

# 浙北平原水杉人工林生物量的研究\*

高智慧 蒋国洪

(浙江省林业科学研究所, 杭州 310023)

邢爱金 俞铭荣

(浙江海盐县农林局) (浙江杭州市林水局)

## 摘 要

本文对浙江省北部平原水杉人工林的生物量和生产力进行了测定和研究。按平均标准木法分别调查了干、枝、叶、根的生物量。据调查材料,用相对生长规律建立了估测单株林木各器官干重的回归方程,方程的相关系数和估测精度符合要求,具实用价值。研究表明:水杉人工林生物量随年龄的增长而增加,林带18年生后增加速度变缓,片林生物量普遍大于林带生物量,生物量组成比例因年龄而异。随着年龄的增加,年平均净生产量、叶面积指数、光能利用率均逐步加大,至18年生时,上述指标分别为17.51t/ha·a、9.1和0.77%。叶净光合生产率以速生阶段为最大,衰退阶段为最低,当叶净光合生产率急剧下降时,可实施主伐更新。

**关键词** 水杉; 生物量; 生产力; 能量

水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)原产山区,是世界闻名的孑遗树种,自六十年代以来引种到丘陵、平原湖区,表现出生长迅速、树干挺直、材质中庸等特性,已成为我国平原湖区的主要用材树种。随着生产的发展,物流能流研究的深入,及对自然资源开发利用的需要,生物量的研究已日益引起人们的关注。对于水杉人工林生物量的研究,国内外报道甚少<sup>[6,11]</sup>。为此我们于1985—1986年在浙江省的上虞、余杭、桐乡、海盐、湖州等地对水杉人工林生物量进行了调查研究。现将结果报道如下,从而为充分合理利用自然条件和土地资源、营造速生丰产林提供依据。

## 一、自然概况及调查研究方法

调查地区位于浙江省北部平原,东经120°06′—120°53′,北纬30°02′—30°55′,自然条件优越,地势平坦,土壤肥沃,气候温和湿润,年平均温度16.2℃,极端最低温度-15℃,极端最高温度40.5℃,≥10℃的年积温5067.7℃,年降水量1399mm,日照时数1970.6小时,相对湿度80%左右。土壤大部分是堆积土,小部分为红壤,pH 5.6—7.3,土层厚度100cm以上,腐殖质层≤1cm。

水杉人工林分为两种,一种是片林,另一种为防护林带。在不同年龄阶段的林分内设

本文于1990年2月收到,1990年12月收到修改稿。

\* 高长坤、丁少华、纽为民、蔡伟国等同志参加部分外业调查,特此一并致谢!

置样地(或样带),用常规方法作每木检尺,按照林分平均高和平均胸径选定 2—3 株标准木作为生物量测定的植株。自根颈处伐倒标准木,分别干、枝、叶、根 4 个部分称出鲜重,各部分分别取试样带回实验室,置于 80℃ 恒温下烘至恒重,按下式算出各部分的干重  $W_{干}$ :

$$W_{干} = W \cdot \frac{\text{该部分样品干重}}{\text{该部分样品鲜重}}$$

式中:  $W$  为该部分鲜重。各部分干重之和为单株干重,然后推算出每公顷林分(或林带)的生物产量。

叶面积测定采用重量法。经抽样调查 200 多片叶子后,求得水杉小叶长与叶面积的经验公式如下:

$$S = -2.3685 + 1.8024L$$

式中:  $S$  为叶面积( $\text{cm}^2$ ),  $L$  为小叶长( $\text{cm}$ ), 相关系数  $r = 0.9751$ , 达到 1% 显著水平。

从标准木上称取一定量的鲜叶,测定其小叶长,算出叶面积,然后根据称取叶子的干重,求出单位叶重的叶面积,据此换算出单株及样地的叶面积。

净生产量按下式计算<sup>[1,8]</sup>:

$$\Delta W = \frac{W_a - W_{a-n}}{n}$$

式中:  $W_a$  为单位面积现存量,  $W_{a-n}$  为  $n$  年前单位面积的生物量,  $n$  为从  $W_{a-n}$  到  $W_a$  的年数。若  $W_{a-n}$  为 0, 则  $\Delta W$  为  $n$  年的平均净生产量 ( $\Delta W$ ), 否则为连年净生产量。

