

# 天柱山黄山松种内与种间竞争的研究

段仁燕<sup>1,2</sup>, 黄敏毅<sup>1</sup>, 吴甘霖<sup>1</sup>, 涂云博<sup>2</sup>

(1. 安庆师范学院 生命科学系, 安徽 安庆 246011; 2. 陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062)

**摘要:** 采用改进的竞争指数模型研究安徽天柱山黄山松的种内和种间竞争强度。结果发现:(1)随对象木胸径的增大,黄山松种群因自然稀疏过程中密度调节作用,植株距离增加,种内竞争强度降低;(2)黄山松群落内其它物种虽然较多,但个体普遍较小,结果种间竞争相对较弱,种内与种间竞争关系顺序为:黄山松—黄山松>杉木—黄山松>栎类—黄山松>其它树种—黄山松;(3)竞争强度和对象木胸径的关系服从幂函数关系( $CI=AD^{-B}$ ),当黄山松胸径达到20 cm以上时,竞争强度变化不大,所得的预测模型能很好地预测黄山松种内和种间的竞争强度;(4)改进的竞争指数模型能很好地度量黄山松的种内和种间竞争强度,改进的确定邻体范围的方法能有效地确定黄山松的竞争范围。

**关键词:** 竞争指数; 黄山松; 种内竞争; 种间竞争

**中图分类号:** Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)01-0078-04

## Study on intraspecific and interspecific competition of *Pinus taiwanensis*

DUAN Ren-Yan<sup>1,2</sup>, HUANG Min-Yi<sup>1</sup>, WU Gan-Lin<sup>1</sup>, TU Yun-Bo<sup>2</sup>

(1. Department of Life Science, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China; 2. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** *Pinus taiwanensis* is a common species, and it is one of the dominant species in subtropical area. The intraspecific and interspecific competitions of *P. taiwanensis* were analyzed quantitatively by using the improved competition index. The results show that with the increase of the size of objective tree and the distance between plants, the intraspecific competition intensity decreases, because of the population density regulation during self-thinning. In the community, there are many other species, but their diameter at breast height is less than that of *P. taiwanensis*, as a result, the competition intensity of intraspecific was more excessive than that of interspecific. The order of competition intensity is *P. taiwanensis*—*P. taiwanensis*>*Cunninghamia lanceolata*—*P. taiwanensis*>*Quercus glandulifera*—*P. taiwanensis*> other species—*P. taiwanensis*. The relation between competition intensity and individual growth of objective tree follows closely the following equation  $CI=AD^{-B}$ , and the changing of competition intensity is very small when the diameter of the objective tree grows to 20 cm. The model can simulate and predict the intraspecific and interspecific competition efficiently. The study provides a new approach to measure the competition intensity and to ascertain the neighborhood zone on studying the plant competition.

**Key words:** competition index; *Pinus taiwanensis*; intraspecific competition; interspecific competition

自1961年Harper提出邻体干扰的概念以来,植物邻体干扰(neighborhood interference)的研究引起了各国生态学工作者的极大关注,已成为植物种群生态学研究的热点之一(Weiner, 1984)。在生

态学上,树种间的竞争是指利用有限资源个体间的相互作用,它既可在利用共同资源的不同物种间发生,也可在同种个体间发生。竞争往往导致相关个体的适合度下降,影响植物的存活、生长和形态建

收稿日期: 2006-07-17 修回日期: 2006-09-18

基金项目: 国家自然科学基金(30070083); 安徽省教育厅基金(2006kj154C); 安徽省教育厅青年基金(2006jql213)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30070083); Education Department of Anhui Province(2006kj154C, 2006jql213)]

作者简介: (1978-), 男, 湖北枣阳市人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事植物生态学方面的研究。

\* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: renyanduan@yahoo.com)

成。因此,研究植物种内、种间竞争一直是植物生态学研究的核心内容之一(Weiner, 1984)。一般用竞争指数度量植株间的竞争强度。国内常用的是张跃西(1993)的竞争指数,但在实际应用中发现存在着“1 m 效应”,这与植物间竞争的实际不符,因此该竞争指数存在着一定的改进空间。当环境中可利用的资源低于种群最佳生长需要时,种群内个体间就会产生竞争。Daniels(1976)认为植物地上部分的竞争主要集中在树冠范围尺度上,但地下部分竞争很分散,也很难预测。地上和地下部分的竞争状况不一致,若仅仅根据地上部分对光资源的竞争来确定竞争范围的话,其结果将很不准确。若确定的邻体范围偏大或偏小,都不能准确反映基株所受到的干扰状况。国内外学者对此已做了许多研究,不同学者持不同的观点。如何对现有竞争指数进行改进,以避免“1 m 效应”? 假定所有对某一基株产生竞争作用的植株都在以该基株为中心的一个圆形区域内,如何合理的确定这个区域范围,才能使所计算的竞争指数准确地反映该基株的邻体竞争强度?

