

# 武夷山国家级自然保护区 黄山松天然林自然稀疏规律研究

蔡小英, 洪伟\*, 吴承祯, 张艳艳, 郭研, 夏鑫,  
张彩云, 林存炎, 邓慧华, 张尚炬, 钱永平, 张文娟

(福建农林大学林学院, 福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室, 福州 350002)

**摘要:**选择平均直径、平均木断面积和林分总断面积作为林木个体大小的指标, 研究林木株数与林木大小的关系。应用-3/2法则, 建立黄山松天然林自然稀疏过程中林分密度与平均直径、平均木断面积、总断面积的相关关系。结果表明:黄山松天然林种群密度对林分平均胸径、平均木断面积、林分总断面积均存在显著作用。因此, 在经营黄山松天然林时, 必须切实重视林分密度控制管理。

**关键词:**黄山松; 天然林; 自然稀疏; 总断面积

中图分类号: Q948.121

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)05-0414-05

## The Self-thinning Law of *Pinus taiwanensis* Natural Forest in Wuyishan National Nature Reserve

CAI Xiao-ying, HONG Wei\*, WU Cheng-zhen, ZHANG Yan-yan,  
GUO Yan, XIA Xin, ZHANG Cai-yun, LIN Cun-yan, DENG Hui-hua,  
ZHANG Shang-ju, QIAN Yong-ping, ZHANG Wen-juan

(College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University; Key Laboratory for Forest Ecosystem  
Process and Management of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** The mean diameter, mean basal area of individual and total basal area of stands were collected as the indices for studying the relationship between the number of trees and the size. Based on the famous -3/2 power rule, the equations were established on the relationship between density of stand and the mean diameter, mean basal area of individual and total basal area of stands in the process of the self-thinning of *Pinus taiwanensis* natural forest. The results showed that the population density of *P. taiwanensis* natural forest had significant effect on the mean diameter, mean basal area of individual and total basal area of stands. Therefore attention should be paid to control stand density in the management of *P. taiwanensis* natural forest.

**Key words:** *Pinus taiwanensis*; Natural forest; Self-thinning; Total basal area

在结构复杂、种类丰富的植物群落中, 植物种群的数量变化受到多种因素的影响, 其中影响最大的是生物竞争。一般来说, 种群大小受两方面控制: 一是种群密度的压力导致种内竞争; 二是不同种群争夺有限资源而导致种间竞争。植物种内竞争的结果将出现自疏现象, 种间竞争的结果可能导

致它疏现象的发生。林木密度反映了林木对其空间的利用程度, 是影响林分生长和木材产量的重要因子并在森林生态系统发挥其它功能作用中起着主导作用。自疏与密度制约关系的研究, 是植物种群生态学研究的一个重要领域。各国林学家提出了一系列的研究方法<sup>[1-7]</sup>, 其它学科的

收稿日期: 2007-09-14 接受日期: 2007-11-18

基金项目: 福建省林业重大专项(2006NZ0001A); 省重大自然科学基金项目(20017007)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

研究方法也渗入到林分密度研究中来<sup>[8-11]</sup>。在种群生态学研究,种群密度问题一直是核心研究内容之一<sup>[10,12-13]</sup>。

林木生长发育受遗传和环境因子的共同影响。在遗传、气候、土壤等因子基本相同的同龄林中,林分的生长主要受制于林分个体的数量,因此,林分密度不失为一个合理的指标。此外,林分密度的测量方法简便,是造林和森林经营中常用的尺度,常作为自变量用于生长和收获模型。由于林分密度对胸径的影响最为明显,两者的关系是编制数表的理论基础之一,所以营林工作的重点也放在密度控制上<sup>[6]</sup>。

黄山松(*Pinus taiwanensis*)又称台湾松,主要产于浙江西天目山海拔700~1200 m、台湾中央山脉海拔750~1800 m、福建中部及西部山区海拔1000~1500 m、安徽省南部、江西、湖南、湖北等省海拔700~1800 m的山地,为我国特有树种,是产区较高海拔山地重要的绿化和造林树种<sup>[14]</sup>。黄山松为喜光树种,干形通直且材质良好,强度和硬度较高,易更新,病虫害较少,生长持续时间长,宜于培育大径材,是优良的材用树种。前人曾对黄山松天然林开展了相关研究<sup>[15-17]</sup>,但是对其自然稀疏规律的研究未见报道。本文以武夷山自然保护区黄山松天然林为研究对象,探讨其自然稀疏规律,为黄山松林的合理经营提供依据。

