

喜树种源苗期生物量研究*

周国模¹⁾ 吴家胜¹⁾ 应叶青¹⁾ 姚建祥²⁾

(1) 浙江林学院, 311300, 浙江临安; 2) 浙江省湖州市林业科学研究所, 313000, 浙江湖州;
第一作者 38 岁, 男, 副研究员)

摘要 利用 18 个喜树地理种源的 540 株 1 年生苗木作试验材料, 分析了苗期各器官生物量及其相关规律。研究结果表明: 各器官生物量(烘干)所占比例为, 干 29.54%, 枝 9.20%, 叶 30.75%, 根 22.74%, 皮 7.77%, 其中以叶片所占比例最大; 参试的 18 个种源中, 以 4 号福建、8 号和 9 号江西、11 号和 12 号湖南种源生物量较大, 其中以 8 号江西南昌种源总生物量和叶片生物量为最大。建立了用苗高(H)和地径(D)估测叶片生物量(m_1)和总生物量(m_2)的数学模型, 用 $m = aD^b H^c$, $m = aD^b e^{cH+dH}$, $m = a + D^2(b + cH + dH^2)$ 和 $m = D^2/(a + bD + cD^2)$ 4 个数学模型, 尤其用 $m = D^2/(a + bD + cD^2)$ 数学模型能较准确估测 m_1 和 m_2 。

关键词 喜树; 种源; 生物量; 数学模型
分类号 S722.7

喜树(*Camptotheca acuminata* Dcne) 属珙桐科(Nyssaceae), 是长江流域以南各省较为普遍的用材树种。在溪流两岸或山坡谷地土壤肥沃湿润之处生长迅速, 树干高大, 具有顶端优势, 即使是孤立木, 树干仍然通直圆满, 树冠宽广, 枝叶茂密, 可作四旁绿化、护堤、护岸和沿海防护林树种; 喜树碱(Camptothecin) 是喜树的根、皮、茎、叶和种子中的生物碱, 近几年来美国、日本、加拿大、英国和我国, 积极投入喜树碱的开发, 合成了数百种衍生物进行生化筛选, 具有抗癌药理作用, 已经或即将进入临床使用, 喜树碱成为继紫杉醇之后的又一个由植物直接提炼的抗癌物质, 引起广泛注意, 该方面的研究成为又一个世界性热门课题。开展喜树地理种源苗期生物量的研究, 目的是从苗期进行优势种源的选择, 提供壮苗在不同地域营建示范林, 进而筛选出优势种源, 为选择采种地域提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在浙江省湖州市林科所苗圃地, 地理坐标为 30°22' ~ 31°11' N, 119°14' ~ 120°29' E。红壤, 土层深厚, pH 值 5.18 ~ 5.46, 土壤容重 0.83 ~ 1.25 g · cm⁻³, 速效钾和速效磷含量分别在 65.0 ~ 113.1 mg · kg⁻¹ 和 53.0 ~ 137.0 mg · kg⁻¹ 之间, 全氮含量在 0.80 ~ 1.12 g · kg⁻¹, 有机质含量在 13.66 ~ 21.30 g · kg⁻¹ 之间。圃地浇灌方便, 排水良好, 交通便利。试验地属亚热带季风气候区, 年日照时数 1850 ~ 2130 h, 年降水量 1050 ~ 1850 mm, 年平均气温 12.2 ~ 16.1 °C, 1 月份均温 -0.3 ~ 3.6 °C, 7 月均温 24.4 ~ 28.6 °C, 10 月活动积温在 3810 ~ 5130 °C · d, 无霜期 224 ~ 246 d。

* 1997 ~ 1999 年浙江省教育委员会资助项目“喜树地理种源研究(编号 97124)”的部分内容。
1999-02-11 收稿。

1.2 采种及种子贮藏

采种时间1995年11月上中旬, 母树年龄20~25 a, 其中3号福建屏南种源提前到10月上旬采集, 以作采种时间的对比试验。采集的种子, 除去杂物, 室内晾干, 在气干状态下, 放置在布袋中, 搁置在通风干燥的室内, 贮藏一个冬季, 未发现种子变质现象。共取得10个省的18个种源, 即1号广东广州, 2号广东乐昌, 3号和4号福建屏南, 5号浙江临安, 6号浙江开化, 7号安徽东至, 8号、9号和10号江西南昌, 11号和12号湖南长沙, 13号和14号贵州贵阳, 15号云南昆明, 16号湖北武昌, 17号江苏南京, 18号浙江丽水。分别对各种种子批进行种子品质检验^[1]。

