup>-2</sup> 的小黑杨林分(27 年生)的生物量分别为 85.31 t·hm<sup>-2</sup>、102.60 t·hm<sup>-2</sup>、86.74 t·hm<sup>-2</sup>; 生产力分别为 3.16 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>、3.80 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>、3.21 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 密度 500 株·hm<sup>-2</sup> 为华北沙地小黑杨的合理密度。不同密度小黑杨不同器官生物量所占的比例差异不明显, 地上部分生物量在 83% ~ 86% 之间, 其中干 57% ~ 62%, 枝 11% ~ 16%, 叶 2% ~ 3%, 皮 8% ~ 10%; 地下部分生物量在 14% ~ 17% 之间。对不同年龄小黑杨的生物量和生产力研究表明, 27 年生的比 23 年生的分别高 59.74% 和 36.20%。同时, 23 年生小黑杨的根、叶所占比例明显高于 27 年生的根、叶比例, 但是干生物量所占比例低于 27 年生小黑杨, 反映了 23 年生小黑杨的生物量和生产力处在快速生长期, 小黑杨的轮伐期应在 27 年以后。小黑杨生物量与树冠之间存在极显著的相关关系, 其中树干生物量与树冠指数之间可以用线性模型  $y = ax + b$  描述, 利用遥感技术可以反映小黑杨林树干生物量, 为进一步利用遥感预测小黑杨木材材性提供了重要的基础数据。

**关键词:** 小黑杨; 生物量和生产力; 密度; 树冠

中图分类号: S792.11

文献标识码: A

## A Study on Biomass and Productivity of *Populus × xiaohei* Plantation on Sandy Land in North China

FAN Shao-hui<sup>1,2</sup>, LIU Guang-lu<sup>2</sup>, ZHANG Qun<sup>1</sup>, FENG Hui-xiang<sup>1</sup>, ZONG Yi-chen<sup>1</sup>, REN Hai-qing<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 3. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The underground and aboveground standing biomass and productivity of *Populus × xiaohei* plantation with different densities and stand ages were measured by the methods of sampling typical plot and allometric dimension analysis in Xuejiazhuang Forest Farm in Shanxi Province. It showed that the rationale density of *Populus × xiaohei* plantation was 500 trees per hectare. The biomass of 29 years old *Populus × xiaohei* plantation with 1 000, 500, 250 trees per hectare was 85.31 t·hm<sup>-2</sup>, 102.60 t·hm<sup>-2</sup>, and 86.74 t·hm<sup>-2</sup>, respectively. The productivity of *Populus × xiaohei* plantation was 3.16 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 3.80 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, and 3.21 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, respectively. The proportion of tissue biomass had little difference in the 29 years old stand. The proportion of aboveground biomass ranged from 83% to 86%, the proportion of stem ranged from 57% to 62%, the branch ranged from 11% to 16%, the leaf ranged from 2% to 3%, and the bark ranged from 8% to 10%; the proportion of underground biomass ranged from 14% to 20%. The biomass and productivity of 27 years old *Populus × xiaohei* plantation was

收稿日期: 2009-04-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(编号: 30230420)

作者简介: 范少辉(1962—), 男, 福建永泰人, 国际竹藤网络中心研究员, 博士, 博士生导师, 首席专家, 主要从事森林培育教学和科研任务. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

higher than the that of 23 years old *Populus xiaohei* plantation. The biomass increased by 59.74% in 27 years old plantations, and productivity increased by 36.20%. The proportion of leaf and root in the 23 years old plantations was significantly higher than that of 27 years old plantations, but the proportion of stem biomass in the 23 years old plantations was lower than that of 27 years old plantation, which showed that the 23 years old plantation was in rapid growth period. Therefore, the rotation of *Populus xiaohei* plantation should be longer than 27 years. There was a very significant correlation between the biomass of *Populus xiaohei* and the canopy indexes. The relationship between tree stem biomass and tree canopy indexes could be described as  $y = ax + b$ . Applying remote sensing techniques in biomass estimation was practicable, and it could provide the basis data for remote sensing techniques in wood properties estimation.

