

# 基于树冠因子的林木竞争指数研究

张晔理, 张怀清\*, 陈永富, 李永亮, 马莉燕

(中国林业科学研究院资源信息研究所,北京 100091)

**摘要:**[目的]以湖南省黄丰桥国有林场杉木纯林为研究对象,进行树木竞争指数的研究,基于 Hegyi 简单竞争指数的形式,提出包含反映树冠特征因子的树冠竞争指数。[方法]将树冠竞争指数和 Hegyi 简单竞争指数分别与胸径增长量进行相关分析。[结果]Kendall's tau-b 系数、Spearman's rho 系数和相关系数  $R^2$  均显示树冠竞争指数与林木生长量的相关性高于 Hegyi 简单竞争指数。[结论]该结果表明树冠竞争指数与林木生长量有更强的相关性,可以更好地体现树冠在树木生长中的作用,能作为模拟林分生长量的依据。

**关键词:**树冠因子;竞争指数;林木生长量;杉木人工林

中图分类号:S711

文献标识码:A

## Study of Tree Competition Index Based on Crown Feature

ZHANG Ye-cheng, ZHANG Huai-qing, CHEN Yong-fu, LI Yong-liang, MA Li-yan

(Research Institute of Forestry Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The crown competition of *Cunninghamia lanceolata* pure stands of Huangfengqiao National Forest Farm in Hu'nan Province was studied and the crown competition index was established. The crown competition index was based on Hegyi competition index and its factors were related to crown. From correlation analysis of DBH (diameter at breast height) increment and two competition indexes, the Kendall's tau-b correlation coefficient, Spearman's rho correlation coefficients and  $R^2$  was got, which showed that the crown competition index was more relevant to DBH increment than Hegyi competition index. The results also showed that the crown competition index and tree growth had a more substantial correlation. Moreover, the crown competition index could preferably indicate crown's influence on tree growth. Consequently, the crown competition index can be used as the basis of stand growth simulation.

**Key words:** crown factor; competition index; increment; *Cunninghamia lanceolata* plantation

竞争中相邻竞争木的存在使对象木得到的环境资源减少<sup>[1]</sup>。根据以前研究<sup>[2-4]</sup>,人工林对象木周围竞争木的株数可以为4、6、8株。惠刚盈等<sup>[5]</sup>提出对象木及其4株最近相邻木能够较好地表示林分空间结构,即选择林分内任意一株对象木,与它距离最近的4株单木作为相邻木组成林分空间结构的基本单元<sup>[6]</sup>。林木之间的竞争激烈程度与林木之间的距离有很大关系<sup>[7]</sup>,但是,通常认为在树冠或根系发生接触或相互重叠时,树木之间的竞争才出现<sup>[8]</sup>。因

此,确定竞争木数量时考虑树冠重叠程度更适合反应树木间的竞争关系。为研究树冠在树木竞争中的作用,本研究在选取竞争木时,在选取4株距对象木最近的树木作为相邻木的基础上,以相邻木和对象木树冠是否相互遮挡作为条件,筛选树冠造成遮挡的邻近木作为竞争木。

在林分空间中,树木竞争能力的量化通常用竞争指数表示<sup>[9]</sup>。竞争指数反映对象木受到的竞争压力,取决于林木自身胸径、树高、冠幅等自身状态和

收稿日期:2015-01-19

基金项目:国家自然科学基金(31170590),国家863计划课题(2012AA102002)

作者简介:张晔理,女,硕士研究生,研究方向为森林可视化模拟技术

\* 通讯作者。

所处林分空间结构内竞争木的状态<sup>[10]</sup>。1971年, Hegyi 提出简单竞争指数,其理论依据是,通过对象木与周围几株竞争木的关系表示对象木在林分空间的竞争能力<sup>[11]</sup>。Hegyi 简单竞争指数考虑了对象木与竞争木的距离,考虑距离的竞争指数所反映的树木竞争关系较准确<sup>[12-16]</sup>,且该指数使用的数据易于获取,但是,Hegyi 简单竞争指数并未衡量对象木与竞争木树冠之间的遮挡对竞争的影响。林分中,相同胸径的树木冠幅差别往往很大,对针叶树来说,这种差异更为明显,此外,树木树冠大小与树木获取环境资源的能力密切相关,因此加入树冠特征因子的竞争指数也许更适合表示树木所承受的竞争压力。