## 二、相对生长关系的建立

根据植物相对生长规律,对所得标准木各器官的干重 ( $W$ ) 与胸径 ( $D$ )、树高 ( $H$ ) 数据,选用不同函数式进行拟合,得到最佳回归方程如表 1。其相关系数均达到 1% 显著水平,相对误差均在 8.2% 以上,精度是符合要求的,这组回归方程具有实用价值。

表 1 水杉标准木各器官干重与胸径树高的回归方程

Table 1 The regression equation of each organ biomass on breast height diameters, tree heights in the sample tree of *Metasequoia glyptostroboides*

项 目	回 归 方 程	相关系数	回归标准差	相对误差(%)
干 量	$\lg W_s = -1.3693 + 0.8428 \lg(D^2 H)$	0.9946	0.0380	0.34
枝 量	$\ln W_B = -0.2238 + 0.1434 D$	0.9309	0.3197	4.34
叶 量	$\ln W_L = -0.7865 + 0.1137 D$	0.8346	0.4261	8.17
地上部分总量	$\lg W_A = -1.0967 + 0.8026 \lg(D^2 H)$	0.9827	0.0655	1.00
根 量	$\lg W_R = -1.4455 + 2.0887 \lg D$	0.8974	0.1630	6.46
全株总量	$\lg W_T = -0.8168 + 2.1549 \lg D$	0.9762	0.0759	1.38

§ 样本数  $n = 30$ ,  $r_{0.01} = 0.463$ , 上述方程相关系数均达 1% 显著水平。

### 三、研究结果与分析

#### (一) 水杉林的生物量

本地区由于人为活动频繁,水杉林下几乎无下木、活地被物及凋落物,故本文述及的生物量实际上仅是乔木层干、枝、叶、根的现存量。

##### 1. 不同年龄阶段单株干重及其分配

由表 2 可知,水杉林带单株干重从 7 年生的 24.6kg 增加到 22 年生的 170.7kg,增加 6.94 倍,而树干干重则增加 8.77 倍,说明单株干重的增加主要是树干干重的增长所致。从平均净生产量看(图 1),  $\overline{\Delta W}_{总}$ 、 $\overline{\Delta W}_{干}$ 、 $\overline{\Delta W}_{枝}$  均随年龄增长而增加,其增加速度以 7—18 年期间最快,18—22 年期间缓慢, $\overline{\Delta W}_{叶}$ 、 $\overline{\Delta W}_{根}$  在 7—18 年期间随年龄增大而缓慢增加,18 年以后趋于平稳。连年净生产量  $\Delta W_{总}$ 、 $\Delta W_{干}$ 、 $\Delta W_{叶}$ 、 $\Delta W_{根}$  均在 18 年时最大,以后下降, $\Delta W_{枝}$  与  $\overline{\Delta W}_{枝}$  的变化趋势相似。上述水杉生物量随年龄的变异趋势与水杉生长量的变化趋势是一致的<sup>[6]</sup>。水杉片林单株干重随年龄的变化趋势与林带相似。但就单株干重而言,林带普遍大于同龄片林,这可能与林木营养空间不同有关。因为水杉林带一般为 2 行,株距 2m 左右,带宽 5—8m,可以说近似于孤立木,林分密度明显小于水杉片林。

表 2 水杉不同年龄阶段单株干重

Table 2 The individual tree dry weight of the different ages of *M. glyptostrobooides*

年龄	树高 (m)	胸径 (cm)	各 部 分 干 重 (kg)					备 注
			干	枝	叶	根	全株	
7	6.8	11.1	11.13	4.40	2.44	6.64	24.61	林带
12	11.4	16.6	34.64	9.57	4.22	15.19	63.62	林带
18	14.4	23.1	74.44	22.28	8.02	24.87	129.61	林带
22	15.7	25.4	97.58	33.54	9.47	30.10	170.69	林带
7	8.9	9.5	11.12	2.62	1.27	4.54	19.55	片林
12	12.3	11.4	21.42	3.23	1.53	7.55	33.73	片林
18	16.3	19.5	67.11	16.29	4.78	21.55	109.73	片林