## 1 研究区概况

福建省武夷山国家级自然保护区位于福建省武夷山、建阳、光泽、邵武四县(市)交界处,北部与江西省毗连。地处北纬27°33'~27°54',东经117°27'~117°51',总面积为56527 hm<sup>2</sup>。它是世界同纬度现存面积最大,保存最完整的中亚热带森林生态系统,1979年被国务院列为重点自然保护区。1987年加入联合国教科文组织“人与生物圈”计划的国际生物圈保留地网。本区气候属于典型的亚热带季风气候,年平均气温8.5~18℃,极端最低温-15℃,年降水量1486~2150 mm,年蒸发量1000 mm左右,相对湿度78%~84%,无霜期253~272 d。土壤类型主要有红壤、黄红壤、黄壤和山地草甸地,土壤呈酸性。区内植物种类丰富,群落类型多样。

黄山松林主要分布于海拔700~2150 m,组成纯林或与其他树种混生成林。本研究调查的黄山

松群落海拔在1550 m以上,乔木层主要由黄山松组成,此外还有南方铁杉(*Tsuga tchekiangensis*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)、黄山花楸(*Sorbus amabilis*)等。灌木层主要由波叶红果树(*Stranvaesia davidiana*)、满山红(*Rhododendron mariesii*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)、鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)等树种组成;草本层种类少。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

于2007年4月在武夷山自然保护区生长发育正常的黄山松林中设置20 m×20 m样地14个,记录每一样地环境概况,将每样地划分为5 m×5 m的小格子进行植株调查。调查样地内乔木层树种种名、树高、胸径(树高>1.3 m)、枝下高和冠幅;调查灌木层植物种名、高度、地径、株数、冠幅。以样地的两条边为坐标轴,测定样地的乔木层植物在样地中的坐标位置(x, y),且在样地内每100 m<sup>2</sup>选1株黄山松优势木,单株材积按适合该地区的二元材积表计算。

### 2.2 自然稀疏过程的数学模拟

在充分密集的林分里,随着林分的生长,林木相互竞争越来越激烈,导致劣势木枯死。Reineke<sup>[1]</sup>研究了林分密度(N)与平均直径(D)的关系;Yoda等<sup>[2]</sup>通过对单一植物种群产生自然稀疏现象的观察,提出了“自然稀疏-3/2法则”(-3/2 power law of plant self-thinning),描述了在充分拥挤的同龄植物种群中植物平均个体大小与密度的关系。

对于植物密度与个体大小的关系,有很多学者提出了反映个体大小的指标<sup>[1-2,10,18]</sup>。对林分而言,由于林分直径是造林和森林经营中常用的尺度,常作为自变量用于生长和收获模型,所以选择直径以及能够与直径相互换算的平均木断面积(g)、林分总断面积(G)作为个体大小的指标,对武夷山自然保护区黄山松天然林的自然稀疏规律进行模拟,模拟时采用双对数形式,并比较它们的特征。

### 2.3 数据处理与统计分析

计算每块样地的林分平均胸径(D)、总断面积(G)和平均木断面积(g),得到14个样本的基本情况。本文计算的G和g的单位分别为m<sup>2</sup>和cm<sup>2</sup>。

采用SPSS软件拟合上述回归,并进行显著性检验。

### 3 结果和分析

#### 3.1 平均直径与密度的关系

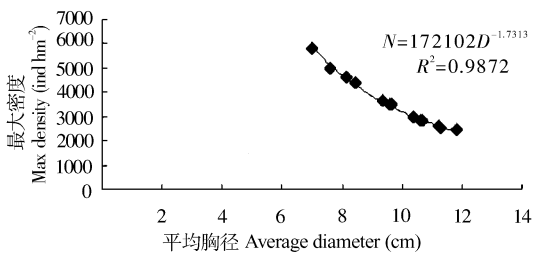
根据14块样地数据进行模拟,结果见图1,得到如下方程:

