

# 单木竞争指标的研究进展

孜来比·买木提名<sup>1</sup>, 杨 华<sup>1\*</sup>, 赵广亮<sup>2</sup>, 王 玲<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京市八达岭林场, 北京 延庆 102112)

**摘 要:**单木竞争指标在森林可持续经营和森林生态经营方面有很大的实际和理论价值。主要概述了单木竞争指标的概念, 研究意义和制定的原则; 总结了确定对象木和鉴别竞争木的方法, 其中具体描述了鉴别竞争木的固定半径法、树冠重叠法、角规常数抽样法和圆锥调查法; 分别归纳了与距离有关和与距离无关的单木竞争指标。与距离有关的方法中主要介绍了 KKL 方法、树木大小比例法、竞争影响区域法、竞争木株数控制类方法和与树冠有关的方法; 阐述了与距离无关的单木竞争指标中的数量化方法即林木相对比和样地面积比例有关的方法。

**关键词:**对象木; 竞争木; 单木竞争指标

**中图分类号:** S757.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2012)06-0152-07

## A Review on the Competition Indices of Individual Trees

ZI Laibi · Mai Mutiming<sup>1</sup>, YANG Hua<sup>1\*</sup>, ZHAO Guang-liang<sup>2</sup>, WANG Ling<sup>2</sup>

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Badaling Forest Farm, Yanqing, Beijing 102112, China)

**Abstract:** The understanding of individual-tree competition indices (ITCI) is both of practical and theoretical values in forest management. In this paper, the concept, research significance and principles related to ITCI were introduced. The methods of identifying reference trees and their competitors were presented, including the fixed radius method, crown overlapping method, angle gauge constant sampling method, and search cone method. Both position dependent and independent of ITCI were summarized. To modeling position dependent competition, indices included the crown competition index “KKL”, the competitive influence zone approach, the tree size ratio method, and specific methods for estimating crown size and the number of competitors of a given reference tree. Several position independent competition measures were also evaluated, including the methods related to the ratio of tree size and sample area.

**Key words:** central tree; competitor; competition index of individual trees

研究植物间的竞争对了解植物群落的组成结构以及演替进程具重要影响, 进而指导人工林的营造以及促进森林生态系统功能的完善<sup>[1]</sup>, 同时在单木生长模拟、生长收获研究, 下木生长, 稀疏现象、抚育间伐等方面也具有一定的理论和实际意义<sup>[2-3]</sup>。从单木竞争指标得出的单木竞争模型推广到全林分模型也是一种有益的尝试。

## 1 单木竞争指标概述

### 1.1 林木竞争及单木竞争指标概念

竞争是森林生态系统中的普遍现象, 其结果是一个有机体阻碍另一个有机体的正常生长和发育<sup>[4]</sup>。竞争是生存斗争的表现, 在此过程中, 由于同种或不同种的 2 个或更多的个体之间不同程度的现

收稿日期: 2011-11-29 修回日期: 2012-05-08

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201104051)。

作者简介: 孜来比·买木提名, 女, 在读硕士, 研究方向: 单木竞争模型。E-mail: zilabu@126.com

\* 通信作者: 杨华, 女, 副教授, 主要研究方向: 应用软件与模型。E-mail: huayang8747@163.com

行需求超过了它们共同资源的即时供应,从而个体间相互施加不利影响。竞争是塑造植物形态、生活史以及植物群落结构和动态的主要动力<sup>[2,5-7]</sup>。林分在达到一定密度时,林木才会发生竞争。林木竞争是促使天然整枝、树冠通直圆满、材质优良的动力<sup>[8]</sup>。林分内的竞争是树木空间占用和资源利用的相互作用。竞争现象意味着由于相邻竞争木的存在而使环境资源减少,从而导致一个有机体阻碍了另一个有机体的正常生长和发育,实际上是有机体之间互相影响和阻碍,它伴随林木生长的所有阶段,竞争的结果产生了植物个体生长发育上的差异<sup>[9-12]</sup>。

量化林分内单木竞争情况的指标是单木竞争指标,即利用树种、胸径、树高、冠幅形状和与相邻树木的距离来量化单木的竞争环境和对生长的影响<sup>[13]</sup>。欲计算竞争指标所针对的树木称为对象木,而在其周围与对象木有竞争关系的树木称为竞争木<sup>[14]</sup>,单木竞争指标是林分竞争木对对象木的竞争能力的总计,表征的是对象木被剥夺利用资源的权利的大小<sup>[2,15]</sup>。竞争指标是表示林木间竞争强度的一个数学表达<sup>[14]</sup>。

虽然竞争指标在形式上是对树木间生存空间竞争关系的数学描述,但其实质则是反映树木生长对物理环境的需求与现实境下树木对物理环境的占有量的矛盾<sup>[16-17]</sup>。