如图 2 所示,随着年龄的增长,水杉干重的分配趋势是: 1) 树干所占比例逐渐增加,林带由 7 年生的 45.2%,增加到 12 年生的 54.5%,以后趋于平稳,至 22 年生仍为 57.3%。片林变化趋势与林带略有不同,即 18 年生后树干所占比例基本不再增加,但各年龄阶段的比例普遍大于同龄林带。2) 叶、根占全株比例逐渐减少,但 12 年生后减少幅度变小,趋于平缓。枝的比例由 7—12 年期间逐渐减少,12 年后略有上升趋势。片林的枝、叶、根比例的变化趋势与林带相同,但比例均小于林带。与同龄杉木人工林<sup>[8,7]</sup>相比,水杉人工林枝叶的比例明显偏小,而根的比例偏大,这不利于水杉的物质积累。为使水杉达到速生丰产,应严格控制打枝、整枝,以提高枝叶比例,同时辅以除草松土和施肥,减少根部的生物量积累,使同化物质更多地运转到干材中去,以提高干材产量。

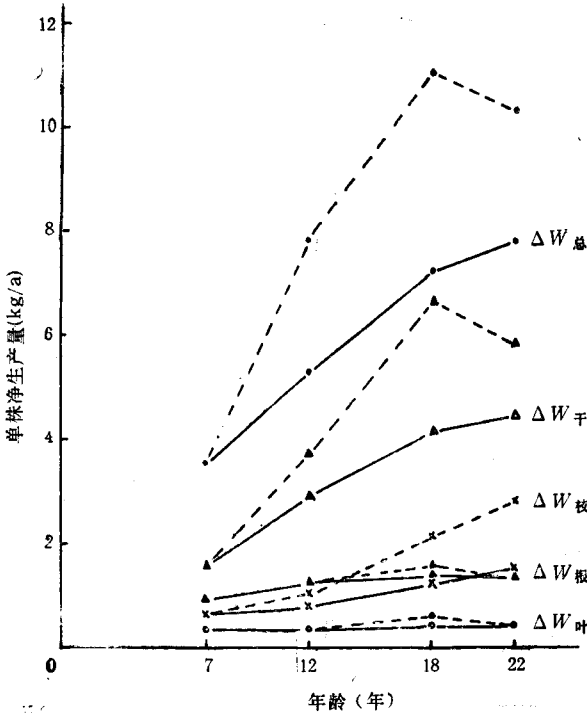


图 1 水杉不同年龄阶段单株净生产量的变化  
 Fig. 1 Net production dynamics in the different ages of *Metasequoia glyptostroboides*  
 ---连年净生产量 Current annual production  
 ——平均净生产量 Average net production

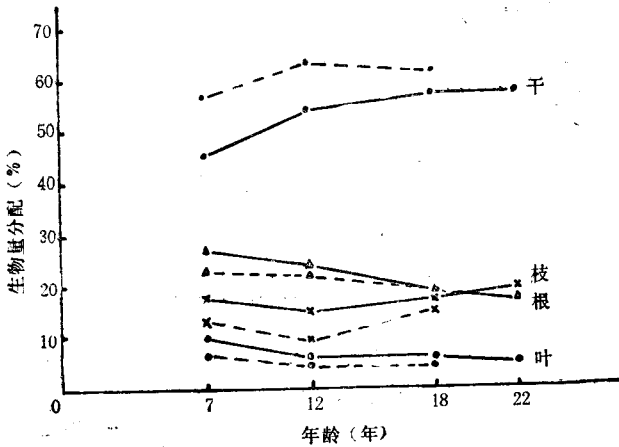


图 2 水杉不同年龄阶段生物量分配的变化  
 Fig. 2 Dynamics of biomass distribution in the different ages of *M. glyptostroboides*  
 ——林带 Shelterbelt ——片林 Stand

## 2. 不同年龄阶段林分生物量

水杉林分生物量随年龄的变化趋势与单株干重变化趋势相似,但增长幅度较小,这是由于随着年龄的增加,林分密度因自然稀疏或其它人为干扰逐渐减少的缘故。由表3可知,7年生片林生物量为65.1t/ha,12年生107.9t/ha,18年生达到181.1t/ha。如果7、12年生水杉林带每公里按带宽7m、18年生按8m计算,分别折合0.7和0.8ha,以及1429株/ha和1250株/ha,则7年生林带生物量为35.2t/ha,12年生90.9t/ha,18年生162.0t/ha。水杉片林林分生物量普遍高于林带的林分生物量,应该说密度是主要原因。