**Key words:** *Populus xiaohei*; biomass; productivity; density; tree canopy

杨树 (*Populus* spp.) 是中纬度地区主要速生树种, 是我国具有代表性的短周期用材树种, 快速准确地获取其木材性质, 对于更好地监控树木生长, 指导木材合理加工与利用具有重要意义。传统上木材性质的预测与分析基本是采取实地测树和树木实体锯解检测等方法, 费时费力, 对林分的破坏较大。本研究拟利用现代遥感手段即高空间分辨率卫星图像处理技术, 建立先进有效的森林管理与木材性质结合的分析模型, 在大范围内快速地对具有典型意义的长江滩地欧美杨 (*Populus x euramericana* (Dode) Guineir cv. I-72/58) 和华北沙地小黑杨 (*Populus xiaohei* T. S. Hwang et Liang) 林分进行动态高效地预测、监测和管理。其中卫星树冠图像与人工林杨树木材性质相关关系模型的建立, 需要确定林分密度、树木生长特性等测树因子与树冠形态特征因子及木材材性的内在联系。本文从生长特性角度出发, 对不同密度不同林龄的华北沙地小黑杨林分的生物量、生产力和冠幅关系进行了研究。华北沙地小黑杨林木生长过程<sup>[1]</sup>、林分生物量分配规律<sup>[2]</sup>以及长江滩地欧美杨生长特性<sup>[3]</sup>、生物量和生产力的研究<sup>[4]</sup>已做过报道。

目前, 国内外有关杨树生物量的研究报道较多, 主要集中在经营措施、密度、基因型、树冠结构、CO<sub>2</sub>浓度、立地条件等因子对杨树生物量的影响等方面<sup>[5-10]</sup>。对滩地杨树生物量的研究也有所报道, 孙启祥、吴泽民等<sup>[11-12]</sup>对长江季节性水淹滩地上的杨树林生物量及其养分积累进行了研究, 但在华北沙地干旱、半干旱条件下生长的杨树林生物量研究尚未见报道。为此, 对半干旱条件下的华北沙地小黑杨林的生物量、生产力以及生物量与树冠的关系进行了研究, 既揭示了小黑杨林分的结构、功能和动态, 为华北沙地杨树人工林集约栽培和经营决策提供科学依据, 又可以为实现利用现代遥感手段监测、

预测和管理森林, 评价木材性质提供数据支持。

## 1 试验地概况和研究方法

试验点设在山西杨树丰产林实验局薛家庄国营林场, 地理位置 112°06' E, 39°02' N。该地区为大陆性季风气候(细分为半干旱草原气候), 冬季漫长而寒冷干燥, 夏季短暂而温热多雨, 春秋凉爽; 气温日较差和年较差大, 降水集中。多大风, 云量小, 日照充足。年均温 7.5℃ 左右, 无霜期 134 天, 年均降水量 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。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择与调查

调查对象为小黑杨人工林, 1977 和 1983 年栽植, 经营管理按常规进行。2004 年 6 月, 在试验区内设置了不同密度(1 000、500、250 株 · hm<sup>-2</sup>) 的标准地, 每种类型 3 次重复, 共设 9 块标准地(25 m × 25 m); 其中在密度为 500 株 · hm<sup>-2</sup> 的小黑杨林分中设置 27 年生和 23 年生小黑杨样地, 3 次重复, 共设 6 块标准地(25 m × 25 m)。调查内容包括每木检尺、树高、枝下高和冠幅测定、林下植被调查、土壤剖面调查、解析木、生物量调查等。在每木检尺的基础上, 根据径阶分布选取了 18 株标准木做生物量调查。2006 年 7 月对标准地林木的树高、胸径、枝下高和冠幅等的生长状况进行了复查。

### 2.2 林木各器官生物量的测定

标准木伐倒实测。地上部分, 分别秤量树干、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℃ 烘干至恒质量, 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;地下部分,将其根系全部挖出,秤其鲜质量,取一部分样品带回实验室 105 ℃ 烘干至恒质量,推算出解析木地下部分的生物量。

### 2.3 林分生物量及生产力的测定

根据标准木所得的数据,用 Spass13.0 进行分析,建立生物量回归模型。将标准地所测得的胸径和树高代入生物量回归模型中,计算出标准地的生物量。生产力采用  $Pn = W/a$  公式计算,其中  $Pn$  为生产力, $W$  为生物量, $a$  为树木年龄<sup>[12]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 小黑杨生物量的分配

3.1.1 不同密度单株生物量及其在各器官间的分配 通过研究可知(见表 1),在 3 种密度的小黑杨人工林中,各器官的生物量排列顺序都是干 D 根 D 枝 D 皮 D 叶。但密度不同,平均单株树木的生物量存在明显的差异。密度为 250 株·hm<sup>-2</sup> 的小黑杨林分中,单株平均生物量是密度为 500 株·hm<sup>-2</sup> 的 1.35 倍;密度为 500 株·hm<sup>-2</sup> 小黑杨的单木生物量是密度为 1 000 株·hm<sup>-2</sup> 单木的 2.11 倍。说明林