## 1.2 制定竞争指标的原则

理论上,一个理想的竞争指标应包括树木大小、距离和空间分布等信息,不但要反映出林木之间所有的竞争信息,而且要排除一切干扰信息<sup>[3]</sup>;从实际应用出发,适宜的竞争指标应与树木生长关系密切,并且简单直观,容易测算,便于应用<sup>[16,18]</sup>。使用中由于研究目的和应用环境的差异,没有必要要求所有竞争指标都能满足上述标准,但满足上述标准的指标一定具有良好的性能。

从 20 世纪 60 年代开始对单木竞争指标已有很多描述性研究,对树木竞争的数量研究也有重大发展,出现了大量的数量化方法。林木之间的竞争主要是把树种、胸径、树高、冠幅形状和与相邻树木的距离作为特征的,前人把竞争指标根据其是否含有对象木与竞争木之间相对位置的信息(距离),分为与距离有关的竞争指标和与距离无关的竞争指标 2 种类型<sup>[2,13]</sup>。本文主要介绍鉴别竞争木的方法和单木竞争的数量化方法。

无论与距离有关、无关的竞争指标都经过 3 步计算完成,第 1 是选择对象木;第 2 是鉴别竞争木,即在与对象木相邻的树木中,按照一定的规则,确定

与对象木之间有竞争关系的树木。第 3 是数量化对象木所受的竞争强度。

## 2 确定对象木与竞争木的方法

### 2.1 确定对象木的方法

林木的竞争能力受多种因素制约,如对象木个体大小、植株生长速度、不同发育阶段、个体生活力的高低,周围植株个体对它的影响等,其中的个体大小对竞争能力影响很大<sup>[19]</sup>。

单木竞争指标研究问题的第一步就是确定对象木,主要考虑的问题是边缘效应的影响。对象木的位置与样地边缘越近,周围环境在实测点外的未知性就会越大。导致得到的竞争指标不准确。在研究单木竞争指标的过程中必须考虑边缘效应的影响。常见消除边缘效应的方法有多种。

2.1.1 镜像、偏移和线性膨胀方法 P. J. Radtke<sup>[20]</sup>等于 1998 年在实际研究中应用了镜像和偏移的方法,其实镜像和偏移的原理相似,设想样地周围的情况与样地一样,然后在原样地周围以镜像或偏移的方法产生假设的缓冲区。该方法对地形相似度的要求比较高。为弥补此缺点,Martin 等提出了线性膨胀的方法,认为调查区内的情况可部分反应整个区的情况。原理为在原样地周围产生 3 个样圆区域,第 1 为与样地边缘最近的对象木到样地边缘的距离为半径的圆形区域(此区域内所有树木在原样地内),第 2 是以该对象木为圆心与对象木最远的竞争木的距离为半径的圆形区域(在原样地外边的区域内的树木都算是竞争木),第 3 为缓冲区域是对象木到样地最远顶点之间的距离为半径的区域(同样,如果样地外有树,也可算是竞争木)。该方法适用于多种立地条件与地形<sup>[13]</sup>,但这 3 种方法都会使系统误差变大。

2.1.2 结构生成方法 结构生成的方法克服了上述误差。方法原理为按照观察样地树种、大小、距离等因素,利用数学方法在原样地周围形成一个接近真实的林分结构的林分。该方法到目前为止还处于理论研究阶段,尚未在实际调查中应用<sup>[13]</sup>。

2.1.3 其他方法 黄家荣<sup>[13]</sup>等在消除边缘效应时提出了一个较为实际的办法。以样地中心为圆心,以样地(矩形)短边的 1/2 再减去样地中林木最大冠幅直径为半径的圆内范围为对象木范围。竞争木是对象木邻接木,其范围是整个样地。这样,对象木的抽选比例约为 30%~45%,可以保证足够的样本进行拟合。

康晓梅<sup>[18]</sup>等以 10 m 为样圆半径,依据半径大

小,沿样地边界预留 10 m 缓冲区,缓冲区内不选取对象木,以确保对象木的所有竞争木均在样地内。

2.2 鉴别竞争木的方法

一般鉴别的方法有固定半径法、圆锥调查法、树冠重叠法、角规计数抽样法。

2.2.1 固定半径法 一般认为,只有在树冠或根系发生接触或重叠时,竞争才会出现,所以对象木所受的竞争压力多来自于周围一定距离内的竞争木,离对象木较远的个体对它的竞争会减弱或消失。因此通过竞争强度随样圆半径递增的速率,可以确定竞争木的分布范围,从而合理地选择样圆半径<sup>[21]</sup>。

