

基于 Voronoi 图的群落优势树种种内种间竞争

汤孟平¹, 陈永刚¹, 施拥军¹, 周国模¹, 赵明水²

(1. 浙江林学院环境科技学院, 浙江临安 311300 ; 2. 天目山国家级自然保护区管理局, 浙江临安 311300)

摘要 在浙江天目山国家级自然保护区内, 选择典型常绿阔叶林设置样地, 样地大小 100m × 100m。用全站仪测定每株树木坐标 (x, y, z)。首先, 用优势度分析法确定群落优势树种。其次, 提出基于 Voronoi 图的 V_Hegyi 竞争指数, 并对 Hegyi、APA 和 V_Hegyi 三种竞争指数进行比较分析。最后, 采用 V_Hegyi 竞争指数分析常绿阔叶林的种内、种间竞争关系。结果表明 常绿阔叶林群落共有 11 个优势树种即细叶青冈 (*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、短尾柯 (*Lithocarpus brevicaudatus*)、豹皮樟 (*Litsea coreana*)、白栎 (*Quercus fabri*)、天目木姜子 (*Litsea auriculata*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、榉树 (*Zelkova schneideriana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、枫香 (*Liquidambar formosana*) 和黄檀 (*Dalbergia hupeana*)。比较分析认为, V_Hegyi 竞争指数既克服了用固定半径圆确定竞争单元的尺度不统一缺陷, 又可进行种内、种间竞争分析, 并保持竞争排序的稳定性, 因此是优于 Hegyi 和 APA 的更合适的竞争指数, 所以选择 V_Hegyi 竞争指数进行优势树种竞争分析。常绿阔叶林优势树种的种内竞争比种间竞争激烈。种内竞争最激烈的优势树种细叶青冈、青冈和短尾柯与其它优势树种的种间竞争强度也是最高的。反之, 种内、种间竞争都较弱的优势树种包括豹皮樟、白栎、天目木姜子、黄连木、榉树、杉木、枫香和黄檀。多数优势树种存在 1 个主要竞争树种, 很少有超过 3 个以上的情形。细叶青冈是群落最占优势的树种, 具有最强烈的种内竞争。同时, 也是所有其它优势树种的最大竞争者。

关键词 常绿阔叶林 优势度 Voronoi 图 种内竞争 种间竞争

文章编号 1000-0933 (2007) 11-4707-10 **中图分类号** Q948 **文献标识码** A

Intraspecific and Interspecific competition analysis of community dominant plant populations based on Voronoi diagram

TANG Meng-Ping¹, CHEN Yong-Gang¹, SHI Yong-Jun¹, ZHOU Guo-Mo¹, ZHAO Min-Shui²

1 School of Environmental technology, Zhejiang Forestry University, Linan City 311300, China

2 Management Office, National Nature Reserve of Mount Tianmu, Lin'an City 311300, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11) 4707 ~ 4716.

Abstract : One plot that represents typical evergreen broad-leaved forests was established and surveyed in Tianmu Mountain National Nature Reserve, Zhejiang Province, and the plot size was 100 m × 100 m. Each tree was located in terms of x-, y-, and z-coordinates using a total station and the dominant plant populations were determined based on the dominance index analysis method. Then, V_Hegyi competition index based on Voronoi diagram was put forward, and three competition indices including Hegyi, APA and V_Hegyi were compared. Finally, the new competition index V_Hegyi was applied to

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40471390) ; 浙江省自然科学基金资助项目 (Y305261) ; 浙江林学院科研发展基金资助项目 (2006FR20)

收稿日期 2006-07-19 ; **修订日期** 2007-09-17

作者简介 汤孟平 (1964 ~), 男, 湖南人, 博士, 教授, 主要从事森林可持续经营研究与教学。E-mail : goodtmp@yahoo. com. cn