分密度对树木的生长有着重要影响,林分密度越大,单木的可利用营养空间越小,受到的竞争压力越大,单木的平均生物量越小。同时可以看出,密度为 500 株·hm<sup>-2</sup> 的小黑杨林分总生物量优于其他两种密度,说明对小黑杨来说 500 株·hm<sup>-2</sup> 是一个合理密度。

在 3 种密度的小黑杨林分中,地上部分生物量所占比例在密度为 250 株·hm<sup>-2</sup> 的林分中最低为 82.94%,其他密度的林分均为 86.33%;树干生物量所占比例也以密度为 250 株·hm<sup>-2</sup> 的林分中最低,为 57.15%,其次是 500 株·hm<sup>-2</sup>,为 62.09%,最后是 1 000 株·hm<sup>-2</sup>,为 63.08%;枝生物量在 1 000、500、250 株·hm<sup>-2</sup> 3 种密度中所占比例是逐渐升高的,分别为 10.90%、12.59% 和 15.70%。从生物量在各器官的分配比例可以看出,密度对杨树的干形有重要的影响。密度越大,树木自然整枝越好,树干的生物量所占比例越高,树枝的生物量比例越低,干材率高。但在实际经营中,由于木材利用目的不同,对树木的径阶有不同的要求,所以并非密度越大越好。

表 1 不同密度小黑杨单株生物量及分配

树种	密度 / (株·hm <sup>-2</sup> )	林龄 / a	胸径 / cm	根		叶		枝		干		皮		合计 / kg
				生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	
小黑杨	1 000	27	18.65	12.05	13.66	2.47	2.80	9.62	10.90	55.66	63.08	8.44	9.57	88.24
小黑杨	500	27	22.16	25.50	13.67	5.63	3.02	23.49	12.59	115.81	62.09	16.08	8.62	186.51
小黑杨	250	27	26.40	42.98	17.06	6.26	2.49	39.56	15.70	144.00	57.15	19.18	7.61	251.99

3.1.2 同一密度不同林龄小黑杨单株生物量及其在各器官间的分配 林龄不同,小黑杨单株生物量明显不同(见表 2),27 年生小黑杨单株生物量为 186.51 kg,是 23 年生小黑杨单株生物量的 1.71 倍。尽管 27 年生和 23 年生小黑杨各器官生物量的排列顺序都是干 D 根 D 枝 D 皮 D 叶,但是各器官生物量在不同林龄的树木中所占比例存在较大差异,尤其是干、根和叶的比例。27 年生的小黑杨的干比例为 62.09%,远大于 23 年生的 53.48%,而 27 年生小黑

杨根的比例(13.67%)比 23 年生小黑杨根的比例(20.33%)小得多;23 年生小黑杨叶生物量比例(6.21%)是 27 年生小黑杨的 2 倍。反映了 23 年生小黑杨分配给吸收养分和水分的根系和叶片生物量较多,说明 23 年生小黑杨仍处在较快的生长时期。从 23 年到 27 年间,树干生物量快速增加,树干生物量所占比例上升,树根、树叶生物量所占的比例开始下降。

表 2 不同林龄小黑杨单株生物量

树种	密度 / (株·hm <sup>-2</sup> )	林龄 /a	根		叶		枝		干		皮		合计 / kg
			生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	生物量 / kg	比例 / %	
小黑杨	500	27	25.50	13.67	5.63	3.02	23.49	12.59	115.81	62.09	16.08	8.62	186.51
小黑杨	500	23	22.18	20.33	6.78	6.21	13.30	12.19	58.35	53.48	8.48	7.77	109.09

### 3.2 小黑杨林分的生物量和生产力

3.2.1 小黑杨各器官生物量回归模型的确定 利用标准木胸径、树高和各器官生物量的数据,根据相对生长模型  $W = aD^b$  和  $W = a(D^2H)^b$ ,建立小黑杨各器官的生物量( $W$ : kg)与胸径( $D$ : cm)和树高( $H$ : m)的回归模型。由表 3 可知,两模型相关系数均很高,

经过  $F$  检验均达到极显著水平,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。但在实际应用过程中,由于树高的测定比较困难,误差也较大,因此,本研究采用回归模型  $W = aD^b$  来计算小黑杨人工林的生物量。