用固定半径法第一步是以对象木为原点, $r$  为半径画出一个圆,在这圆内的相邻树  $i=1,2\cdots n$ ,也就是说与对象木距离小于圆半径  $r$  的树是竞争木。在以往的研究中,国内外许多研究者都使用了这种方法确定竞争木。Hegyi(1974)在与位置相关的单木模型中,使用的样圆半径为 3.048 m。姚贻强<sup>[22]</sup>等研究红树林优势种时,设置的样圆半径为 3 m,方坚<sup>[9]</sup>等在研究辽东栎种内、种间竞争时设置为 6 m,邹春静<sup>[10]</sup>等研究长白山针叶林建群种时设置为 8 m,毛磊<sup>[23]</sup>等研究天然樟子松林种内种间竞争关系时设置为 10 m。

确定固定半径的方法依据主要有 2 点:一是样地的林隙半径;二是上层树的影响范围和样地中的树高及冠幅<sup>[9]</sup>。以往的研究最合理的办法是首先选出一定数量的对象木,然后以 2.5 m 为样圆半径,给一个增量,确定从 2.5 m 到 20 m 间 8 个样圆半径或者更多,随着样圆半径的增加,样圆内的样本数量会有所变化,计算不同样圆半径时,各对象木所承受的竞争强度。当样圆半径增加,而竞争强度递增不显著时,说明对象木受样本数量的影响已经很微弱,竞争木的数量不再变化,按照该方法可以确定样圆的半径<sup>[23]</sup>。样圆的半径也可以采用分段拟合的办法,做出不同样圆半径与竞争强度间回归关系曲线图,将曲线拐点的地方确定为样圆半径<sup>[24]</sup>。

随着树木大小的不同,样圆半径可能会有所变化,故在利用固定半径法时要注意林木有相似的干形和立地条件。

2.2.2 树冠重叠法 I. E. Bella 和 H. Pretzsch 等提出利用树冠重叠法来确定竞争木,他们认为与对象木树冠有重叠的树木均可看做是竞争木<sup>[13,25]</sup>。按照数学原理对象木与相邻木的实际树冠直径  $cr_j$  和  $cr_i$  与他们间距的关系满足下列公式时可把这棵相邻树看做竞争木:

$$dist_{ij}<(cr_i+cr_j) \tag{1}$$

式中: $dist_{ij}$ 为对象木与竞争木之间的距离, $cr_i$  为竞争木的树冠半径, $cr_j$  为对象木的树冠半径。

如果实际树冠信息缺失,竞争木的鉴定可以按照下面步骤确定: $dist_{ij}<(d_i^2+d_j^2\times mult)$  (2)

式中: $d_i^2$  与  $d_j^2$  是竞争木与对象木的胸径的平方, $mult$  是一个乘数。Alemdag 提出  $mult$  的值为 0.008 5、0.009 0 或者 0.009 5。该乘数越大,调查的圆区就越大,相应的竞争指标计算时包括的竞争木也越多。

2.2.3 角规计数抽样法 1952 年 Bitterlich 认为竞争木的鉴定取决于相互距离与树木的直径<sup>[13]</sup>,服从如下公式:

$$dist_{ij}<d_i\times\frac{50}{\sqrt{ACF}} \tag{3}$$

该方法理论上有点相似角规原理,常用的角规常数  $ACF=1,2$ ,或者 4。角规常数越小确定为竞争木的树木越多,相应的竞争强度就会越大。

2.2.4 圆锥调查法 1987 年 T. Pukkala 和 T. Kolstroem,1992 年 G. S. Biging 和 M. Dobbertin,1989 年 T. Pukkala 等把水平的角规常数方法改成与树高有关的垂直的鉴定方法——圆锥调查法(Search Cone Method)<sup>[26-28]</sup> (图 1)。基本方法如下:在对象木树干上设置一个圆锥,这个圆锥的开角为  $\alpha$ ,与水平地面与圆锥侧边的角度为  $\beta=90-\alpha/2$ , $h_i$  为竞争木的树高, $hcb_j$  是对象木树干上的设置的圆锥的顶点与水平地面的距离。只有相邻树种树冠落于该圆锥体内的可看做是竞争木。

$$dist_{ij}<h_i\times\tan\beta^{-1} \tag{4}$$

如果圆锥的顶点不在于树干基部而基于树冠高度的位置,那么鉴定要根据下面公式进行:

$$dist_{ij}<(h_i-hcb_j)\times\tan\beta^{-1} \tag{5}$$

圆锥顶点位置与开独角的大小随树木的大小和树种的不同会有区别,Bachmann 研究表明,圆锥的顶点在全树高的 50%~60%的位置效果比较理想,而圆锥的开独角与树种有关,下木层 20°到 60°之间,其他林木层圆锥开独角在 60°到 100°之间时,林木断面积生长量与竞争指标之间的相关性较强。