为研究反映树冠特征的竞争指数模型是否更适合反映林分内的邻体竞争关系,本研究以湖南省黄丰桥国有林场的杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 林为研究对象,基于 Hegyi 简单竞争指数的形式,构建树冠竞争指数,在指数中加入可反映树冠重叠程度的因子,并将林木实际生长量分别与树冠竞争指数和 Hegyi 简单竞争指数进行相关分析,以期得到与林木实际生长量相关程度较强的竞争指数,为更准确地模拟林分内竞争,并为进一步预测林分生长量提供有效依据。

## 1 研究区概况

研究区设置于黄丰桥国有林场,该林场位于湖

南省株洲市攸县东西部,地理坐标为 130°04'~113°43'E,27°06'~27°04'N,面积约 2 400 km<sup>2</sup>。林场以中低山为主要地貌,最高海拔 1 270 m,最低海拔 115 m,坡度约 20~25°。林场地处中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 17.8℃;平均日照时间为 1 612 h,年平均降水量 1 410.8 mm。林场现有林地面积约 10 122.6 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率为 86.24%,主要造林树种为杉木、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb)、楠竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 等<sup>[17]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

实验数据源自林场内杉木人工林样地调查。选取的调查样地共 3 块,为人工纯林,海拔约 227 m,样地 1 面积为 30 m×30 m,考虑边缘效应,核心区内有活立木 122 株;样地 2 面积为 60 m×60 m,核心区内有活立木 306 株;样地 3 面积为 30 m×30 m,核心区内有活立木 126 株。对每株树木进行每木检尺,具体方法为:胸径用围尺测量,精确到 0.1 cm;树高和冠高用激光测高测距仪测量,精确到 0.1 m;东西南北 4 个方向冠幅用皮尺测量,精确到 0.1 m;树木间相对坐标使用全站仪测量(图 1)。同时记录海拔、坡向、坡度等立地因子。样地基本信息见表 1。

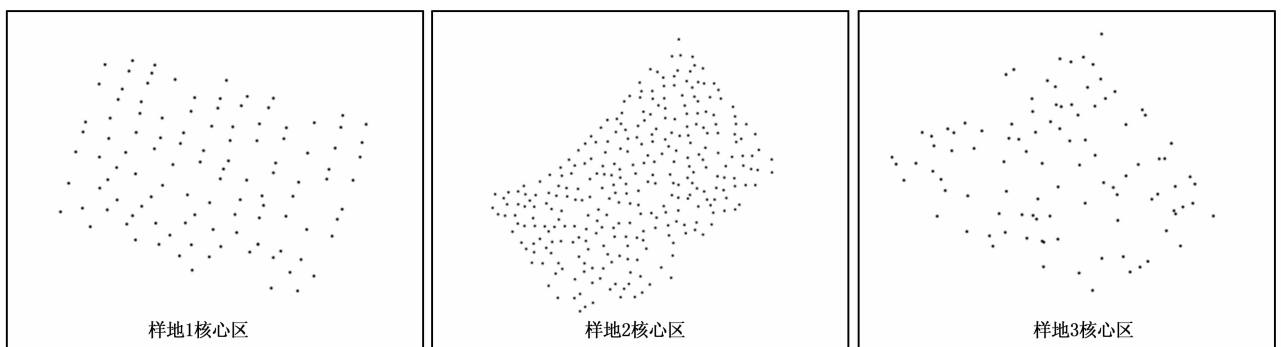


图 1 样地核心区林木位置分布

表 1 调查样地基本信息

调查年份	林龄/a	样地编号	核心区树木数量	平均胸径/cm	平均冠幅/m	平均树高/m
2010	11	1	122	16.2	3.6	12.0
2010	23	2	306	22.3	4.4	14.7
2010	45	3	126	18.8	4.0	13.3
2013	14	1	122	17.1	3.6	13.0
2013	26	2	306	23.1	4.0	16.6
2013	48	3	126	19.3	3.4	14.5

## 2.2 数据分析方法

2.2.1 对象木确定 样地中核心区内每株树木都作为对象木。

2.2.2 竞争木确定 通过距离计算,依次选取离对象木最近的4株树木作为相邻木,由此每株对象木与其相邻木构成林分基本空间结构单元,在该单元内判断竞争木。如果相邻木树冠在水平方向上对对象木存在遮挡,则认为该相邻木与对象木存在竞争,将该相邻木归为竞争木(图2)。