据我们的研究,随着年龄的增加,根生物量与地上部分生物量的比值逐渐降低,7年生为30.2%,12年生为28.8%,18年生为24.4%,22年生降为21.4%,这与文献中报道的结果是相符的<sup>[1]</sup>。

我们用单位面积林地地上部分生物量除以该林分平均高所得的商表示林分地上部分生物量密度。森林生物量密度一般为1.0—1.5 kg/m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>。水杉人工林生物量密度随年龄的增加而加大,由7年生的0.56kg/m<sup>3</sup>,增加到12年生的0.68kg/m<sup>3</sup>,及18年生的0.89kg/m<sup>3</sup>,平均为0.71kg/m<sup>3</sup>,低于一般值,与油松林的生物量密度相似(0.70kg/m<sup>3</sup>)<sup>[2]</sup>。

表3 水杉不同年龄阶段林分生物量

Table 3 The stand biomass of the different ages in *Metasequoia glyptostroboides*

年龄	密度 (株/ha)	各部分生物量(t/ha)/各部分净生产量(t/ha·a)					生物量密度 (kg/m <sup>3</sup> )
		干	枝	叶	根	总量	
7	3330	37.03	8.72	4.23	15.12	65.10	0.56
		5.29	1.25	4.23	2.16	12.93	
12	3200	68.54	10.34	4.90	24.16	107.94	0.68
		5.71	0.86	4.90	2.01	13.48	
18	1650	110.73	26.88	7.89	35.56	181.06	0.89
		6.15	1.49	7.89	1.98	17.51	

## (二) 水杉林的生物生产力

### 1. 水杉林的净生产量

我们采用年平均净生产量(单位: t/ha·a)<sup>[1]</sup>作为水杉人工林生产力的指标。因水杉是落叶树种,故水杉的叶净生产量亦就是叶生物量。本地区林内的凋落物被移出作燃料,动物和昆虫吃掉的部分未作测定,因此本文测算的净生产量略偏低于现实情况。

由表3可见,随着年龄的增长,18年生以前的水杉林净生产量逐渐增加,由7年生的12.9t/ha·a,增加到18年生的17.5t/ha·a。据佐藤等报道<sup>[11]</sup>,17年生水杉的净生产量为16.2t/ha·a,与我们的研究结果基本一致。

从我们的研究结果看,水杉人工林的净生产量要大于杉木人工林的净生产量(3—9t/ha·a)<sup>[3,7]</sup>和湿地松人工林的净生产量(9.4t/ha·a)<sup>[8]</sup>,与日本赤松的净生产量(15年生,15.8t/ha·a)<sup>[10]</sup>相似。如果仅从生物生产力方面考虑,水杉人工林无疑是亚热带地区的高产林分之一。

### 2. 水杉林的叶净光合生产率

森林生态系统的生物生产力是绿色叶片进行光合作用的结果。生产力的高低与叶量和叶面积大小密切相关。佐藤认为总生产量(P)等于叶面积(F)乘以叶的净光合生产率(P/F),由于森林的总生产量资料很少,因此常用  $P_n/F$  (即单位叶面积的净生产量) 来表示叶的净光合生产率(或净同化率)<sup>[1,8,11]</sup>。

表 4 水杉林的叶净光合生产率

Table 4 The net photosynthetic rate of leaf in *Metasequoia glyptostroboides* stand

年龄	叶面积指数 (LAI)	年平均净生产量(t/ha·a)			叶净光合生产率(g/m <sup>2</sup> ·a)		
		林分	地上部分	干材	林分	地上部分	干材
7	5.44	12.93	10.77	5.29	237.68	197.98	97.24
12	6.40	13.48	11.47	5.71	210.63	179.22	89.22
18	9.10	17.51	15.53	6.15	192.42	170.66	67.58