表 3 小黑杨人工林回归模型及检验

组分	模型 $W = aD^b$	$r$	模型 $W = a(D^2H)^b$	$r$
树干	$W = 0.025D^{2.655}$	0.895 0 <sup>**</sup>	$W = 0.002(D^2H)^{1.16}$	0.902 8 <sup>**</sup>
树枝	$W = 0.000 119D^{3.856 9}$	0.910 1 <sup>**</sup>	$W = 0.000 005 62(D^2H)^{1.647 1}$	0.897 4 <sup>**</sup>
树叶	$W = 0.001D^{2.709}$	0.867 8 <sup>**</sup>	$W = 0.000 097(D^2H)^{1.173 1}$	0.867 6 <sup>**</sup>
树皮	$W = 0.004D^{2.584}$	0.919 2 <sup>**</sup>	$W = 0.000 414(D^2H)^{1.139 7}$	0.935 9 <sup>**</sup>
树根	$W = 0.003D^{2.841}$	0.938 1 <sup>**</sup>	$W = 0.000 324(D^2H)^{1.223 8}$	0.932 6 <sup>**</sup>
全树		$W = W_{干} + W_{枝} + W_{叶} + W_{皮} + W_{根}$		

3.2.2 不同密度小黑杨生物量和生产力 密度是影响杨树人工林生物量和生产力的重要因子。由表 4 可以看出,密度不同的小黑杨人工林生物量和生产力存在一定的差异,密度为 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分 D 50 株·hm<sup>-2</sup>的林分 D 1 000 株·hm<sup>-2</sup>的小黑杨人工林,其中密度为 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分生物量与生产力明显高于 250 株·hm<sup>-2</sup>和 1 000 株·hm<sup>-2</sup>林分的生物量与生产力。密度 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分小黑杨人工林生产力比密度 250 株·hm<sup>-2</sup>的林分高 18.38%,比密度为 1 000 株·hm<sup>-2</sup>的小黑杨

人工林高 20.25%。3 种密度的小黑杨人工林不同器官生物量和生产力的排列顺序均为干 D 根 D 枝 D 叶 D 皮。林分的生物量和生产力由单株的生物量和生产力及林分的株数构成,合理的密度既可以使林木具有较大的平均胸径,又有一定的株数,因而具有较高的生产力。本文中密度为 500 株·hm<sup>-2</sup>的小黑杨林分的生物量和生产力均最高,说明了华北沙地小黑杨密度为 500 株·hm<sup>-2</sup>时,是一个合理的密度。

表 4 不同密度小黑杨生物量和生产力

树种	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	林龄/ a	干		枝		叶		皮		根		合计	
			生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力
小黑杨	1 000	27	54.04	2.00	7.63	0.28	3.10	0.11	8.29	0.31	12.25	0.45	85.31	3.16
小黑杨	500	27	57.79	2.14	21.44	0.79	2.73	0.10	7.92	0.29	12.72	0.47	102.60	3.80
小黑杨	250	27	52.00	1.93	12.94	0.48	1.84	0.07	6.26	0.23	13.70	0.51	86.74	3.21

注:生物量单位: t·hm<sup>-2</sup>; 生产力单位: t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>

3.2.3 不同年龄小黑杨林生物量和生产力 研究表明,密度为 500 株·hm<sup>-2</sup>,林龄分别为 23、27 年生的小黑杨人工林各器官的生物量和生产力排列顺序为干 D 根 D 枝 D 叶 D 皮,但林分生物量和生产力明

显不同(见表 5)。27 年生小黑杨人工林生物量和生产力分别比 23 年生小黑杨人工林生物量和生产力高 59.74% 和 36.20%,揭示了 23 年生小黑杨生物量和生产力都处在快速生长期。

表 5 不同林龄小黑杨人工林生物量和生产力

树种	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	林龄/ a	干		枝		叶		皮		根		合计	
			生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力	生物量	生产力
小黑杨	500	27	57.79	2.14	21.44	0.79	2.73	0.10	7.92	0.29	12.72	0.47	102.60	3.80
小黑杨	500	23	41.70	1.81	6.56	0.29	1.95	0.08	5.43	0.24	8.60	0.37	64.23	2.79

注:生物量单位: t·hm<sup>-2</sup>; 生产力单位: t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>

### 3.3 小黑杨林分生物量与树冠的关系

#### 3.3.1 小黑杨林分生物量与冠幅的相关性分析

树冠的形状和大小对遥感数据的正确获取有重要的影响,探索杨树不同器官生物量与树冠的关系,可能为利用遥感手段预测木材材性提供理论依据。分析表明(表 6),不同密度小黑杨林与树冠长度和树冠面积积极显著相关,但是密度不同的小黑杨林分器官生物