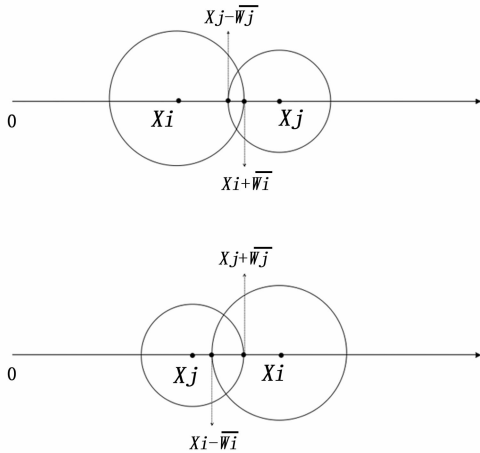


图2 竞争木与对象木树冠重叠情况示意图

图2中,0为林木相对坐标原点,坐标轴正向为林木横坐标增长方向。 $X_i$ 、 $X_j$ 表示对象木和竞争木的横坐标, $\overline{W}_i$ 、 $\overline{W}_j$ 分别为对象木及竞争木平均冠幅的一半(下文中称为冠幅半径)。图2考虑了相邻木位于对象木的不同方向时,两树树冠的重叠情况,综合这两种情况,对象木和竞争木的冠幅半径和两树距离满足:

$$|X_i - X_j| < \overline{W}_i + \overline{W}_j$$

即水平方向上,对象木与竞争木间距离小于两树平均冠幅半径之和时,认为存在竞争关系<sup>[10]</sup>。

判断条件为:

$$X_i - (\overline{W}_i + \overline{W}_j) < X_j < X_i + (\overline{W}_i + \overline{W}_j)$$

其中, $X_i$ 、 $X_j$ 表示对象木和相邻木的东西坐标, $\overline{W}_i$ 、 $\overline{W}_j$ 为对象木和相邻木的平均冠幅半径。符合该条件的相邻木与对象木存在竞争关系,属于竞争木;否则不存在竞争。

2.2.3 基于树冠因子的竞争指数模型建立 Hegyi提出的简单竞争指数,采用竞争木与对象木的比值和两树距离之比量化竞争强度,公式如下:

$$CI_i = \sum_{j=1}^N \frac{D_j}{D_i} \cdot \frac{1}{L_{ij}}$$

式中, $CI_i$ 为对象木*i*的简单竞争指数; $D_i$ 为对象木*i*的直径; $D_j$ 为第*j*株竞争木的胸径( $j=1,2,3,\dots,N$ ); $L_{ij}$ 为对象木*i*与竞争木*j*的距离。

基于Hegyi简单竞争指数的形式,构建树冠竞争指数。树冠竞争指数为两部分的积,第一部分表示垂直方向上的竞争,采用树高之比表示;第二部分表示水平方向上的竞争,以树冠间相互遮挡的程度表示。树冠竞争指数同Hegyi简单竞争指数两部分的联系为,第一部分中,树冠竞争指数使用树高因子,与Hegyi简单竞争指数使用的胸径因子具有较强关系<sup>[18]</sup>;第二部分中,树冠竞争指数在判断冠幅重叠时同样考虑了树木间的距离。树冠竞争指数具体描述为:水平方向上,考虑竞争木与对象木树冠相互遮挡的影响,通过定义竞争木与对象木树冠重叠部分与对象木冠幅半径比值的因子表达该影响;垂直方向上,考虑竞争木树高对树冠间遮挡造成的影响,以竞争木与对象木树高比值表达这种影响,建立的树冠竞争指数表达式如下:

$$CCLI = \sum_{j=1}^N \frac{H_j}{H_i} \cdot \frac{\overline{W}_i + \overline{W}_j - |X_i - X_j|}{\overline{W}_i}$$

式中, $CCLI$ 为对象木*i*的树冠竞争指数; $H_i$ 为对象木*i*的树高; $H_j$ 为利用2.2.2中的条件判断出的第*j*株竞争木的树高( $j=1,2,3,\dots,N$ ); $\overline{W}_i$ 为对象木*i*的平均冠幅半径, $\overline{W}_j$ 为竞争木*j*的平均冠幅半径, $|X_i - X_j|$ 为对象木与竞争木水平方向的距离。竞争木与对象木树冠重叠部分越多,竞争木越高, $CCLI$ 值越大,对象木受到的竞争越激烈,竞争优势越小。

## 3 结果与分析

计算每块样地中每株对象木的树冠竞争指数(Crown CI)和Hegyi简单竞争指数(Hegyi CI),并计算两个竞争指数与林木实际生长量的相关系数,以相关程度的强弱评价竞争指数模型。绘制树冠竞争指数、Hegyi简单竞争指数与林木实际生长量的散点图,并在相同坐标范围的坐标系中显示(图3、图4),林木实际生长量以实测树木胸径增长量表示。由图3、图4可知,树冠竞争指数和Hegyi简单竞争指数与林木生长量均有一定相关性,且总体相关趋势一致,即随着竞争指数增大,对象木受到的竞争压力增大,对象木胸径增长量减小。