1.3 播种育苗和试验设计

1996年3月初, 全面整地, 施足基肥: 复合肥 $75.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$; 土壤消毒, 施呋喃丹 $1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$; 筑苗床, 宽1 m, 步道宽35 cm, 深25 cm; 3月12日条播, 行距35 cm, 在1 m长的播种行内播种子20粒左右, 播种量 $6.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。覆土厚度1.5 cm, 盖上稻草。

田间试验采取18个种源顺序排列的试验设计^[2], 5次重复, 每个小区3行60粒种子。具体的试验设计方案见表1。

表1 试验设计方案

		一般育苗区																			
保护 行区	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	保护 行区		
	3	2	1	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4			
	6	5	4	3	2	1	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7			
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	18	17	16	15	14	13	12	11			
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	18	17	16	15			
		一般育苗区																			

1.4 生物量测定

分析材料为1年生喜树苗, 于1996年11月上旬采样, 试验区内每行苗木中随机抽取2株样, 每个种源共采样30株, 18个种源共取得540株作为研究样本。挖取地下部分并分别测出样株的地径、苗高、枝下高、冠高; 然后去叶、剪枝、剥皮并分别称出干、枝、叶、根和皮的鲜质量; 置烘箱中 $70 \text{ } (\pm 1) 48 \text{ h}$ 后称量, 后每隔3 d称量1次, 出现3次称量一致时记下干物质量(以下各表中所示生物量均为烘干质量)。

2 结果与分析

2.1 生物量及其比例

综合18个种源的540个样本数据(表2), 可以看出, 在各器官生物量中, 干、叶的生物量的比例最大, 根次之, 枝、皮的生物量占的比例较小。

表2 540株喜树苗各器官生物量总和及其所占比例

项目	干	枝	叶	根	皮	总生物量
生物量/g	6 594.33	2 052.90	6 865.13	5 076.55	1 733.98	22 322.89
比例/%	29.54	9.20	30.75	22.74	7.77	100.00

2.1.1 不同种源1年生苗木的生物量及其分配 通过对每一种源30株苗的生物量对比分析(表3)可以看出: 各种源中, 生物量以4号、8号、9号、11号和12号最大; 与其它种源相比, 叶

