

# 不同密度下大叶相思幼林的生长和生物量分配格局

黄丽铭, 薛立, 王相娥, 谢腾芳, 任向荣, 曹鹤

(华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**对密度为 1 667、4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup>的 2 年生大叶相思 *Acacia auriculiformis* 幼林的胸径、树高、冠幅生长进行了研究, 并采伐标准木, 用标准木的各器官干质量与胸径和树高的关系建立数学模型, 估测林分的生物量和平均木干质量。结果表明: 密度为 1 667、4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup>林分的平均胸径分别为 3.35、3.31 和 3.88 cm, 平均树高分别为 4.26、4.02、4.10 m, 平均冠幅分别为 2.11、1.73、1.26 m。密度为 4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup>林分的平均单株干质量相近, 显著小于 1 667 株·hm<sup>-2</sup>林分的平均单株干质量( $P < 0.0001$ ); 林分生物量则为 10 000 株·hm<sup>-2</sup>林分(27 600 kg·hm<sup>-2</sup>) > 4 444 株·hm<sup>-2</sup>林分(12 266 kg·hm<sup>-2</sup>) > 1 667 株·hm<sup>-2</sup>林分(6 701 kg·hm<sup>-2</sup>)。各器官生物量所占比率在密度为 10 000 和 4 444 株·hm<sup>-2</sup>的林分内为干 > 根 > 枝 > 叶 > 皮, 在密度 1 667 株·hm<sup>-2</sup>的林分内为干 > 根 > 叶 > 枝 > 皮。

**关键词:**密度; 大叶相思; 生长; 生物量

中图分类号: Q948; S18.55

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2008)03-0052-04

## Growth of Young *Acacia auriculiformis* Stands under Different Densities and their Biomass Allocation

HUANG Li-ming, XUE Li, WANG Xiang-e, XIE Teng-fang, REN Xiang-rong, CAO He

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Diameter at breast height, tree height and crown width of three 2-year-old *Acacia auriculiformis* stands with 1 667, 4 444 and 10 000 trees · hm<sup>-2</sup>, respectively, were measured; sample trees were cut and stand biomass and mean tree mass were estimated using mathematical models established by their organ dry mass and diameter at breast height and tree height relationships. Mean diameter at breast height of 1 667, 4 444 and 10 000 trees · hm<sup>-2</sup> stands were 3.88, 3.31 and 3.35 cm, respectively, and their mean tree heights were 4.26, 4.02 and 4.10 m, respectively, whereas their mean crown width were 2.11, 1.73 and 1.26 m, respectively. The mean dry mass of 4 444 trees · hm<sup>-2</sup> stand was close to that of 10 000 trees · hm<sup>-2</sup> stand, which was significantly lower than that of 1 667 trees · hm<sup>-2</sup> stand ( $P < 0.0001$ ). The order of stand biomass was 10 000 trees · hm<sup>-2</sup> stand (27 600 kg · hm<sup>-2</sup>) > 4 444 trees · hm<sup>-2</sup> stand (12 266 kg · hm<sup>-2</sup>) > 1 667 trees · hm<sup>-2</sup> stand (6 701 kg · hm<sup>-2</sup>). The proportion in different tree organs of 10 000 and 4 444 trees · hm<sup>-2</sup> stands was in the order of stem > root > branch > leaf > bark, while the order of 1 667 trees · hm<sup>-2</sup> stand was stem > root > leaf > branch > bark.

**Key words:** density; *Acacia auriculiformis*; growth; biomass

森林生物量可以反映群落生产力的高低, 也是研究森林生态系统物质循环的基础, 对全球碳循环具有十分重要的作用<sup>[1]</sup>, 因而受到较多的关注<sup>[2-7]</sup>。

森林密度是影响林木生长和生物量积累的重要因子。不同密度条件下的林木受到的竞争压力不同, 其林木生长和生物量会随之发生变化。目前, 有关森林

收稿日期: 2007-09-05

作者简介: 黄丽铭(1982—), 女, 硕士研究生; 通讯作者: 薛立(1958—), 男, 教授, 博士, E-mail: forxue@scau.edu.cn  
基金项目: 广东省林业局资助项目(4400-02084)