将树冠竞争指数和Hegyi简单竞争指数分别与实测胸径增长量进行相关分析,3块样地所得结果

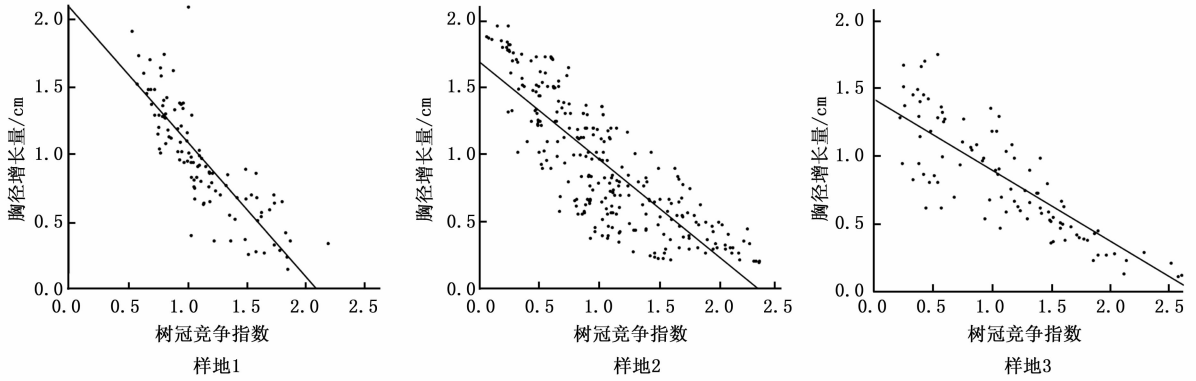


图3 树木实际胸径增长量与树冠竞争指数散点图

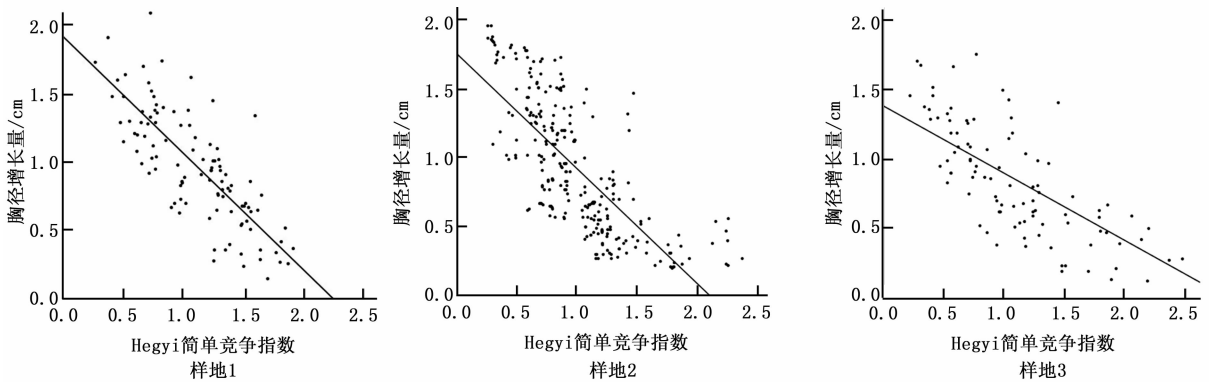


图4 树木实际胸径增长量与Hegyi简单竞争指数散点图

如表2所示。表中,样地1样本容量为107,样地2样本容量为264,样地3样本容量为100。

表2 树冠竞争指数与胸径增长量相关分析结果

项目	相关系数名称	树冠竞争指数	Hegyi简单竞争指数
样地1	Kendall's tau-b	-0.722 **	-0.588 **
	Spearman's rho	-0.898 **	-0.786 **
	$R^2$	0.702	0.602
样地2	Kendall's tau-b	-0.654 **	-0.598 **
	Spearman's rho	-0.842 **	-0.785 **
	$R^2$	0.680	0.550
样地3	Kendall's tau-b	-0.691 **	-0.605 **
	Spearman's rho	-0.859 **	-0.792 **
	$R^2$	0.692	0.557 **