黄山松是常见的针叶树种,分布范围广,生存能力强,是亚热带中部中山地区代表群系的建群种,也是较高海拔地区重要的造林树种,有较强的代表性。本文以安徽天柱山黄山松为对象,试图在原有理论的基础上,提出度量竞争强度的改进方法及确定竞争范围的方法,并探讨这些方法在黄山松群落种内种间竞争中的应用,旨在为邻体干扰研究中竞争指数的度量和邻体竞争范围的确定提供理论依据。

## 1 研究方法

### 1.1 数据采集

在全面考察黄山松的分布状况、了解其群落各种特征的基础上,选取有代表性的黄山松纯林和混交林样地各 5 块,共 10 块,每个样地面积为 40 m×40 m,在样地中进行逐株测定,记录下植株的坐标值,同时测定胸径、树高、枝下高和冠幅等,分别编号。

### 1.2 竞争指数的选择

目前有关植物间的竞争指数的研究较多,不同的学者提出了一些不同的模型(Bella, 1971; Connell, 1983)和改进模型(洪伟等, 1997)。但以张跃西(1993)根据生态学原理及自疏规律而提出的改进模型有较强的说服力(张跃西等 1999; 段仁燕等, 2004),

其计算式为:  $CI = \sum_{j=1}^N D_j^2 D_i^{-1} d_{ij}^{-2}$ , 式中,  $CI$  为竞争指数, 该值越大, 竞争越强烈;  $D_i$  为基株胸径;  $D_j$  为邻体胸径;  $d_{ij}$  为邻体与基株间的距离;  $N$  为邻体的株数。但在实际应用中发现, 基株附近距离小于 1 m 的邻体的竞争指数远大于超出 1 m 的竞争指数, 为了使数据更有可比性, 参照 Biging 等(1992)的相应植物邻体竞争指数的公式, 对此公式进行了改进, 其计算式为:  $CI = \sum_{j=1}^N D_j^2 D_i^{-1} (d_{ij} + 1)^{-2}$ , 各字母的意义同上式。

### 1.3 竞争范围的确定

本文通过选择其中的两块纯林样地, 从中选择对象木 20 株, 分别计测不同半径的圆内竞争木的竞争强度。转折点的确定, 主要采用分段拟合, 如果 2 个拟合方程均达到显著水平, 而且  $R^2$  的和最大, 则该点即为转折点。根据这个原则, 做出不同样圆半径与竞争强度间的回归关系图。通过作图发现在 5 m 处, 有一个明显的拐点。当范围大于 5 m 时, 竞争强度没有太大的变化; 而在小于 5 m 时, 竞争强度上升较快。因而, 本文认为最适宜的竞争范围为 5 m, 该方法所确定的竞争范围正好与自然状态下黄山松群落中的林窗大小相吻合, 也与植物间对光及水分等生态条件的竞争范围基本相符。

### 1.4 数据处理

根据野外调查测定的每株植物的坐标数据, 在计算机上绘制植物分布图。在每个样地的植物分布图中部随机选择 20 株黄山松为对象木(胸径  $\geq 5$  cm), 共 200 株, 其中不同基株的邻体存在一定程度的重复。根据坐标值计测这些竞争木与相应对象木之间的距离, 以 5 m 范围内所有的植株为竞争木, 计算出各对象木的竞争指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 对象木与竞争木特征

共调查对象木 200 株, 最小胸径 5.3 cm, 最大胸径 27.5 cm, 平均胸径 16.5 cm。将调查对象木按径级分组(表 1), 其中, 中小径级的黄山松占的比例较高, DBH 小于或等于 20 cm 占总株数的 89%, 200 株对象木的胸径分布显示出林木趋于小龄化。由于黄山松主要以纯林的形式分布, 虽然混交林内其他树种的种类很多, 但数量较少, 胸径较小。从表 2 可知竞争木(伴生树种)共 1 749 株, 主要有黄山松、杉木、枞栎, 但树种的组成比例有较大差异。还有其它一些树

种,但所占比例很小,没有全部列入。其中,除黄山松和杉木外,其它竞争木树种的胸径平均在 10 cm 内。

表 1 黄山松基株的胸径分布  
Table 1 DBH distribution of objective tree among *Pinus taiwanensis*

径级(cm) Diameter scale	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	合计 Total
株数 Number	64	56	48	24	8	200
百分比 Percentage(%)	32	28	24	12	4	100

表 2 竞争木的种类组成  
Table 2 Species of competitive trees

种类 Species	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	枞栎 <i>Quercus glandulifera</i>	其它 树种 Other species
胸径 DBH (cm)	5.01~27.5	7.25~23.6	5.89~15.8	5.09~19.6
平均胸径 Average DBH (cm)	15.8	12.9	8.9	7.6
株数 Number	1394	250	36	69
百分比 Percentage (%)	79.70	14.29	2.06	3.95