由表 4 可知,水杉林的叶面积系数(LAI)随年龄逐渐增大,由 7 年生的 5.44 增加到 18 年生的 9.10。这与佐藤的研究结果(17 年生水杉 LAI 为 8.5)<sup>[11]</sup> 基本一致,同时说明 17—18 年生的水杉林 LAI 基本稳定在 9.0 左右。表 4 还表明,随着年龄的增长,水杉林的叶净光合生产率逐步下降。从林分和地上部分的叶净光合生产率来看,7—12 年期间的下降幅度明显大于 12—18 年期间的,说明从全树利用考虑,这样的水杉林还应继续培育。但在现阶段的经济条件下,用材林培育的主要目的是取得干材加以利用,因此干材的产量称为经济产量<sup>[1]</sup>。生产干材的叶净光合生产率从 12—18 年期间急剧下降,若从经济产量角度看,20 年左右的水杉林就可主伐更新了。

7—18 年期间水杉林地上部分的叶净光合生产率平均为 182.6 g/m<sup>2</sup>·a,与佐藤的研究结果(183.0g/m<sup>2</sup>·a)<sup>[11]</sup> 是一致的。水杉的林分叶净光合生产率要大于杉木林的叶净光合生产率(108.7—140.9g/m<sup>2</sup>·a)<sup>[3,7]</sup>,生产干材的叶净光合生产率也高于杉木林的叶净光合生产率(50.8—77.3g/m<sup>2</sup>·a)<sup>[3,7]</sup>。

### (三) 水杉林的光能利用率

森林植物群落生产力的高低,归根结底是绿色植物固定太阳能及对光能利用率的反映,了解这些数据对于正确评价森林生态系统的物质循环和能量流动,及合理利用土地资源,发展林业生产均有十分重要的意义。

据测定,水杉的热值为 4826cal/g<sup>[9]</sup>。由此得到 7、12、18 年生的水杉人工林所固定的太阳能数分别为 6240.2、6505.45 和 8450.33 kcal/m<sup>2</sup>·a。光能利用率是用被植物所固定的太阳能数和由试验区单位地表面积上所接受的有效太阳年总辐射量两者的比率来计算的<sup>[11]</sup>。由浙江省气象局提供的资料得知,调查区域太阳年总辐射量为 110kcal/cm<sup>2</sup>·a,从而得到 7、12、18 年生水杉林的光能利用率分别为 0.57%、0.59% 和 0.77%,说明在 7—18 年期间,水杉林光能利用率随年龄逐渐增加。水杉人工林光能利用率与马尾松人工林(0.76%)<sup>[4]</sup>相近。

## 四、小 结

1. 水杉人工林胸径(D)与其它器官干重(y)之间关系密切,其公式:干量和地上部分

总量为 $y = a(D^2H)^b$ , 其它为 $y = aD^b$ , 相对误差均在 8.2% 以下, 具有实用价值。

2. 水杉人工林生物量随年龄的增长而增加, 林带 18 年生后增加速度变缓, 片林生物量普遍大于林带生物量。生物量组成比例因年龄而异, 待林分郁闭后, 干量比例随年长增长而上升, 叶、根比例随年龄增长而下降, 枝比例变化不一。片林的干量比例大于同龄林带, 而其它部分比例则是片林小于同龄林带。

3. 随着年龄的增长, 水杉人工林年平均净生产量、叶面积指数和光能利用率均逐步加大, 至 18 年生时, 上述指标分别为 17.51t/ha·a、9.1 和 0.77%, 表明水杉人工林具有相当高的生产力。