致谢 在外业调查中, 得到天目山国家级自然保护区管理局的大力支持, 谨此致谢。

Foundation item The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30471390) and Zhejiang Natural Science Foundation (No. Y305261) and Science Development Foundation of Zhejiang Forestry University (No. 2006FR20)

Received date 2006-07-19 ; **Accepted date** 2007-09-17

Biography TANG Meng-Ping, Ph. D., Professor, mainly engaged in forest sustainable management. E-mail : goodtmp@yahoo. com. cn

analyze intraspecific and interspecific competition of dominant species. The results show that in the evergreen broadleaf forest that was studied, there are eleven dominant tree species, including *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*, *Cyclobalanopsis glauca*, *Lithocarpus brevipendulus*, *Litsea coreana*, *Quercus fabri*, *Litsea auriculata*, *Pistacia chinensis*, *Zelkova schneideriana*, *Cunninghamia lanceolata*, *Liquidambar formosana* and *Dalbergia hupeana*. The comparison and analysis imply that V_Hegyi not only overcomes the shortcoming in the inconsistency of measure units used to determine the competition based on fixed radius circles, but also can be used to make intraspecific and interspecific competition analysis and leads to stable rank of competition. Thus, V_Hegyi is superior to Hegyi and APA, and applicable for dominant tree species competition analysis. In the evergreen broadleaf forest, the intraspecific competition is fiercer than the interspecific competition. The dominant tree species whose intraspecific competition is the fiercest, *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*, *Cyclobalanopsis glauca* and *Lithocarpus brevipendulus*, also possess the cruelest interspecific competition. On the contrary, both intraspecific and interspecific competition of the tree species including *Litsea coreana*, *Quercus fabri*, *Litsea auriculata*, *Pistacia chinensis*, *Zelkova schneideriana*, *Cunninghamia lanceolata*, *Liquidambar formosana* and *Dalbergia hupeana*, are weak. Most of the dominant tree species have one main competitor, but few have more than three. *Cyclobalanopsis myrsinaefolia* is the absolutely dominant tree species and shows the fiercest intraspecific competition and at the same time, it is also the strongest competitor of other dominant tree species.

Key Words : evergreen broad-leaved forest ; dominance index ; Voronoi diagram ; intraspecific competition ; interspecific competition

植物竞争一直是生态学研究的核心问题。国外研究树木竞争的指数有数十种之多如林木大小比、树冠或影响圈重叠度、生长空间等,可分为与距离有关和与距离无关两大类^[1]。近年来,随着森林可持续经营对森林空间结构信息需求的增加,在树木竞争研究中,广泛采用与距离有关的竞争指数^[1~6]。Hegyi 1974 年的竞争指数是国内外应用最多的与距离有关竞争指数之一^[1~10],该指数操作简便^[1,12],又包含反映树木生长状况的重要因子胸径。

Hegyi 1974 年的竞争指数需要测定树木坐标,以确定竞争单元。竞争单元由对象木和竞争木组成^[1,13,14]。确定竞争单元的传统方法是采用固定半径圆,即以对象木为中心,在给定半径圆内的其他树木为竞争木。此方法存在两个缺点:第一,圆半径有多种尺寸,如 3.05m^[1]、5m^[1,8]、6m^[1,15]、7.62m^[6]、8m^[1],尺度不统一,结果不便比较。第二,事实上,植物个体主要与直接邻体竞争^[7]。采用固定半径圆可能把非直接竞争者选为竞争木,而把某方向上的直接竞争者排除在竞争单元之外。