3 数量化单木竞争指标的方法

3.1 与距离有关的竞争指标

Newhan(1964)首次提出了与林木间距有关的竞争因子。Opse (1968)、Bella (1971)、Hegyi (1974)、Lin(1974)、Amey(1974)、Lee(1974)等先后构造了不同的跟距离有关的竞争指标<sup>[2]</sup>。一般的数量化竞争强度跟距离有关的方法有 Bella 的竞争影

响区域法、Hegyi 的简单竞争指标法、Martin 和 Ek 的胸径大小比例法、Biging 和 Dobbertin 等的树冠比例法、Pretzsch 和 Bachmann 的 KKL 方法。除此之外还有邻接木横断面积、外露树冠面积、样地面积、竞争木株数的方法<sup>[13-14]</sup>。

3.1.1 KKL 方法 最典型的跟距离有关的单木竞争指标量化的方法是 Pretzsch 和 Bachmann 提出的 KKL 方法<sup>[13]</sup>。方法跟鉴别竞争木的圆锥调查法比较相似。在对象木树高的 60% 的位置设置一个开度角度为 60° 的圆锥, 落到这个圆锥范围内的树木记为竞争木, 然后按照公式(5)计算得到竞争指标 KKL。

$$KKL_j = \sum_{i=1, i \neq j}^n (BETA_{ij} \times \frac{KQF_i}{KQF_j}) \quad (5)$$

式中:  $KQF_j$  为对象木圆锥顶点位置的树冠横断面积,  $KQF_i$  为竞争木相同位置的树冠横断面积,  $BETA_{ij}$  为落到这圆锥范围的竞争木顶端与圆锥边缘之间的夹角(弧度值), 开度角  $\alpha$  为 60° (图 1)。角度  $BETA_{ij}$  间接的引进了距离因素, 可以看到竞争木越高、跟对象木的距离越近, 就会夹角越大, 相应的竞争指标也会越大。

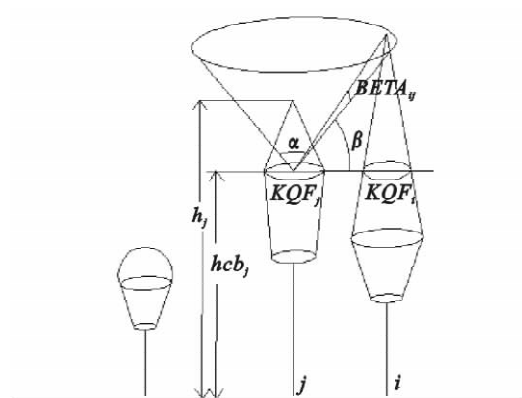


图 1 KKL 方法和圆锥调查法示意图

Fig. 1 A schematic diagram of KKL method and search cone method

3.1.2 相对直径比例法

3.1.2.1 简单竞争指标法 F. Hegyi 于 1974 年提出的与位置相关的单木竞争指标, 国内外很多生态学领域内的单木竞争研究都以简单竞争指标法为基础的<sup>[29]</sup>。

$$DCI = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{d_i}{d_j} \times \frac{1}{dist_{ij}}) \quad (6)$$

式中:  $d_i$  为竞争木的胸径,  $d_j$  为对象木的胸径,  $dist_{ij}$  为这 2 株树之间的距离。可以明显的看到竞争木越大或者跟对象木的距离越近, 竞争指标就会越大。

3.1.2.2 竞争指标——ME G. L. Martin 和 A. R. Ek 1984 年提出的方法, 首先要计算所有竞争木

与对象木的胸径比例  $d_i/d_j$  的和集, 然后与距离有关的指数函数来加权, 得到竞争指标  $ME$ <sup>[30]</sup>。

$$ME = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{d_i}{d_j} \times e^{-[\frac{16 \times dist_{ij}}{d_i + d_j}]}) \quad (7)$$

式中:  $dist_{ij}$  为竞争木与对象木的距离,  $d_i$  为竞争木的胸径,  $d_j$  为对象木的胸径,  $ME$  为竞争指标。

加权后  $ME$  随着距离的增大和胸径的变小而减小。

3.1.2.3 竞争指标——A 值 Johann (1982) 的 A 值在量化和控制单木生长发育方面有特殊的地位。 $A_{ij}$  是竞争指标,  $E_{ij}$  为距离,  $h_j$  为对象木的树高, 其他同前文<sup>[13]</sup>。

$$A_{ij} = \frac{h_j}{E_{ij}} \times \frac{d_i}{d_j} \quad (8)$$

转化公式(8)可得到  $E_A$  (公式 9):

$$E_A = \frac{h_j}{A} \times \frac{d_i}{d_j} \quad (9)$$

当竞争指标 A 已知的情况下可以确定竞争木与对象木的距离, 为此进行树木间伐、确定下木层的种植距离或种植密度时可以使用本方法。

3.1.3 竞争影响区域法 I. E. Bella 于 1971 年提出, 认为与对象木有树冠重叠面积的所有相邻树木可看做竞争木<sup>[25]</sup>。相应的竞争指标按照下列公式计算:

$$B = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{O_{ij}}{cpac_j} \times \frac{d_i}{d_j}) \quad (10)$$