4. 水杉人工林叶净光合生产率以速生阶段为最大, 衰退阶段为最低。当林分的叶净光合生产率急剧下降时, 可考虑实施主伐更新。

### 参 考 文 献

- [1] 叶镜中、姜志林, 1983: 苏南丘陵杉木人工林的生物量结构, 生态学报, 3(1) 7—14。  
 [2] 马钦彦, 1989: 中国油松生物量的研究, 北京林业大学学报, 11(4) 1—10。  
 [3] 温远光, 1987: 杉木人工林生物量和生产量的研究综述, 广西林业分院科技资料, (1) 14—24。  
 [4] 宛志沪等, 1989: 安徽省马尾松人工林气候生产潜力的初步研究, 植物生态学与地植物学学报, 13(2) 156—163。  
 [5] 彭锦云、肖国华、高智慧等, 1990: 中华人民共和国专业标准——水杉速生丰产用材林, 中国标准出版社, 1—4。  
 [6] 高智慧、李国樑, 1987: 水杉防护林带生长量及生物量的初步研究, 林业科技通讯, (3) 10—12。  
 [7] 高智慧, 1986: 不同栽培管理水平杉木人工林生物产量的初步研究, 浙江林业科技, 6(2) 25—30。  
 [8] 汪企明、石有光, 1990: 江苏省湿地松人工林生物量的初步研究, 植物生态学与地植物学学报, 14(1) 1—12。  
 [9] 浙江林科所生态室, 1985: 浙江省主要薪炭树种发热量的测定, 林业科技通讯, (6) 21—24。  
 [10] 佐藤大七郎等著(聂绍荃等译), 1986: 陆地植物群落的物质生产, 科学出版社。  
 [11] T. Satoo and H. A. I. Madgwick, 1982: Forest Biomass. Martinus Nijhoff, London.

## A STUDY ON THE BIOMASS OF *METASEQUOIA* *GLYPTOSTROBOIDES* PLANTATION IN ZHEBEI PLAIN

Gao Zhi-hui     Jiang Guo-hong

(Forestry Research Institute of Zhejiang Province)

Xing Ai-jin

(Haiyan Bureau of Agroforestry, Zhejiang Province)

Yu Ming-rong

(Hangzhou Bureau of Forestry & Water Conservancy, Zhejiang)

### Abstract

A preliminary research on the biomass and production of *Metasequoia glyptostroboides* in north plain of Zhejiang Province is presented here. The biomass of *M. glyptostroboides* was observed by "average standard tree" method.

The following regression equations were derived from the standing crop of the destructive trees:

$$\begin{aligned} \lg W_s &= -1.3693 + 0.84281g(D^2H), & \ln W_b &= -0.2238 + 0.1434D, \\ \ln W_1 &= -0.7865 + 0.1137D, & \lg W_a &= -1.0967 + 0.8026(D^2H), \\ \lg W_r &= -1.4455 + 2.08871gD, & \lg W_t &= -0.8168 + 2.15491gD. \end{aligned}$$

The results obtained show that the biomass increased with time, and the increasing rate slowed down after 18 years-old. The biomass in stand was larger than in shelterbelt. The constitution ratios varied with time. The net productio, leaf area index (LAI), and the utilization rate of solar energy oncreased with time, with 17.51t/ha.a, 9.1 and 0.77% as typical values respectively in age of 18 years. The net photosynthetic rate of leaf (NPR) was maximum in the fast growing period and was least in the declining period. When NPR decreased fast, the stand was cut over and regenerated.

**Key words** *Metasequoia glyptostrodoides*; Biomass; Productivity; Energy



## 全国高师植物地理学研讨会在蓉城召开

由西南师范大学地理系承办的“1991年全国高等师范院校植物地理学教学及学术研讨会”于9月6日在四川省成都市召开。来自全国17个省市自治区的教学、科研和新闻出版等部门的70余名代表出席了会议。大会共收到学术交流论文20余篇。与会代表中40岁以下的占52%，展现了植物地理学后继有人的可喜景象。

大会就植物地理学的基本理论、科学研究及其如何在国家四个现代化建设中发挥更大的作用等方面进行了广泛的交流和讨论。西南师大地理系的方任吉代表向大会汇报了编写《植被地理学》的基本设想。管仲天、刘照光、柳素清、陈庆恒等先生作了有关四川省松杉植物地理、川西高原植被、九寨沟植被和川西北干旱河谷小流域综合治理的专题报告。

大会本着老中青相结合的原则，采用无记名投票方式选举产生了全国高师植物地理研究会第三届理事会。武吉华先生任名誉理事长，卓正大、吴志芬、秦树辉等同志分别担任正、副理事长。

会议期间，代表们在川西北进行了为期8天的广泛考察，大会于9月17日闭幕。

与会代表对西南师范大学地理系对大会所给予的热情支持和精心周到的安排表示由衷地感谢。

(秦树辉)