片生物量占总生物量比例较大的有3号、8号和15号种源,可以作为提取喜树碱的优良种源,其中8号种源总生物量和叶生物量都最大,可作为最佳种源。

2.1.2 不同种源1年生苗木的生物量比较^[3,4] 不同种源1年生苗木的总生物量和各器官生物量经方差分析后可以看出,差异均达到极显著水平(表4)。

表3 喜树种源各器官生物量(30株1年生苗总计)及其分配

种源	项目	干	枝	叶	根	皮	总生物量	种源	项目	干	枝	叶	根	皮	总生物量
1	生物量/g	336.56	103.08	335.59	214.88	97.94	1088.05		比例/%	30.82	8.73	29.77	22.93	7.76	100
	比例/%	30.93	9.47	30.84	19.74	9.00	100	11	生物量/g	416.56	148.79	504.34	388.74	124.04	1582.47
2	生物量/g	263.50	90.59	238.64	246.58	87.22	917.53		比例/%	26.32	9.40	31.87	24.57	7.84	100
	比例/%	28.73	9.87	26.01	26.87	8.53	100	12	生物量/g	441.46	152.70	504.40	358.57	104.32	1561.45
3	生物量/g	207.19	74.27	268.86	184.15	61.61	796.08		比例/%	28.27	9.78	32.30	22.97	6.68	100
	比例/%	26.03	9.33	33.77	23.13	7.74	100	13	生物量/g	381.55	141.77	408.16	257.48	97.02	1285.98
4	生物量/g	488.49	185.79	464.98	412.81	126.24	1678.31		比例/%	29.67	11.02	31.74	20.02	7.54	100
	比例/%	29.11	11.07	27.71	24.60	7.52	100	14	生物量/g	412.51	58.30	332.45	200.89	96.41	1100.56
5	生物量/g	313.50	88.38	299.21	279.26	90.81	1071.16		比例/%	37.48	5.30	30.21	18.25	8.76	100
	比例/%	29.27	8.25	27.94	26.07	8.48	100	15	生物量/g	355.69	90.48	381.21	197.39	79.33	1104.10
6	生物量/g	307.49	89.27	325.83	220.02	79.19	1018.80		比例/%	32.22	8.19	34.53	17.88	7.19	100
	比例/%	30.18	8.76	31.98	21.60	7.48	100	16	生物量/g	374.51	119.49	433.41	336.26	104.04	1367.71
7	生物量/g	342.62	78.86	327.40	277.29	81.52	1107.69		比例/%	27.38	8.74	31.69	24.59	7.61	100
	比例/%	30.93	7.12	29.56	25.03	7.36	100	17	生物量/g	372.45	73.00	248.23	233.81	100.71	1028.20
8	生物量/g	495.74	188.09	580.05	312.72	118.11	1694.71		比例/%	36.22	7.10	24.14	22.74	9.79	100
	比例/%	29.25	11.10	34.23	18.45	6.79	100	18	生物量/g	341.51	109.07	372.30	286.89	91.17	1200.94
9	生物量/g	371.53	155.78	481.24	392.38	112.76	1513.69		比例/%	28.44	9.08	31.00	23.89	7.59	100
	比例/%	24.54	10.29	31.79	25.92	7.45	100	合	生物量/g	6594.33	2052.90	6865.13	5076.55	1733.98	22322.89
10	生物量/g	371.47	105.19	358.83	276.43	93.54	1205.46	计	比例/%	29.54	9.20	30.75	22.74	7.77	100

表4 喜树生物量方差分析

器官	离差来源	平方和	均方	F值
干	种源间	2 889.627	169.978	3.87**
	机误	22 952.040	43.969	
枝	种源间	869.501	51.147	3.94**
	机误	6 774.212	12.977	
叶	种源间	5 265.961	309.762	4.83**
	机误	33 418.850	64.021	
根	种源间	2 878.686	169.334	5.04**
	机误	17 545.930	33.613	
皮	种源间	168.825	9.931	5.34**
	机误	970.629	1.859	
总计	种源间	40 511.780	2 383.046	4.27**
	机误	291 283.100	558.014	

注: $F_{0.05}(17, 522) = 1.67$, $F_{0.01}(17, 522) = 2.04$ 。

为了进一步检验不同种源1年生苗生物量两两间的差异性,进行了多重比较检验(可靠性95%),考虑到喜树碱的含量主要分布在叶、皮、根等器官部分,表5仅列出了根、皮、叶生物量和总生物量这4个部分的检验结果。结果表明:无论对总生物量均值还是对叶、根、皮各器官生物量均值来说,4号、8号、11号、12号种源处于第1~2水平,而处最差水平的有2号、3号、6号、17号种源。最好种源8号的叶、根、皮的生物量和总生物量均值,分别为最差种源3号的215.85%,169.71%,192.20%,212.85%。

表 5 喜树 1 年生苗生物量均值 LSD 检验

(g · 株⁻¹)

种 源	根平均值	种 源	皮平均值	种 源	叶平均值	种 源	总平均值
4	13.76	4	4.21	8	19.34	8	56.49
9	13.08	11	4.13	12	16.81	4	55.94
11	12.96	8	3.94	11	16.71	11	52.65
12	11.95	9	3.76	9	16.04	12	52.05
16	11.21	12	3.48	4	15.50	9	50.45
8	10.42	16	3.47	16	14.45	16	45.59
18	9.56	17	3.36	13	13.61	13	42.87
5	9.31	1	3.26	15	12.71	10	40.18
7	9.24	13	3.23	18	12.41	18	40.03
10	9.21	14	3.21	10	11.96	7	36.92
13	8.58	10	3.12	1	11.19	15	36.81
2	8.22	18	3.04	14	11.08	14	36.68
17	7.79	5	3.03	7	10.91	1	36.27
6	7.33	7	2.72	6	10.86	5	35.71
1	7.16	15	2.64	5	9.97	17	34.27
14	6.70	2	2.61	3	8.96	6	33.96
15	6.58	6	2.54	17	8.27	2	30.58
3	6.14	3	2.05	2	7.95	3	26.54