式中:  $cpac_j$  为对象木的树冠投影面积,  $O_{ij}$  为与对象木 j 重叠的树冠投影面积部分, 重叠的部分表示空间占有面积而产生的竞争, 胸径比例表示对象木与相邻树的大小比例。由于对象木相邻的下木层产生的重叠面积  $O_{ij}$  大, 它们对竞争指标的贡献率被  $d_i/d_j$  削弱了。

3.1.4 与树冠有关的竞争指标 此方法不仅考虑对象木与竞争木的距离  $dist_{ij}$ , 还考虑了树冠横断面积( $CC_j$  和  $CC_i$ ), 树冠表面积( $CM_j$  和  $CM_i$ ) 或者树冠体积( $CV_j$  和  $CV_i$ )。为了计算对象木 j 的竞争指标, Biging 和 Dobbertin (1992) 等提出在对象木上确定一个参考位置 p, 然后从树冠模型中得到树冠横断面积 CC, 树冠表面积 CM 和树冠体积 CV, 然后按照下列公式计算得到树冠竞争指标  $BDV_f$ 、 $BDM_f$  和  $BDC_f$ <sup>[27]</sup>。

$$BDV_f = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{CV_i}{CV_j \times (1 \neq dist_{ij})}) \quad (11)$$

$$BDM_f = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{CM_i}{CM_j \times (1 \neq dist_{ij})}) \quad (12)$$

$$BDC_f = \sum_{i=1, i \neq j}^n (\frac{CC_i}{CC_j \times (1 \neq dist_{ij})}) \quad (13)$$

式中: $dist_{ij}$ 的引入会加强距离越近的树木的竞争影响,而减弱距离远树木的竞争影响。

3.1.5 竞争木株数控制法 假设在同一林分内,与对象木发生竞争的竞争木的数量与对象木的大小无关,指标构造上的变化表现在竞争木的株数和测树指标 2 个方面<sup>[16]</sup>。在以往的研究中,竞争木的限定株数各不相同,有 2 株、4 株、6 株、8 株、12 株等几种情况。江希钿<sup>[13]</sup>等的数量化单木竞争指标的方法  $CI$  为:

$$CI=-\frac{D}{\overline{D}}\times\overline{dist} \tag{14}$$

式中: $CI$  为对象木的竞争指标, $D$  为对象木的胸径、 $\overline{D}$  为对象木周围最近 8 株竞争木的平均胸径, $\overline{dist}$  相邻距离最近的 8 棵树的平均距离。此法在表现形式上简单直观,且测算容易,便于应用。

3.2 与距离无关的竞争指标研究

与距离无关的竞争指标的建立,构成了一个竞争指标系统,形成以单木生长模型预测林分生长的方法<sup>[2]</sup>。与距离无关的竞争指标包括各种林分密度测度和林分内林木大小,但并不要求详细的林木定位信息。此竞争指标通常用林木大小与林分平均大小或优势木大小之比来表示其单木竞争因子或用冠长率表示其竞争能力,其中林木大小主要选用胸径或断面积或树冠变量等因子来表示<sup>[31]</sup>。

3.2.1 胸径大小比法 大树比小树具有更强的生长空间占有和利用能力,竞争能力也大,故其生长量也就更大。为此有了优势木胸径为比较基础的竞争指标<sup>[31]</sup>。计算公式如下:

$$CI=\frac{d_i}{D_0} \tag{15}$$

式中: $CI$  为单木竞争指标, $d_i$  为林分中第  $i$  株对象木的胸径, $D_0$  为与对象木具有相同年龄和立地条件的优势木胸径。(还有很多相似的方法,比如公式(15)的分母改成优势木平均胸径或林分平均胸径等,在此不再赘述)。

3.2.2 与树冠有关的竞争指标

3.2.2.1 树冠相对比例法 与距离无关的树冠因子,如全树冠体积、全树冠表面积、全树冠横断面积等,作为竞争指标似乎可以达到或超过与距离有关的竞争效果的结论<sup>[31]</sup>。以树冠体积为例:

$$PRCV=\frac{CV_i}{\overline{CV}} \tag{16}$$

式中: $CV_i$  为对象木的全树冠体积, $\overline{CV}$  为样地内所有树木平均全树冠体积, $PRCV$  是与距离无关竞争指标。

3.2.2.2 相对有效冠幅比 王迪生认为通常使用

各种优势度来表示单木与距离无关的竞争指标,只能反映个体在林分中所占优势情况,而不能与其生长空间联系起来,故不能较为客观地反映单木实际竞争水平,并且提出了与距离无关的竞争指标  $RECR$ :

$$RECR=\frac{\text{林分中 } D_i \text{ 林木的阳性有效冠幅直径}}{\text{相同胸径 } D_i \text{ 的疏开木有效冠幅直径}} \tag{17}$$