$$\log N = 5.2358 - 1.7313 \log D$$

$$(R^2 = 0.9872, P < 0.001) \quad (1)$$

$$\text{或 } \log D = 3.0138 - 0.5747 \log N$$

$$(R^2 = 0.9872, P < 0.001) \quad (2)$$



从方程(1)和(2)可以看出,这两个方程只是自变量和因变量的互换,没有本质区别。但方程(1)是Reineke表达式,而方程(2)是Yoda表达式的变形。也就是说Reineke表达式与Yoda表达式能够相互推导,这两个方程在表达林分自然稀疏规律时是相同的。方程(1)和(2)模拟结果的 $R^2 = 0.9872$ ,说明拟合效果极显著。

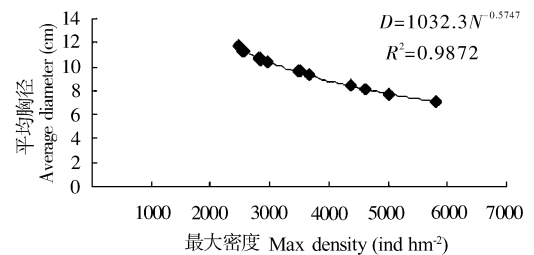


图1 林分最大密度与平均胸径的关系

Fig. 1 The relationship between maximal density and average diameter

#### 3.2 平均木断面积与密度的关系

平均木断面积与林分密度的模拟结果见图2,得到如下方程:

$$\log g = 5.9228 - 1.1493 \log N$$

$$(R^2 = 0.9872, P < 0.001) \quad (3)$$

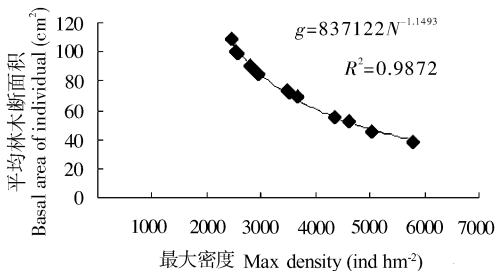


图2 平均林木断面积与最大密度的关系

Fig. 2 The relationship between average basal area of individual and maximum density

#### 3.3 林分总断面积与密度的关系

方程(1)和(2)中,由于林分平均直径 $D$ 不能直接测得,而是通过样地每株林木的实测胸径的平方和,除以株数 $N$ ,再开方而得。方程(3)中的 $g$ 也不是直接测得,而是通过 $G$ 除以 $N$ 而得。可见, $D-N$ 和 $g-N$ 在统计学上不是两对独立的变量, $D$ 和 $g$ 都依赖于 $N$ 。因此, $D$ 和 $N$ 之间以及 $g$ 和 $N$ 之间具有高的相关性。本研究模拟了林分总断面积 $G$ 与 $N$ 的关系(图3),得到:

$$\log G = 1.9228 - 0.1493 \log N$$

$$(R^2 = 0.8124, P < 0.001) \quad (4)$$

显然,方程(4)的决定系数比方程(3)有所降低,但 $G$ 与 $N$ 之间还是存在显著的相关关系( $P < 0.001$ )。

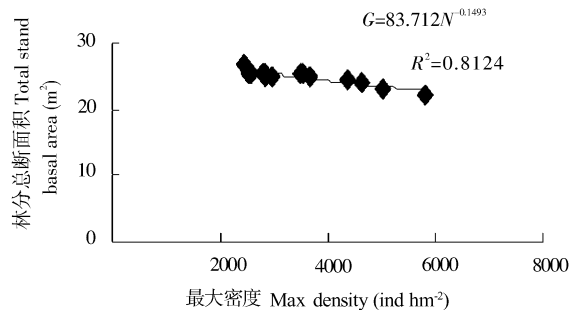


图3 林分总断面积与最大密度的关系

Fig. 3 The relationship between total stand basal area and maximum density

#### 3.4 黄山松天然林的自然稀疏规律的应用

通过自然稀疏调节的森林密度是森林在特定发育阶段所能“容纳”的“最大密度”,而不是“最适密度”。认识林木分化和自然稀疏规律是为了通过人为的间伐,使森林经常保持合理的密度;而那些生长落后的林木,在自然稀疏之前适时进行间伐利用。间伐实际上是一种代替自然稀疏过程的措施,其目的在于加速林木生长,缩短林分的培育周期。在生产实践上,森林的经营郁闭度要根据森林培育