量与树冠指标的相关系数大小的变化规律并不一致。密度为  $1\ 000\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  小黑杨林的干、枝、叶、皮、根生物量与东西方向的冠长相关系数最大,树冠冠幅次之,南北方向冠长最小;  $500\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $250\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  小黑杨林与树冠冠幅的相关系数最大,南北方向的冠长次之,东西方向冠长最小。可见,密度不同,小黑杨林生物量与树冠的相关系数也不同。

表 6 不同密度小黑杨人工林生物量与树冠的相关性分析

项目	$1\ 000\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$			$500\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$			$250\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$		
	$L_{\text{东西}}$	$L_{\text{南北}}$	$S_{\text{冠幅}}$	$L_{\text{东西}}$	$L_{\text{南北}}$	$S_{\text{冠幅}}$	$L_{\text{东西}}$	$L_{\text{南北}}$	$S_{\text{冠幅}}$
干	0.755 3**	0.217 1**	0.362 7**	0.644 5**	0.588 5**	0.676 2**	0.457 4**	0.632 6**	0.638 2**
枝	0.746 7**	0.213 7**	0.360 9**	0.645 2**	0.580 9**	0.675 8**	0.484 1**	0.651 4**	0.658 5**
叶	0.752 8**	0.216 0**	0.362 3**	0.641 4**	0.591 5**	0.673 6**	0.539 7**	0.681 2**	0.692 4**
皮	0.751 8**	0.215 6**	0.362 1**	0.642 3**	0.591 0**	0.674 4**	0.482 3**	0.650 2**	0.657 1**
根	0.756 0**	0.217 5**	0.362 8**	0.644 3**	0.588 9**	0.676 0**	0.502 3**	0.662 7**	0.670 9**
合计	0.754 2**	0.216 6**	0.362 6**	0.645 0**	0.587 0**	0.676 4**	0.467 3**	0.639 6**	0.645 8**

3.3.2 小黑杨树干生物量与冠幅的回归分析 树干生物量与小黑杨出材数量和质量有显著的相关性,为了进一步探讨生物量与树冠的关系,对 3 种密度小黑杨林树干生物量与树冠指数进行了回归分析。结果表明(表 7),不同密度小黑杨林树干生物量与树冠东西方向的长度、南北方向的长度以及树冠的面积可以用模型  $y = ax + b$  来描述,显著性检验均达到极显著水平。但是密度为  $1\ 000\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  小黑杨林以模型  $y_{\text{干}} = 8.61 \times L_{\text{东西}} + 27.09$  的相关性最为显著,而  $500\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $250\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  小黑杨林  $y_{\text{干}} = 1.25 \times S_{\text{冠幅}} + 72.75$  和  $y_{\text{干}} = 0.67 \times S_{\text{冠幅}} + 109.51$  的相关性最为显著。可见,不同密度小黑杨林树干生物量与树冠指数回归模型的回归系数不同。

表 7 不同密度小黑杨树干生物量与树冠的回归分析

密度	模型	$R^2$ 值
$1\ 000\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$	$y_{\text{干}} = 8.61 \times L_{\text{东西}} + 27.09$	0.562 0**
	$y_{\text{干}} = 2.21 \times L_{\text{南北}} + 44.65$	0.212 9**
	$y_{\text{干}} = 0.22 \times S_{\text{冠幅}} + 44.72$	0.356 0**
$500\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$	$y_{\text{干}} = 21.54 \times L_{\text{东西}} + 44.79$	0.645 0**
	$y_{\text{干}} = 23.18 \times L_{\text{南北}} + 43.30$	0.589 2**
	$y_{\text{干}} = 1.25 \times S_{\text{冠幅}} + 72.75$	0.676 6**
$250\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$	$y_{\text{干}} = 12.91 \times L_{\text{东西}} + 94.02$	0.633 8**
	$y_{\text{干}} = 17.51 \times L_{\text{南北}} + 82.71$	0.457 2**
	$y_{\text{干}} = 0.67 \times S_{\text{冠幅}} + 109.51$	0.638 1**

## 4 结论与讨论

(1) 用模型  $W = aD^b$  和  $W = a(D^2H)^b$  均能较好

地估计小黑杨人工林的生物量,由于在实地测定树高时较繁琐,并且误差较大,而胸径的测定十分方便,因此建议在生产实践中运用模型  $W = aD^b$  来估计小黑杨人工林的生物量。