表 3 黄山松种内竞争强度  
Table 3 Intraspecific competition intensity of *P. taiwanensis*

径级 Diameter scale (cm)	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
竞争强度 Competition intensity	2.53	1.14	0.75	0.56	0.08
标准差 Standard deviation	1.01	0.92	0.42	0.15	0.03
样本数 Sample number	30	25	20	7	4

表 4 黄山松种间竞争强度  
Table 4 Interspecific competition intensity of *P. taiwanensis*

种类 Species	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	枞栎 <i>Quercus glandulifera</i>	其它 树种 Other species
竞争强度 Competition intensity	1.79	0.85	0.49	0.68
标准差 Standard deviation	0.48	0.21	0.17	0.19
样本数 Sample number	86	80	32	59

## 2.2 黄山松种内及其与伴生树种种间的竞争

黄山松在生长过程中,不断与其自身发生竞争,并因此产生自疏现象,然而黄山松种内竞争强度因对象木的径级不同而有很大的差别(表 3)。与伴生树种之间也存在着一定的竞争,但种间竞争强度因树种的不同也有很大的差别(表 4)。

当黄山松胸径小于 20 cm 时,正处于迅速生长期,林冠开始郁闭,密度调节发挥作用,争夺空间和资源的竞争激烈;而当胸径大于 20 cm 时,种群的

自然稀疏作用加大,树冠发育基本定型,植株距离加大,竞争强度随胸径的增大而逐渐减少,此时对象木高度较周围其它树木高,受到的遮挡较弱或几乎没有,主要表现为该植株对周围其它植株的竞争作用,受到其它植株的影响较少。这与邹春静等(1998)对沙地云杉(*Picea mongolica*)和吴巩胜等(2000)对水曲柳落叶松(Manchurian ash and Dahurian larch)种内和种间竞争关系的研究结果相似。黄山松种间竞争测定表明黄山松的种内竞争强度远高于与其它树种的种间竞争强度(表 4),说明黄山松以种内竞争为主,其它树种由于个体数量较少,除杉木外,其它的平均胸径都远小于黄山松,对黄山松不会产生较大的竞争影响。种内和种间的竞争顺序依次为:黄山松—黄山松>杉木>黄山松>枞栎—黄山松>其它树种—黄山松。这也与经典的竞争理论相一致,即在一定条件下,有相似要求的物种可共存的前提是种内竞争大于种间竞争(Martin 等,2001)。野外调查结果显示,黄山松林内植株径级都较小(表 1),受到的种内竞争较强。

表 5 竞争强度与对象木的胸径模型参数  
Table 5 Model parameters of competition intensity and DBH of objective tree

项目 Item	A	B	R <sup>2</sup>	显著性 Sig.
黄山松与整个林分 <i>P. taiwanensis</i> and forest	353.64	2.28	0.92	**
黄山松与伴生树种 <i>P. taiwanensis</i> and other species	165.04	2.35	0.87	*
黄山松种内 Intraspecific	189.52	2.23	0.94	**
黄山松与杉木 <i>P. taiwanensis</i> and <i>C. lanceolata</i>	105.23	2.34	0.68	*
黄山松与枞栎 <i>P. taiwanensis</i> and <i>Q. glandulifera</i>	35.77	2.51	0.61	*

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ 。

## 2.3 竞争强度与对象木的胸径关系及其预测结果

竞争能力受多种因素制约,包括生态需求、生态幅度、群落所处的演替阶段和个体大小等。其中个体胸径的大小对竞争能力影响较大,并且胸径是林分调查的基本因子。以竞争强度为因变量,以对象木胸径为自变量,采用线性、双曲线、幂函数和对数方程等数学公式对竞争强度与对象木胸径间的关系进行回归拟合。结果表明,幂函数的相关系数均较大,这与张泽浦等(2000)对日本落叶松(*Larix leptolepis*)、邹春静等(1998)对沙地云杉和段仁燕等(2005)对太白红杉(*L. chinensis*)的研究结果相似。

因此,幂函数为较优的回归模型,即:  $CI = AD^{-b}$ , 其中,  $CI$  为竞争强度,  $D$  为对象木胸径,  $A$  和  $B$  为模型参数。显著性检验结果均达到显著水平(表 5), 并利用该模型模拟和预测了黄山松种内和种间竞争强度(表 6), 预测结果表明黄山松种内、种间竞争强度随对象木个体的增大而降低。当对象木胸径达到 20 cm 以上时, 竞争强度的变化不大。

表 6 黄山松种内种间竞争强度与对象木胸径的模型预测  
Table 6 Model prediction of interspecific and intraspecific competition intensity and DBH