密度和竞争的研究较少<sup>[8-10]</sup>。大叶相思 *Acacia auriculiformis* 是含羞草科的速生常绿乔木树种,能通过固氮改良土壤,是我国热带和南亚热带地区荒山绿化的主要树种之一。对3种不同密度的大叶相思林的生长和生物量进行研究,可以了解大叶相思林的密度效应,为其科学管理提供依据。

## 1 试验地概况与研究方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于广东省惠州市惠城区小金口镇。本区地处低纬度,北回归线以南,属南亚热带季风气候。年平均气温19.5~22.1℃,7月平均气温28.3℃,1月平均气温13.1℃,极端最高气温38.9℃,极端最低气温-1.9℃,积温7620.6℃,无霜期350~357 d。年平均降雨量1690~2380 mm,多集中在4—9月,占年降雨量的80%~85%。前茬林分类型主要是马尾松次生林和飞播林,土壤为赤红壤,呈强酸性。试验地坡向为东坡,坡度30°。造林时的土壤有机质、全氮、全磷和全钾分别为15.64、0.69、0.61和24.09 g·kg<sup>-1</sup>,有效氮、有效磷和有效钾分别为45.63、2.57和58.87 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[11]</sup>。

### 1.2 林木生长性状调查

2003年春季营造密度分别为10 000、4 444和1 667株·hm<sup>-2</sup>的大叶相思林各0.2 hm<sup>2</sup>,在每种密度的林分中建立20 m×20 m的样地,设立3个重复。2005年4月对林分进行常规调查,测定内容包括林木的胸径、树高和冠幅。调查时各林分的保存率均为100%,10 000、4 444和1 667株·hm<sup>-2</sup>林分的郁闭度分别为1.0、0.8、0.7。在各密度林分中按径阶分布随机抽取10株标准木,伐倒并挖出根系,分别对根、干(去皮)、皮、枝、叶测定鲜质量。取标准木各器官样品,在烘箱内80℃下烘24 h至恒质量后,称其干质量,得到30株大叶相思各器官的干质量,并采用各器官干质量( $m$ )与胸径( $D$ )及树高( $H$ )关系的数学模型 $m = a(D^2 H)^b$ ( $a$ 和 $b$ 为系数)<sup>[12]</sup>,分

别对不同密度不同器官建立回归方程,并依此系列方程估测林木的干质量和林分的生物量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同密度大叶相思幼林的生长性状

2.1.1 胸径 密度越大,树木生长可利用的环境空间越小,对光线、水分及营养的吸收利用越受到限制。由图1a可知,1 667株·hm<sup>-2</sup>密度下的林木平均胸径是3.88 cm,分别比10 000和4 444株·hm<sup>-2</sup>林分的林木平均胸径大16%和17%。10 000株·hm<sup>-2</sup>密度的林木平均胸径为3.35 cm,与平均胸径最小的4 444株·hm<sup>-2</sup>密度林木的平均胸径(3.31 cm)相近,其原因可能是10 000株·hm<sup>-2</sup>密度的林分完全郁闭,几乎没有林下植被,可利用资源的竞争发生在林木之间,4 444株·hm<sup>-2</sup>密度的林分林下杂草较繁茂,林木和杂草水肥竞争激烈。通过Duncan's检验可知,1 667株·hm<sup>-2</sup>密度的林木平均胸径与其他2种密度的林木平均胸径间均存在显著差异( $P < 0.0001$ )。

2.1.2 树高 1 667株·hm<sup>-2</sup>密度的林木平均树高是4.26 m,分别比4 444和10 000株·hm<sup>-2</sup>密度的林木平均树高高出11.81%和3.9%(图1b)。已有研究表明,任何条件下,密度对树高生长的作用,比对其他生长指标的作用要弱,在相当宽的一个中等密度范围内,密度对高生长几乎不起作用<sup>[13]</sup>。本研究表明,树高生长与密度的关系无明显规律,不同密度处理间的树高变化没有显著差异(Duncan's检验, $P = 0.0579$ )。

2.1.3 冠幅 平均冠幅随着密度的增大而减小,1 667株·hm<sup>-2</sup>密度下的林木平均冠幅最大(2.11 m),分别比4 444和10 000株·hm<sup>-2</sup>密度林木的平均冠幅增大21.97%和67.46%(图1c)。随着空间的变小,使得枝叶的伸展受到限制,冠幅变小。通过Duncan's检验可知,密度10 000和1 667株·hm<sup>-2</sup>的冠幅之间存在极显著差异( $P < 0.0001$ )。