(2) 华北沙地小黑杨的合理密度是  $500\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。密度能反映林木空间位置,密度不同会影响到林木的生存竞争,包括林木对水、肥、光等各种可利用资源的竞争,从而影响到林分生物量和生产力。在一定范围内随着密度的增加,林分对林地的利用率逐渐增大,林分的生物量和生产力逐渐升高;到达一定的密度后,随着密度的进一步增大,种内竞争加剧,林分的生物量和生产力逐渐下降<sup>[13]</sup>。

(3) 不同密度 27 年生小黑杨不同器官生物量所占的比例差异不明显,地上部分生物量在 83% ~ 86% 之间,其中干 57% ~ 62%,枝 11% ~ 16%,叶 2% ~ 3%,皮 8% ~ 10%;地下部分生物量在 14% ~ 17% 之间。23 年生小黑杨和 27 年生小黑杨各器官所占的比例差异较大,27 年生小黑杨干、枝、叶、皮、根所占的比例分别为 61%、13%、3%、9%、14%;23 年生小黑杨干、枝、叶、皮、根所占的比例分别为 54%、12%、6%、8% 和 20%。

(4) 华北沙地小黑杨生产力最高的为  $2.9\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,远远低于长江滩地杨树的生产力<sup>[4, 11, 14]</sup>。两地杨树生产力的差异主要由两地的水热条件的差异造成的,尤其是水分条件的差异。杨树高生产力是与杨树高耗水率联系在一起的<sup>[15-16]</sup>。两地降水量的差异决定了两地杨树林生产力的

差异。

(5) 华北沙地小黑杨生物量与树冠之间存在极显著的相关关系, 其中树干生物量与树冠指数之间可以用线性模型描述, 利用遥感技术可以反映小黑杨林树干生物量, 为进一步利用遥感预测小黑杨木材材性提供了重要的基础数据。

#### 参考文献:

- [1] 范少辉, 冯慧想, 张 群, 等. 华北沙地小黑杨人工林生长特性 [J]. 林业科学, 2008, 44(3): 29 - 33
- [2] 江泽慧, 范少辉, 冯慧想, 等. 华北沙地小黑杨人工林生物量及其分配规律 [J]. 林业科学, 2007, 43(11): 15 - 20
- [3] 刘广路, 范少辉, 张 群, 等. 长江滩地 I-72 杨人工林生长特性研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 542 - 547
- [4] 张 群, 范少辉, 刘广路, 等. 长江滩地 I-72 杨人工林生物量 and 生产力研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 542 - 547
- [5] 崔浪军, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 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 [J]. 林业科学, 2003, 39(6): 1 - 7
- [6] Makinen H. Effect of intertree competition on branch characteristics of *Pinus sylvestris* families [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1996, 11: 129 - 136
- [7] Romain Monclus, Erwin Dreyer. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra*. [J]. New Phytologist, 2006, 169: 765 - 777
- [8] Ward J K. Elevated CO<sub>2</sub> Studies: Past, Present and Future [J]. Tree Physiology, 1999, 19: 211 - 220
- [9] Norby R J, Gunderson C A, Johnson D W, et al. Tree responses to rising CO<sub>2</sub> in field experiments: implications for the future forest [J]. Plant, Cell & Environment, 1999, 22: 683 - 714
- [10] 周腊虎. 河西走廊气候因子对杨树防护林生长量影响的差异性分析 [J]. 甘肃农业大学学报, 2002, 37(4): 447 - 451
- [11] 吴泽民, 孙启祥, 陈美工. 安徽长江滩地杨树人工林生物量和养分积累 [J]. 应用生态学报, 2001(6): 806 - 810
- [12] 孙启祥, 彭镇华. 长江滩地杨树人工林生物量的研究 [J]. 林业科技通讯, 1998(3): 4 - 6
- [13] Kellomaki S. 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 [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1986, 1: 455 - 472
- [14] 唐万鹏, 王月容, 郑兰英. 南方型杨树人工林生物量与生产力研究 [J]. 湖北林业科技, 2004(S1): 43 - 47
- [15] Tschaplinski T J, Gunderson C A. Water-stress tolerance of black cottonwood and eastern cottonwood clones and four of their hybrid progeny. Growth, water relations and gas exchange [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1994, 24: 364 - 371
- [16] Ceulenans R, Steenackers V. Genetic variation in aspects of leaf growth of *Populus* clones, using the leaf plastochron index [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1988, 18: 1068 - 1077