通过实际资料分析有效阳性冠幅及其动态预测方法,将个体有效阳性冠幅与相同胸径疏开木的有效冠幅之比作为一个能反映林分中单木受周围林木竞争程度<sup>[33]</sup>。

阳性冠是指四周与近邻木接触点最高处枝条基部以上的树冠部分,阳性冠的冠幅大小成为阳性冠幅。Tadaki 等认为阳性冠幅部分光合效率最高,是树木体内光合有机产物的主要来源,而下部的枝条净光合效率低,对树木机体生长贡献很小,光合效率大的这部分阳性冠幅成为阳性有效冠幅<sup>[33]</sup>。

疏开木是指四周没有任何近邻木接触,不受挤压、遮挡,直接外露、可以接受阳光照射的树木。

3.2.3 样地面积比例法

3.2.3.1 竞争指标  $CCFP$  每一棵树冠有它扩展的潜能,这与它们产生的树冠投影面积之和  $\sum_1^n cpa_{poti}$  有关,为此有了与距离无关的竞争指标  $CCFP$ ,此竞争指标可说明林分内的一般竞争<sup>[13]</sup>:

$$CCFP=\frac{1}{A}\times\sum_1^n cpa_{poti} \tag{18}$$

式中:树冠因子  $CCFP$  越接近于 1,表明林分郁闭度很高,代表树冠没有互相重叠的情况下也会伸展。只有在充分的光照下  $CCFP < 1$ 。对于光的竞争会导致  $CCFP > 1$ 。

3.2.3.2 水平横断面积法 在对象木某个特殊的部位建立一个虚构的水平面,横断面积  $KQF$ (相似的表面面积  $KMF$  或树冠体积  $KV$ ),超出这个水平面的所有相邻树木的相应横断面积(树冠表面积或树冠体积)相加,再除以样地面积  $A$ :

$$KKQ=\frac{1}{A}\times\sum_{i=1, i\neq j}^n KQF_i \tag{19}$$

$$KKM=\frac{1}{A}\times\sum_{i=1, i\neq j}^n KMF_i \tag{20}$$

$$KKV=\frac{1}{A}\times\sum_{i=1, i\neq j}^n KV_i \tag{21}$$

这样就得到了竞争指标  $KKQ$ 、 $KKM$ 、 $KKV$ 。在距离有关的方法中只有相邻树木可以作为竞争木,而此方法中比设置的平面高的整个林分中所有的树木都可以认为是竞争木。Biging 和 Dobbartin (1995)的研究表明竞争指标  $KKQ$  的值在参考高度为 60%~75%时较好<sup>[27]</sup>。

3.2.3.3 CCF 值 J. E. Krajicek 提出的 CCF 值也属于这类方法,使用公式如下:

$$CCF = \frac{\sum_1^n (1.291\,486 + 0.220\,921 D_i)^2 \times \frac{x}{4}}{A} \times 100 \tag{22}$$

式中:CCF 为与树冠有关的竞争指标,A 为样地面积(m<sup>2</sup>),D<sub>i</sub> 为竞争木的胸径。王迪生等在研究华北落叶松树冠直径与胸径间关系时利用此法得出以下结论:CCF 与年龄、立地条件无直接关系,华北落叶松 CCF 的实际下限值为 78.5,上限值为 390<sup>[34]</sup>。

## 4 结论

对与距离有关和无关的 2 种研究方法中究竟哪一种在单木生长模型使用比较适合的问题,以往很多学者通过比较认为:与距离有关的竞争指标在理论上具有研究意义,但在实际工作中却难以应用。相比之下与距离无关的单木竞争指标方法简单,易于测算,故能在实际工作中普遍应用<sup>[31-32,35]</sup>。

许多学者认为林木相对位置的引入对与距离无关的竞争指标来说无明显的优点。其可能原因首先是在没有人为经营的天然林中树木的形状决定竞争;其次很多研究是基于同龄纯林的,竞争环境的差异较小;还与位置相关的方法需要验证大量数的树木,而比较样地较小,故在小样地中进行的研究难以指出 2 种方法的差别<sup>[13]</sup>。

对于相对坐标,树干和树冠形状给予的情况下,距离相关的竞争指标对精细的描述资源可用性比较有优势。林分结构复杂,聚集式林分格局出现的时候与位置无关的方法很快就会失去有效性。

以往的单木竞争研究过分强调拟合性能,而忽视理论分析,在一定程度上影响了研究的深入。并且尚无合理的树木竞争指标系统,单木竞争只考虑了地上部分、而对地下竞争的研究非常少。植物竞争领域的研究正向植物种内、种间的组合及表达规则的方向发展<sup>[36]</sup>。

## 参考文献:

[1] 袁兴中,陈忠礼,刘红. 消落带湿地优势植物竞争关系[J]. 生态学杂志, 2011,30(9):1863-1867.