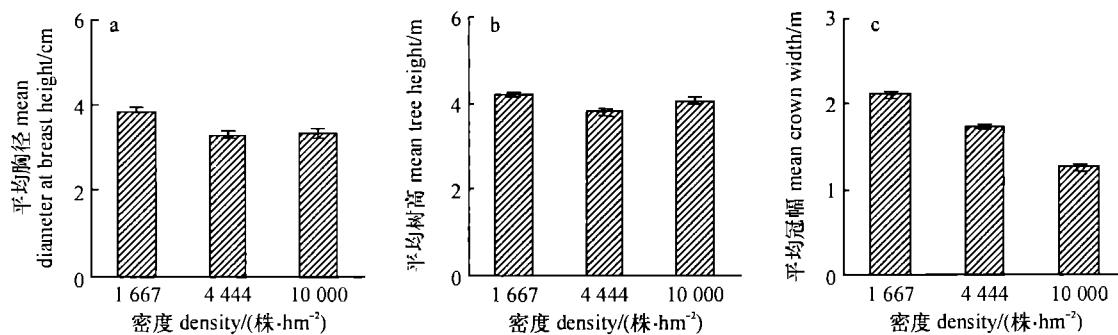


图1 不同密度下大叶相思幼林的平均胸径、平均树高和平均冠幅

Fig. 1 Mean diameter at breast height, mean tree height and mean crown width of young *Acacia auriculiformis* stands under different densities

## 2.2 单株干质量和林分生物量

依据数学模型  $m = a(D^2H)^b$  对不同密度不同器官建立的回归方程见表1,由表1可知,该系列方程的  $P$  值都小于 0.05,达到了显著水平,故以此估测林木的干质量和林分的生物量.

表1 不同密度下大叶相思幼林各器官的干质量方程  
Tab. 1 Equations of organ dry mass of young *Acacia auriculiformis* stands at different densities

| 密度 density/<br>(株·hm <sup>-2</sup> ) | 器官 organs | 回归方程 equation                 | R <sup>2</sup> | P       | 样本数 samples |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------------|----------------|---------|-------------|
| 1 667                                | 枝         | $m = 0.01597(D^2H)^{0.82480}$ | 0.9581         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 叶         | $m = 0.02089(D^2H)^{0.77830}$ | 0.6539         | 0.0046  | 10          |
|                                      | 干         | $m = 0.03022(D^2H)^{0.93452}$ | 0.8715         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 皮         | $m = 0.00654(D^2H)^{0.93372}$ | 0.8684         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 根         | $m = 0.07754(D^2H)^{0.57942}$ | 0.8300         | 0.0002  | 10          |
| 4 444                                | 枝         | $m = 0.01315(D^2H)^{0.92303}$ | 0.9570         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 叶         | $m = 0.00415(D^2H)^{1.16321}$ | 0.9752         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 干         | $m = 0.03396(D^2H)^{0.92957}$ | 0.9773         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 皮         | $m = 0.00726(D^2H)^{0.92806}$ | 0.9789         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 根         | $m = 0.01191(D^2H)^{0.96606}$ | 0.9841         | <0.0001 | 10          |
| 10 000                               | 枝         | $m = 0.01702(D^2H)^{0.81149}$ | 0.7880         | 0.0006  | 10          |
|                                      | 叶         | $m = 0.00618(D^2H)^{0.97541}$ | 0.7109         | 0.0022  | 10          |
|                                      | 干         | $m = 0.02727(D^2H)^{0.96355}$ | 0.9707         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 皮         | $m = 0.00582(D^2H)^{0.96354}$ | 0.9707         | <0.0001 | 10          |
|                                      | 根         | $m = 0.01283(D^2H)^{0.92982}$ | 0.7753         | 0.0008  | 10          |

1 667 株·hm<sup>-2</sup> 林分的平均单株干质量大于 4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 林分的平均单株干质量(表2). 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 林分的林木生长充分,胸径、树高和冠幅都最大; 4 444 株·hm<sup>-2</sup> 林分的林木胸径和树高最小,冠幅中等, 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 林木的冠幅最小, 所以这 2 种密度林分的单株干质量也小. 4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 林分的平均单株各器官干质量相近, 明显小于 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的林分, 表明前 2 种密度不利于枝、叶、干、皮、根的生长. 这与密度竞争效应的一般规律相一致, 即密度大的林分对光照、水分和养分资源竞争激烈, 使个体增长率降低, 生长变慢, 而密度的减小使幼树的生长空间增大, 苗木可以获得更多的光照及水、养分资源, 干质量增长加快.