目标来决定。黄山松是重要的绿化和造林树种,作为优良的公益林,可用于防风固沙,保护沙地资源,改善生态环境,同时提供一定数目的木材或其他林产品。姜凤岐等<sup>[19]</sup>曾定义固沙林林分的郁闭度达到  $\pi/4$  时,为有效防护状态。据此,计算黄山松林分郁闭度达到  $\pi/4$  时,不同林分平均直径所对应的经营密度(表1)。

自然稀疏是通过淘汰生长势下降的个体实现的。很显然,林分随着年龄增加,其密度将逐渐减少。根据模拟方程(4),对黄山松天然林不同阶段的理论密度(最大密度)所对应的林分总断面积作了预测,并求算相应的林分平均直径,结果见表1。

表1 最大林分密度下的林分总断面积、最大平均直径与经营密度

Table 1 The maximum total stand basal area, maximum average diameter and management density under maximal density

最大密度 Max. density (ind hm <sup>-2</sup> )	林分总断面积 Total stand basal area (m <sup>2</sup> )	林分平均直径 Average diameter (cm)	经营密度 Management density (ind hm <sup>-2</sup> )
5000	23.47	7.7	3928
4500	23.84	8.2	3535
4000	24.27	8.8	3141
3500	24.75	9.5	2748
3000	25.33	10.4	2357
2500	26.03	11.5	1961
2000	26.91	13.1	1572
1500	28.09	15.4	1179
1000	29.85	19.5	786
500	33.10	29.02	393

## 4 讨论

林分发育到一定年龄阶段出现个体间的相互竞争作用,此林龄是初始立木度和林木生长率的函数。而后者又与树木、立地条件有关。在造林保存率一致的情况下,不同造林密度的林分,发生自然稀疏的年限不同。初植密度大的林分,发生竞争作用的时间早,自然稀疏出现的时间也早;初植密度小的林分,发生竞争作用的时间晚,自然稀疏出现的时间也晚。同样,生长在立地条件好的林分比相同初植密度下生长在立地条件差的林分,其发生竞争作用的时间早,因而也较早地出现自然稀疏。因此,对同一树种而言,初植密度和立地对自然稀疏的影响主要表现在对自然稀疏发生时间的迟早上。

也就是说,林分发生自然稀疏后,密度和林木个体大小之间的关系与初植密度和立地无关。

方程(3)和(4)在数学上是相等的,但在统计学上却不相等。 $g-N$  有两个主要的缺陷,其一,林分平均木断面积的  $Y$  变化会使人产生一种误导,因为平均木断面积的增加是通过两个途径实现的:①活立木的生长;②排除小的个体。因此,林分的平均木断面积增加速度比组成林分的单个个体的生长快,并且当小的个体死亡时,平均个体断面积也增加,即使活立木实际上并没有生长;而整个林分的断面积只通过生长才能增加,并随着死亡下降。因此, $G-N$  表达式能够更清楚地解释以上现象,并且它把注意力集中在由于死亡允许活立木生长加速的补偿上。其二,在方程(1)和(2)中,由于林分平均直径  $D$  不能直接测定,期而是通过样地每株林木的实测胸径的平方和,除以株数  $N$ ,再开方而得。方程(3)中的  $g$  也不是直接测得,而是由  $G$  除以  $N$  而得。因此, $D-N$  和  $g-N$  在统计学上不是两对独立的变量, $D$  和  $g$  都依赖于  $N$ 。

Westoby 认为<sup>[18]</sup>,植物的自然稀疏是受叶面积驱动的,而不是植物的重量。他发现在不同光照条件下,相同密度的同一植物种群,其个体平均重量不同;而用植物叶面积却能很好地反映植物种群的自然稀疏过程。对乔木树种而言,断面积能很好地反映自然稀疏过程<sup>[3]</sup>。

曾德慧等<sup>[3]</sup>对自然稀疏-3/2 法则进行评述,认为尽管没有充分证据证明斜率-3/2 存在的精确性,但它可以作为一个理想的常数;森林的自然稀疏不但具有规律性,而且具有复杂性和变异性;考虑到各种现实性(如自然稀疏过程不是连续的,各种干扰等),也允许实际的斜率与之存在差异,并深入研究这种差异。