注: $Q_{0.05}(18, 522) = 4.93$ 。

2.2 生物量与地径和苗高的相关关系

生物的生长规律的重要特点之一是相对生长, 无论是群体与个体之间还是个体中的各个器官之间均存在这一规律。所以在实际工作中一般可以用较易测定的直径和树高来估测较难测定的各器官生物量。为探讨喜树苗期生物量与地径和苗高间的相关关系, 同时, 由于喜树碱在喜树叶内的含量较高, 试验更关注的是喜树总生物量和叶片生物量的估测, 因此, 分别对总生物量和叶片生物量建立了数学模型。

试验以调查所得的喜树 1 年生苗 18 个种源共 540 株苗木的测定值为依据, 参考了国内常见的生物量估测方法^{5,6}, 再结合林生明等⁷的研究, 挑选出 10 个比较适合生物量估测模型(见表 6)。采用麦夸特(Marguardt)迭代法进行计算, 根据相关系数(R)最大和剩余标准差(S)最小的选择原则, 筛选适合估测喜树 1 年生苗木生物量的方程式。

表 6 叶片生物量(m_1)与地径(D)和苗高(H)的回归方程

序号	回 归 方 程	参 数				剩余标准差 S	相关系数 R
		a	b	c	d		
1	$m = aD^bH^c$	2.596 8	2.266 1	0.271 9		4.115 7	0.874 1
2	$m = aD^b e^{H+dH}$	22.704 9	2.255 1	- 0.003 8	- 52.776 9	4.105 0	0.874 7
3	$m = aD^b$	8.813 0	2.318 9			4.171 3	0.870 4
4	$m = a + bD + cH$	- 19.530 3	26.538 0	0.023 6		4.229 2	0.866 5
5	$m = D^2(a + bH + cH^2)$	- 1.174 3	0.204 4	- 0.000 9		4.174 4	0.870 2
6	$m = a + D^2(b + cH + dH^2)$	- 2.190 0	3.079 1	0.148 0	- 0.000 7	4.076 4	0.876 6
7	$m = D^2(a + bH)$	6.325 7	0.035 4			4.201 0	0.868 4
8	$m = D^2/(a + bD + cD^2)$	0.312 5	- 0.280 0	0.089 7		4.057 6	0.877 8
9	$m = a(D^2H)^b$	0.104 1	0.994 1			4.493 7	0.847 7
10	$m = a + bD^2H$	- 9.565 2	0.100 0			4.493 7	0.847 7

2.2.1 叶片生物量 m_1 与地径 D 和苗高 H 的关系 比较表 6 各回归方程后发现, 根据筛选最佳估测方程的原则, 即要求相关系数(R) 最大和剩余标准差(S) 最小, 如考虑地径和苗高两个因子, 则以 6 式、2 式和 1 式为最好, 其中最佳模型为 $m_1 = a + D^2(b + cH + dH^2)$ 。如考虑地径一个因子, 则以 8 式为最佳, 即叶片生物量的最佳估测模型为: $m_1 = D^2/(a + bD + cD^2)$ 。

2.2.2 总生物量 m_2 与地径 D 和苗高 H 的关系 比较表 7 各回归方程后发现, 如考虑地径和苗高两个因子, 则以 6 式、2 式和 1 式为最好, 其中最佳模型为: $m_2 = a + D^2(b + cH + dH^2)$ 。如考虑地径一个因子, 则以 8 式为最佳, 即总生物量的最佳估测模型为: $m_2 = D^2/(a + bD + cD^2)$ 。