10 000 株·hm<sup>-2</sup> 林分的各器官生物量分别为 1 667 和 4 444 株·hm<sup>-2</sup> 林分的 3.2~4.7 倍和 1.8~2.4 倍, 林分生物量分别为后二者的 4.1 倍和 2.3 倍, 表明密度是决定林分生物量的主要因素. 劳动力充裕的情况下, 可种植密度为 10 000 株·hm<sup>-2</sup>, 主伐前进行间伐, 可收获最大的林分生物量.

各器官生物量分配比率在密度 10 000 和 4 444 株·hm<sup>-2</sup> 的林分内均为干>根>枝>叶>皮, 在密度 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的林分内为干>根>叶>枝>皮. 3 种密度下的干、根、枝、叶、皮的比率分别为

表2 各密度大叶相思幼林单株干质量和各器官生物量

Tab. 2 Mean tree dry mass and organ biomass of young *Acacia auriculiformis* stands at different densities

| 密度 density/<br>(株·hm <sup>-2</sup> ) | 单株干质量 single tree dry mass/(kg·株 <sup>-1</sup> ) |        |        |        |        |          | 林分生物量 <sup>1)</sup> stands biomass/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |            |            |             |            |              |
|--------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|----------|---|------------|------------|-------------|------------|--------------|
|                                      | 枝 branch   | 叶 leaf | 皮 bark | 干 stem | 根 root | 全株 total | 枝 branch  | 叶 leaf     | 皮 bark     | 干 stem      | 根 root     | 总计 total     |
| 1 667                                | 0.54   | 0.57   | 0.36   | 1.66   | 0.89   | 4.01     | 900(13%)  | 950(15%)   | 600(9%)    | 2 767(41%)  | 1 484(22%) | 6 701(100%)  |
| 4 444                                | 0.45   | 0.38   | 0.25   | 1.19   | 0.49   | 2.76     | 2 000(16%)  | 1 689(14%) | 1 111(9%)  | 5 288(43%)  | 2 178(18%) | 12 266(100%) |
| 10 000                               | 0.42   | 0.30   | 0.27   | 1.26   | 0.51   | 2.75     | 4 200(15%)  | 3 000(11%) | 2 700(10%) | 12 600(45%) | 5 100(19%) | 27 600(100%) |

1) 圆括号内数据为相应各器官生物量占林分总生物量的比例

41%~45%、18%~22%、13%~16%、11%~15%、9%~10%. 与密度较大的林分相比, 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 林分的叶和根的干质量比率大, 而枝和干的干质量比率小.

## 2.3 大叶相思幼林地下部分与地上部分干质量之比

地下部分干质量是指林木的地下器官(如根、块茎及鳞茎等)的干质量, 地上部分干质量是指林木的地上器官干质量, 包括枝、叶、干、皮. 由图2可知, 密度从小到大的大叶相思幼林的地下部分干质量与地上部分干质量之比( $m_R:m_S$ )依次为 0.2845、0.2142、0.2292. Tilman<sup>[14]</sup> 和 Huston 等<sup>[15]</sup> 学者研究认为,

植物地下部分与地上部分生物量的大小反映植物对土壤养分或光照的需求和竞争能力. 地下部分与地上部分干质量之比大, 反映出对养分的需求和竞争能力强. 地下部分与地上部分干质量之比小, 反映出对光照的需求和竞争能力强<sup>[16]</sup>.

1 667 株·hm<sup>-2</sup> 林分的  $m_R:m_S$  最大, 说明在此密度下光照充足, 大叶相思以竞争地下的水肥为主; 在 4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 密度下该比值小, 说明其主要是竞争光照, 具有更强的地上竞争能力. 这与后两者郁闭度大、林木个体受到光照少有关.

通过 Duncan's 多重极差检验可以得知, 密度 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的  $m_R:m_S$  显著大于密度 10 000 和

4 444 株·hm<sup>-2</sup> 的  $m_R:m_S (P = 0.003 6)$ .