[2] 柳江,洪伟,吴承祯,等. 天然更新櫟木林竞争规律研究[J]. 江西农业大学学报,2001,23(2):240-243.

LIU J, HONG W, WU C Z, *et al.*, A study on the law of competition in naturally regenerated *Sassafras tzumu* forest[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2001, 23 (2): 240-243. (in Chinese)

[3] 封磊,洪伟,吴承祯,等. 天然黄山松竞争指标及林分竞争生长

模型的研究[J]. 江西农业大学学报, 2002,24(2):251-254.

FENG L, HONG W, WU C Z, A study of competitive index and growing model of *Pinus taiwanensis* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2002,24(2):251-254 . (in Chinese)

[4] 金则新、张文标. 濒危植物七子花种内与种间竞争的数量关系[J]. 植物研究,2004,24(1):53-58.

JIN Z X, ZHANG W B. The quantitative relation of intraspecific and interspecific competition in endangered plant *Heptacodium miconioides* [J]. Bullerin of Botanical Research,2004, 24(1):53-58. (in Chinese)

[5] 石胜友,李旭光,王周平,等. 缙云山风灾迹地生态重建过程中的竞争研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2000,25(5):601-605.

SHI S Y, LI X G, WANG Z P. Study on the competition in the course of ecological reconstruction of wind damaged slash in Mt. Jinyun[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 2000,25(5):601-605. (in Chinese)

[6] 江挺,汤孟平. 天目山常绿阔叶林优势种群竞争的数量关系[J]. 浙江林学院学报,2008,25(4):444-450.

JIANG T, TANG M P, Quantitative relationships with competition of dominant tree populations in an evergreen broad-leaved forest on Mount Tianmu[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2008,25(4):444-450. (in Chinese)

[7] 刘彤,李云灵,周志强,等. 天然东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)种内和种间竞争[J]. 生态学报, 2007,27(3):924-929.

LIU T, LI Y L, ZHOU Z Q, *et al.* Intra specific and interspecific competition of Japanese yew (*Taxus cuspidata*) [J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(3):924-929. (in Chinese)

[8] 杨澄,黄汉民,张新友. 油松幼龄林竞争指标的初步研究[J]. 陕西林业科技,1996(3):32-36.

[9] 方坚,王孝安,郭华,等. 黄土高原马栏林区辽东栎林种内、种间竞争研究[J]. 西北植物学报,2007,27(2):334-339.

FANG J, WANG X A, GUO H, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of *Quercus liaotungensis* in Malan Forest Region of Loess Plateau [J]. Acta Bot. Boreal . Occident . Sin. ,2007,27(2):334-339. (in Chinese)

[10] 邹春静,韩士杰,张军辉. 阔叶红松林树种间竞争关系及其营林意义[J]. 生态学杂志,2001,20(4):35-38.

[11] 林勇明,崔鹏,葛永刚,等. 泥石流频发区人工恢复新银合欢林种内竞争—以云南东川蒋家沟流域为例[J]. 北京林业大学学报,2008,30(3):13-17.

LIN Y M, CUI P, GE Y G. Intraspecific competition of *Leucaena leucocephala* plantation in the area of high frequency debris flow: taking the Jiangjiagou Gully as an example[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008,30(3) :13-17. (in Chinese)

[12] 黄新峰,亢新刚,孙玲,等. 红松单木断面积生长模型[J]. 西北林学院学报,2011, 26(3) : 143-146.

HUANG X F, KANG X G, SUN L. Establishment of individual basalarea growth model of Korean pine[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(3) : 143-146. (in Chinese)

[13] PRETZSCH H. Forest dynamics, growth and yield: from

measurement to model[M]. Berlin : Springer,2009.

[14] 江希钊,陈学文,林纪建.以 Von Bertalanffy 生长理论为基础的单木生长模型[J].中南林业调查规划,1994(4):5-8.

[15] 黄家荣,万兆溟. 马尾松人工林与距离有关的单木模型研究[J]. 山地农业生物学报,2000,19(1):10-15.

HUANG J R,WAN Z M, The study on distance-dependent models of individual tree in *Pinus massoniana* plantation[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2000, 19(1): 10-15. (in Chinese)

[16] 关玉秀,张守攻. 竞争指标的分类及评价[J]. 北京林业大学学报,1992,14(4):1-8.