黄山松天然林种群密度与林木大小的关系表明黄山松天然林种群密度对林分平均胸径、平均木断面积、林分总断面积均存在显著作用,这也为人工林的合理经营管理提供依据。因此,在经营黄山松天然林时,必须重视林分密度控制管理。对那些生长落后的林木,在自然稀疏之前适时进行人工间伐利用,使森林经常保持合理的密度,以促进林分形成一个合理的最优结构模式,有利于林分生长。

## 参考文献

- [1] Reineke L H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests [J]. J Agri Res, 1933, 46: 627-638.

- [2] Yoda K, Kira T, Qgawa H, et al. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions [J]. *J Biol Osaka City Univ*, 1963, 14: 107–129.
- [3] Zeng D H(曾德慧), Jiang F Q(姜凤岐), Fan Z P(范志平), et al. Self thinning of even aged pure plantations of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on sandy soil [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2000, 20(2): 235–242.(in Chinese)
- [4] Wu C Z(吴承祯), Hong W(洪伟), Yan S J(闫淑君). Experience model for self-thinning process of even-aged pure stands [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2005, 16(2): 233–237.(in Chinese)
- [5] Wu C Z(吴承祯), Hong W(洪伟). A study on the self-thinning law of Chinese fir plantation [J]. *Sci Sil Sin(林业科学)*, 2000, 36(4): 97–101.(in Chinese)
- [6] Osawa A, Allen R B. Allometric theory explains self-thinning of mountain beech and red pine [J]. *Ecology*, 1993, 74: 1020–1032.
- [7] West P W, Borough C J. Tree suppression and the place of the self-thinning rule in a monoculture of *Pinus radiata* D. Don. [J]. *Ann Bot*, 1983, 42: 149–158.
- [8] Zhang D Y(张大勇), Zhao S L(赵松岭). Studies on the model of forest population density change during self-thinning [J]. *Sci Sil Sin(林业科学)*, 1985, 21(4): 369–374.(in Chinese)
- [9] Fang J Y(方精云). An empirical model describing natural thinning process of plant population [J]. *Sci Sil Sin(林业科学)*, 1995, 31(3): 247–253.(in Chinese)
- [10] Enquist B J, Brown J H, West G B. Allometric scaling of plant energetics and population density [J]. *Nature*, 1998, 395: 163–165.
- [11] Petraitis P S. Use of average vs. total biomass in self-thinning relationships [J]. *Ecology*, 1995, 76: 656–658.
- [12] Hutchings M L, Budd C S. Plant competition and its course through time [J]. *BioScience*, 1981, 31: 640–645.
- [13] Pitelka L F. Application of the  $-3/2$  power law to clonal herbs [J]. *Amer Nat*, 1984, 123: 442–449.
- [14] The Editorial Committee of Fujian Forest(《福建森林》编辑委员会编著). *Fujian Forest* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993: 43–47.(in Chinese)
- [15] Hu Z H(胡正华), Yu M J(于明坚), Peng C Z(彭传正), et al. Study on the niche of the main tree population in *Pinus taiwanensis* forest in Gutian Mountain National Nature Reserve [J]. *Ecol Environ(生态环境)*, 2004, 13(4): 619–621, 629.(in Chinese)
- [16] Feng L(封磊), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承祯), et al. Research on the species diversity and spatial pattern of *Pinus taiwanensis* population in Wuyishan Mountain [J]. *Chin J Eco-Agri(中国生态农业学报)*, 2004, 12(3): 16–18.(in Chinese)
- [17] Song P(宋萍), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承祯), et al. Fractal characteristics of spatial pattern of natural *Pinus taiwanensis* population — correlation dimension [J]. *J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究)*, 2005, 23(1): 32–36.(in Chinese)
- [18] Westoby M. Self-thinning rule driven by leaf area not by weight [J]. *Nature*, 1977, 265: 330–331.
- [19] Jiang F Q(姜凤岐), Zeng D H(曾德慧), Zhu J J(朱教君). Fundamentals and technical strategy for sand fixation forest management [J]. *J Desert Res(中国沙漠)*, 1997, 17(3): 250–254.(in Chinese)