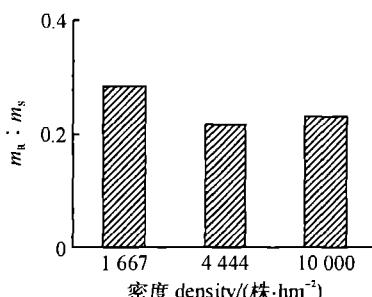


图2 不同密度大叶相思幼林地下干质量( $m_R$ )与地上干质量( $m_S$ )的比值

Fig. 2 Ratio of underground dry mass to aboveground dry mass in young *Acacia auriculiformis* stands under different densities

### 3 结论

大叶相思属于喜光、干形较通直的树种。1 667 株·hm<sup>-2</sup> 密度的林分郁闭度仅 0.7, 光照充足, 个体竞争小, 林木的胸径、树高和冠幅生长都是最好的, 林木个体健壮, 生长稳定, 干形良好。4 444 株·hm<sup>-2</sup> 密度的林分胸径和树高最小, 原因是林分没有达到完全郁闭, 光照较充足, 使得林下的杂草生长明显比其他密度的林分旺盛, 与幼树争夺水肥, 影响了后者的生长。10 000 株·hm<sup>-2</sup> 密度的林分中, 林木的生长空间小, 枝叶横向扩展受阻, 冠幅小, 由于林分过密, 立木横向生长阻力大, 促进其向上生长, 因而树高较大, 但是树干纤细、树冠狭窄。

4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 林分的平均单株干质量相近, 显著小于 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 林分的平均单株干质量; 林分生物量则为 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 的林分 (27 600 kg·hm<sup>-2</sup>) > 4 444 株·hm<sup>-2</sup> 的林分 (12 266 kg·hm<sup>-2</sup>) > 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的林分 (6 701 kg·hm<sup>-2</sup>), 表明密度是决定林分生物量的主要因素。3 种林分中, 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的林分水肥竞争激烈, 而 4 444 和 10 000 株·hm<sup>-2</sup> 的林分光照竞争激烈。所以对 1 667 株·hm<sup>-2</sup> 的林分要及时补充养分, 而对后两者适度间伐, 对促进生长效果较好。

### 参考文献:

- [1] 薛立, 杨鹏. 森林生物量研究综述 [J]. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 283-288.
- [2] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 等. 内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究 [J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1450-1456.
- [3] 罗大庆, 郑维列, 王景生, 等. 西藏米拉山白桦种群生物量和生长量研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1329-1333.
- [4] 刘其霞, 常杰, 江波, 等. 浙江省常绿阔叶生态公益林生物量 [J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2139-2144.
- [5] 李轩然, 刘琪, 陈永瑞, 等. 千烟洲人工林主要树种地上生物量的估算 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1382-1388.
- [6] 杨昆, 管东生. 珠江三角洲地区森林生物量及其动态 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 705-712.
- [7] 漆良华, 张旭东, 周金星, 等. 马尾松飞播林生物量与生产力的变化规律与结构特征 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(3): 344-349.
- [8] XUE Li, HAGIHARA A. Growth analysis of the self-thinning stands of *Pinus densiflora* Sieb [J]. et Zucc Ecol Res, 1998, 13: 183-191.
- [9] XUE Li, HAGIHARA A. Growth analysis on the competition-density effect in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) and Masson pine (*Pinus massoniana*) stands [J]. For Ecol Manage, 2001, 150: 331-337.
- [10] XUE Li, HAGIHARA A. Growth analysis on the C-D effect in self-thinning Masson pine (*Pinus massoniana*) stands [J]. For Ecol Manage, 2002, 165: 249-256.
- [11] 许松葵, 王相蛾, 谢腾芳, 等. 不同密度大叶相思幼林对土壤肥力的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(2): 79-81.
- [12] 薛立, 罗山. 宜山杉木人工林生态系统养分含量和分布的研究 [J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(1): 24-26.
- [13] 沈国舫. 森林培育学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 65-70.
- [14] TILMAN D. Plant strategies and the structure and dynamics of plant communities [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988: 52-97.
- [15] HUSTON M A, SMITH T M. Plant succession: life history and competition [J]. American Naturalist, 1987, 130: 168-198.
- [16] 王军邦, 王政权, 胡秉民, 等. 不同栽植方式下紫椴幼苗生物量分配及资源利用分析 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 677-683.

【责任编辑 李晓卉】