表 7 总生物量 (m_2) 与地径 (D) 和苗高 (H) 的回归方程

序号	回 归 方 程	参 数				剩余标准差 S	相关系数 R
		a	b	c	d		
1	$m = aD^bH^c$	4.938 8	2.141 0	0.395 3		9.846 6	0.918 0
2	$m = aD^b e^{cH + dH}$	46.440 6	2.135 7	- 0.000 4	- 37.638 6	9.840 9	0.918 1
3	$m = aD^b$	29.193 8	2.218 2			10.355 4	0.908 9
4	$m = a + bD + cH$	- 61.431 9	79.683 4	0.135 8		10.516 6	0.905 9
5	$m = D^2(a + bH + cH^2)$	2.361 1	0.480 5	- 0.001 8		9.915 6	0.917 0
6	$m = a + D^2(b + cH + dH^2)$	- 3.674 8	9.498 0	0.386 0	- 0.000 14	9.804 8	0.918 7
7	$m = D^2(a + bH)$	17.223 2	0.145 8			9.956 8	0.916 1
8	$m = D^2/(a + bD + cD^2)$	0.067 2	- 0.046 3	0.014 6		10.226 0	0.911 2
9	$m = a(D^2H)^b$	0.397 9	0.958 4			10.825 6	0.899 9
10	$m = a + bD^2H$	1.511 0	0.311 2			10.838 9	0.899 7

3 结 论

(1) 据对 18 个喜树种源 540 株苗木的测定分析, 1 年生苗木各器官生物量所占比例分别为: 干 29.54%, 枝 9.20%, 叶 30.75%, 根 22.74%, 皮 7.77%。其中以叶片部分所占比例最大。

(2) 从各种源苗期生物量大小角度分析, 18 个种源中, 以 4 号福建、8 号和 9 号江西、11 号和 12 号湖南种源生物量较大, 其中以 8 号江西南昌种源总生物量和叶片生物量为最大。

(3) 建立了用树高 (H) 和地径 (D) 估测喜树总生物量 (m_2) 和叶片生物量 (m_1) (烘干量) 的数学模型, 用 $m = aD^bH^c$, $m = aD^b e^{cH + dH}$, $m = a + D^2(b + cH + dH^2)$ 和 $m = D^2/(a + bD + cD^2)$ 4 个数学模型, 能较准确地估测喜树 1 年生苗的总生物量和叶片生物量。尤其用 $m = D^2/(a + bD + cD^2)$ 数学模型, 使用时更为方便。

参 考 文 献

- 姚建祥, 应叶青, 许绍远, 等. 喜树地理种源苗期优势分析. 浙江林学院学报, 1997, 14(2): 134 ~ 141.
- 马育华编著. 试验设计. 北京: 农业出版社, 1985. 360 ~ 365.
- 魏素梅, 谭天泳. 木麻黄地理种源的苗期试验. 林业科学研究, 1990, 3(2): 119 ~ 126.
- 高传璧, 郑芳楫, 任华东, 等. 黑荆树地理种源试验初报. 林业科学研究, 1989, 2(2): 171 ~ 175.
- 马钦彦. 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1 ~ 10.
- 叶镜中, 姜志林, 周本琳, 等. 福建省洋口林场杉木生物量的年变化动态. 南京林学院学报, 1984, 8(4): 1 ~ 9.
- 林生明, 徐土根, 周国模. 杉木人工林生物量的研究. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 288 ~ 294.

Study on Seedling-stage Biomass of Provenances of *Campotheca acuminata*

Zhou Guomuo¹⁾ Wu Jiasheng¹⁾ Ying Yeqing¹⁾ Yao Jianxiang²⁾

(¹⁾ Zhejiang Forestry College, 311300, Linan, Zhejiang, China; ²⁾ Forestry Institute of Huzhou City, Huzhou, Zhejiang, China)

Abstract Based on 540 one year old sample seedlings from 18 provenances of *Campotheca acuminata*, the biomass of different organs and the relevant relationship among different organs were analysed. The results indicate that the proportions of the biomass (dry) of stems, branches, leaves, roots and barks were 29.54%, 9.20%, 30.75%, 22.74% and 7.77% respectively, thus, the leaves has the highest proportion. Provenance 4 from Fujian, 8 and 9 from Jiangxi and 11 and 12 from Hunan has considerably high biomass, among which provenance 8 from Nanchang City, Jiangxi Province has both highest total biomass and leave biomass. The regression equations of biomass to diameter at the base (D) and height of seedlings (H) were established for estimating the leave biomass (m_1) and total biomass (m_2): The four regression equations $m = aD^bH^c$, $m = aD^b e^{cH + d/H}$, $m = a + D^2(b + cH + dH^2)$ and $m = D^2/(a + bD + cD^2)$, especially the regression equation $m = D^2/(a + bD + cD^2)$, can be used for estimating the leave biomass (m_1) and total biomass (m_2), with considerably accurate results.

Key words *Campotheca acuminata*; provenance; biomass; regression equations