胸径 Diameter (cm)	5	10	15	20	25
黄山松与整个林分 <i>P. taiwanensis</i> and forest	9.014	3.758	5.235	2.435	0.629
黄山松与伴生树种 <i>P. taiwanensis</i> and other species	1.856	0.737	1.116	0.481	0.111
黄山松种内 Intraspecific	0.736	0.284	0.452	0.186	0.039
黄山松与杉木 <i>P. taiwanensis</i> and <i>C. lanceolata</i>	0.382	0.145	0.238	0.095	0.019
黄山松与枹栎 <i>P. taiwanensis</i> and <i>Q. glandulifera</i>	0.229	0.086	0.145	0.056	0.011

### 3 讨论

竞争指数是将植株与其邻近个体的竞争强度量化的数学表达式, 选择一个适宜的竞争指数对竞争生长模型的建立具有重要作用。目前, 竞争指数模型较多, 但以张跃西(1993)的竞争指数有一定的说服力(张跃西等, 1999; 段仁燕等, 2004; 张琼等, 2005)。在研究开始阶段, 曾用该竞争指数做了初步研究, 发现 1 m 范围内如果有植株, 竞争指数将会很大, 远远超过 1 m 外的竞争指数; 而 1 m 范围内, 如果没有植株, 竞争指数为零。从理论上讲, 植物间的竞争强度不应当存在这个 1 m 效应, 因此本文参考 Biging 等(1992)文中相应竞争指数公式的基础上对原公式做了相应的改进。对黄山松研究发现, 改进了的竞争指数很好地避免了以前研究中 1 m 范围内的邻体竞争指数过大的缺陷。

植物竞争是一种普遍存在的现象, 不论种内还是种间, 主要表现在植物地上部分和地下部分的根系资源和空间的竞争。竞争的结果是一个有机体阻碍了另一个有机体的正常生长和发育。本研究发现, 随对象木胸径的增大, 由于黄山松种群因自然稀疏过程中密度调节作用, 植株距离增加, 种内竞争强度降低。黄山松群落内其它物种虽然较多, 但个体

普遍较小, 结果种间竞争相对较弱。本研究采用线形、双曲线、幂函数和对数方程对各种竞争强度进行回归拟合, 结果表明竞争强度和对象木胸径的关系服从幂函数关系, 当黄山松胸径达到 20 cm 以上时, 竞争强度几乎没有变化, 所得的预测模型能很好地预测黄山松种内和种间的竞争强度。

### 参考文献:

- Bella I E. 1971. A new competition model for individual tree[J]. *Fore Sci*, **17**:362—367
- Biging GS, Dobbertin MA. 1992. Comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees[J]. *Fore Sci*, **38**:695—720
- Daniels RF. 1976. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth[J]. *Fore Sci*, **22**:454—456
- Duan RY(段仁燕), Wang XA(王孝安). 2004. Study on neighborhood zone and neighborhood competition intensity in *Larix chinensis* population(太白红杉种群邻体范围与邻体竞争强度的研究)[J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*(西北植物学报), **24**(12): 2 335—2 340
- Duan RY(段仁燕), Wang XA(王孝安). 2005. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*(太白红杉种内种间竞争的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **29**(2): 242—250
- Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), Lan B(蓝斌). 1997. A general model for neighborhood interference index and its application(邻体干扰指数通用模型及其应用)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **21**(2):149—154
- Weiner J. 1984. Neighborhood interference amongst *Pinus rigida* individuals[J]. *J Ecol*, **72**:183—195
- Wu GS(吴巩胜), Wang ZQ(王政权). 2000. Individual tree growth competition model in mixed plantation of Manchurian ash and Dahurian larch(水曲柳落叶松人工混交林中树木个体生长的竞争效应模型)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(5):646—650
- Zhang Q(张琼), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2005. Studies on intraspecific and interspecific competition in natural communities of *Tsuga longibracteata*(长苞铁杉天然林群落种内及种间竞争关系研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(1):14—17
- Zhang YX(张跃西), Zhong ZC(钟章成). 1999. Advances of neighborhood interference among woody plants(木本植物邻体干扰研究进展)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **18**(2):55—59
- Zhang YX(张跃西). 1993. Study on the improvement and application of the neighborhood interference index model(邻体干扰指数模型的改进及其在营林中的应用)[J]. *Acta Phytoecol et Geobot Sin*(植物生态学与地植物学学报), **17**(4):352—357
- Zhang ZP(张泽浦), Fang JY(方精云), Kan C(菅诚). 2000. Effects of competition on growth rate and probability of death of plant individuals; a study based on nursery experiments of *Larix leptolepis* populations(邻体竞争对植物个体生长速率和死亡概率的影响: 基于日本落叶松种群试验的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **24**:340—345
- Zou CJ(邹春静), Xu WD(徐文铎). 1998. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica*(沙地云杉种内种间竞争的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **22**(3):269—274