\*\*表示在置信度(双侧)为0.01时相关性显著。

表中Kendall's tau-b系数和Spearman's rho系数为负值,这表示两个竞争指数与胸径增长量存在负相关关系;数据显示,3块样地中,树冠竞争指数和Hegyi简单竞争指数均与胸径增长量在0.01的显著水平上相关性非常显著。相同样地中,树冠竞争指数与胸径增长量的Kendall's tau-b系数和Spearman's rho系数绝对值均大于Hegyi简单竞争指数的相关系数绝对值,且树冠竞争指数的相关系

数 $R^2$ 约为0.7(在3块样地中 $R^2$ 分别为0.702、0.680和0.692),大于Hegyi简单竞争指数(3块样地中 $R^2$ 分别为0.602、0.550和0.557),相关系数分别提高了16.7%、23.6%和24.2%。这表示与Hegyi简单竞争指数相比,树冠竞争指数与胸径增长量相关程度更高。因此,树冠竞争指数能更为恰当地表达树木竞争与树木生长的关系。

## 4 结论与讨论

树木间的竞争过程受到众多因素的影响,树冠竞争指数采取胸径、树高、树木位置、冠幅4个因子反映树木自身的生物学特性和树木获取资源的能力。该指数计算简单,数值越大,则对象木所承受的竞争压力越大。对各样地数据的计算结果表明,其表达的竞争趋势与Hegyi简单竞争指数一致。

此外,本研究选取了3种相关系数(Kendall's tau-b系数、Spearman's rho系数和相关系数 $R^2$ ),各块样地中,结果均为树冠竞争指数与胸径增长量的计算值大于Hegyi简单竞争指数与胸径增长量的计算值。该结果表明,与Hegyi简单竞争指数相比,树

冠竞争指数与林木生长量的相关性更强。

因此认为,在模型中加入树冠因子的竞争指数能够更准确地反映林分间树木的竞争关系,可用于研究杉木人工林生长过程模拟。

本研究中,虽然构成树冠竞争指数的因子易于获取,但用树木位置和冠幅两个因子来描述树冠的影响,对描述真实中不规则的树冠形状是不够的。未来研究中,引入其他因子,建立更贴近林木实际生长状况、更能反映林木生长规律的竞争指数模型是今后工作的努力方向,也是这一研究领域的重要议题。

### 参考文献:

- [1] Ford E D, Sorrensen K A. Theory and models of inter-plant competition as a spatial process [M]. New York. Springer US, 1992:363-407.
- [2] 邵国凡. 红松人工林单木生长模型的研究[J]. 东北林业大学学报, 1985, 13(3):38-45.
- [3] 邱学清, 江希钿, 黄健儿, 等. 杉木人工林竞争指数及单木生长模型的研究[J]. 福建林学院学报, 1992, 12(3):309-316.
- [4] 黄家荣. 马尾松人工林单木竞争指标及生长模型研究[J]. 林业科技, 2001, 26(3):1-4.
- [5] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1):23-27.
- [6] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(4):1-8.
- [7] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华, 等. 基于交角的林木竞争指数[J]. 林业科学, 2013, 49(6):68-73
- [8] 吴巩固, 王政权. 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]. 应用生态学报, 2000, 11(5):646-650.
- [9] 辛莹莹. 浙江青山湖针阔混交林林木竞争态势研究[D]. 浙江: 浙江农林大学, 2011.
- [10] 唐守正, 李希菲. 林分生长模型研究的进展[J]. 林业科学研究, 1993, 6(6):672-679.
- [11] 张 宁, 张怀清, 林 辉, 等. 基于竞争指数的杉木林分生长可视化模拟研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(6):692-697.
- [12] 蒋 娴, 张怀清, 鞠洪波, 等. 基于竞争势的林分生长量分配模型研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(5):571-577.
- [13] 于秀勇. 杉木人工林单木生长模型的研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2009.
- [14] 周 隽, 国庆喜. 林木竞争指数空间格局的地统计学分析[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(9):42-44.
- [15] Gea-Izquierdo G, Canellas I. Analysis of holm oak intraspecific competition using Gamma regression[J]. Forest Science, 2009, 55(4):310-322.
- [16] 雷相东, 唐守正. 林分结构多样性指标研究综述[J]. 林业科学, 2002, 38(3):68-73.
- [17] 覃阳平, 张怀清, 陈永富, 等. 基于简单竞争指数的杉木人工林树冠形状模拟[J]. 林业科学研究, 2014, 27(3):363-366.
- [18] 袁晓红, 李际平. 杉木人工林南北坡向树高-胸径生长曲线研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2):180-183.

(责任编辑:彭南轩)