GUAN Y X,ZHANG S G. A classification and comparison of competition index[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1992, 14(4): 1-8. (in Chinese)

[17] 张池,黄忠良,李炯,等. 黄果厚壳桂种内与种间竞争的数量关系[J]. 应用生态学报,2006,17(1):22-26.

ZHANG C, HUANG Z L, LI J, *et al.* Quantitative relationships of intra-and interspecific competition in *Cryptocarya concinna* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(1):22-26. (in Chinese)

[18] 康晓梅,刘盛,陈建伟,等. 人工林林木竞争数量指标的对比研究[J]. 吉林林业科技, 2002, 31(6):11-14.

[19] 胡刚,梁士楚,张忠华,等. 桂林岩溶石山青冈栎种内与种间竞争的数量关系[J]. 西北林学院学报,2007, 22(5): 32-36.

HU G, LIANG S C, ZHANG Z H. Quantitative relationships of intraspecific and interspecific competition in *Cyclobalanopsis glauca* in Karst Hills in Guilin[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(5): 32-36. (in Chinese)

[20] RADTKE P J, BURKHART H E. A comparison of methods for edge-bias compensation[J]. Canadian Journal of Forest Research,1998, 28(6): 942-945. (in Chinese)

[21] 王政权,吴凡胜,王军邦. 利用竞争指标评价水曲柳落叶松种内种间空间关系[J]. 应用生态学报,2000,11(5):641-645.

WANG Z Q, WU G S, WANG J B. Application of competition index in assessing intraspecific and interspecific spatial relations between manchurian ash and dahurian larch[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(5): 641-645. (in Chinese)

[22] 姚贻强,梁士楚,李桂荣,等. 广西红树林优势种群生态学研究[J]. 生态环境,2008,17(3):1082-1085.

[23] 毛磊,杨丹青,王冬梅,等. 红花尔基自然保护区天然樟子松林种内种间竞争分析[J]. 植物资源与环境学报,2008, 17(2): 9-14.

MAO L, YANG D Q, WANG D M, *et al.* Analyses of intraspecific and interspecific competition of *Pinus sylvestris* var *mongolica* natural forest in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2008, 17(2): 9-14. (in Chinese)

[24] 段仁燕,黄敏毅,吴甘霖,等. 天柱山黄山松种内与种间竞争的研究[J]. 广西植物, 2008, 28(1): 78-81.

DUAN R Y, HUANG M Y, WU G L. Study on intraspecific and interspecific competition of *Pinus taiwanensis*[J]. Guihaia, 2008, 28(1): 78-81. (in Chinese)

[25] BELLA I E. A new competition model for individual trees [J]. Forest Science, 1971, 17(3): 364-372.

[26] PUKKALA T, KOLSTROEM T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine[J]. Silva Fennica, 1987, 21(1): 55-67.

[27] BIGING G S, DOBBERTIN M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees[J]. Forest Science, 1992, 38(3): 695-720.

[28] PUKKALA T. Methods to describe the competition process in a tree stand[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1989, 4(1-4): 187-202.

[29] HEGYI F. Growth models for tree and stand simulation[C]. Royal College of Forest. Stockholm, Sweden, 1974: 74-90.

[30] MARTIN G L, EK A R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth[J]. Forest Science, 1984, 30(3): 731-743.

[31] 刘兆刚,李凤日,于金成. 落叶松人工林单木模型的研究[J]. 植物研究,2003,23(2):238-243.

LIU Z G, LI F R, YU J C. The study of individual tree model on *Larix olgensis* plantation[J]. Bulletin of Botanical Research, 2003, 23(2): 238-243. (in Chinese)

[32] 张惠光. 福建柏单木生长模型的研究[J]. 中南林业调查规划, 2006, 25(3): 1-4.

ZHANG H G. Researchs on single wood growth model of *Fokienia hodginsii* [J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2006, 25(3): 1-4. (in Chinese)

[33] 王迪生,宋新民. 一个新的单木竞争指标—相对有效冠幅比[J]. 林业科学研究,1994,7(3):337-341.

WANG D S, SONG X M. A new single-tree competition measure-relative effective crown ratio[J]. Forest Research, 1994, 7(3): 337-341. (in Chinese)

[34] 王迪生,宋新民. 华北落叶松人工林 CCF 特性的探讨[J]. 河北林学院学报,1995,10(1):1-6.

WANG D S, SONG X M. Aanalysis of the CCF characteristics for *Laris principis-raapprechll* plantation [J]. Journal of Hebei Forestry College, 1995, 10(1): 1-6. (in Chinese)

[35] 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.

[36] 邹春静,徐文峰. 沙堤云杉种内、种间竞争的研究[J]. 植物生态学报,1998,22(3)269-274.

ZOU C J, XU W F. Study on interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 1998, 22(3) 269-274. (in Chinese)