用 Voronoi 图确定竞争单元,则可以克服以上两个缺点。Voronoi 图最早由俄国数学家 Voronoi 在 1908 年提出,1911 年荷兰气象学家 Thiessen 将其应用于气象观测而出名^[8]。Voronoi 图是以诸多地理空间实体作为生长目标,按距离每一目标最近原则,将整个连续空间剖分为若干个 Voronoi 多边形,每一个 Voronoi 多边形只包含一个生长目标^[9]。由于 Voronoi 图中的空间实体与 Voronoi 多边形一一对应,常用 Voronoi 多边形确定空间实体的影响范围^[10],如城市的吸引范围、竞争分析等^[1,22]。1965 年,Brown 最早把 Voronoi 图用于树木竞争分析,提出生存面积指数 APA (area potentially available)^[11]。APA 就是用树木为离散点所生成 Voronoi 多边形的面积来表示目标树可利用生存空间的大小。但 APA 主要用于物种竞争能力排序,不能直接用于种内、种间竞争分析。

本研究以浙江天目山国家级自然保护区的常绿阔叶林群落为例,采用优势度分析法确定群落优势树种,在 GIS (地理信息系统)支持下,用 Voronoi 图确定竞争单元,提出用 V_Hegyi 竞争指数分析种群竞争关系的新方法。通过对 Hegyi、APA 和 V_Hegyi 3 种竞争指数的比较分析,证实 V_Hegyi 竞争指数既克服了用固定半径圆确定竞争单元的尺度不统一缺陷,又可进行种内、种间竞争分析,是更合适的竞争指数。

1 研究区概况

浙江天目山国家级自然保护区位于浙江省西北部临安市境内的西天目山,距省会杭州 94km,地理坐标为东经 119°23'47" ~ 119°28'27",北纬 30°18'30" ~ 30°24'55"。年平均气温 14.8 ~ 8.8℃ ;≥10℃ 积温 5100 ~ 2500℃ ,年降水量 1390 ~ 1870mm,相对湿度 76% ~ 81%。受海洋暖湿气候影响较深,具有中亚热带向北亚热带过渡特征,森林植被十分茂盛。植被分布有着明显的垂直界限,自山麓到山顶垂直带谱为 :海拔 870m 以下为常绿阔叶林 ;870 ~ 1100m 为常绿、落叶阔叶混交林 ;1100 ~ 1380m 为落叶阔叶林 ;1380 ~ 1506m 为落叶矮林。其中,常绿阔叶林是自然保护区内重点保护植被类型。已针对常绿阔叶林的生物多样性 [4]、垂直分布带 [5]、资源数据库 [6] 以及优势种群空间分布格 [7] 等方面开展了研究,但对常绿阔叶林的优势树种种内、种间竞争研究少见报道。

2 研究方法

2.1 样地调查

在保护区内,选择典型的常绿阔叶林设置样地,样地大小 100m × 100m。用相邻格子方法,把样地划分为 100 个 10m × 10m 的调查单元。在每个调查单元内,对胸径大于或等于 5cm 的木本植物进行每木调查,记录树种种类,测定每株树木的胸径、树高、活枝下高、冠幅等因子,采用激光对中全站仪 (徕卡 TCR702Xrange) 测定每株树木三维坐标 (x,y,z),其中 x,y 是平面直角坐标,z 是海拔高度。共测定树木 1603 株。

2.2 数据分析方法

2.2.1 优势树种

优势树种按优势度分析法确定 [8,29]。方法是首先计算群落乔木层每个树种的相对胸高断面积,并作为优势度,按优势度从大到小排序。然后,通过下式确定优势树种数

$$d = \frac{1}{N} [\sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{j \in U} x_j^2] \tag{1}$$

式中,x_i为排序在前的上位种 (T) 的相对胸高断面积,x 为优势树种所占的理想百分比,x_j为除上位种外的剩余种 (U) 的相对胸高断面积,N 为总种数。如果群落只有一个优势树种,则优势树种的理想百分比为 100%。如果有两个优势树种,则它们的理想百分比为 50%,如果有 3 个优势树种,则理想百分比为 33.3%,依次类推,分别计算 d 值。当 d 值最小时的上位种数为群落乔木层的优势树种数。

2.2.2 竞争单元

基于 Voronoi 图确定的竞争单元由对象木和竞争木组成。对象木是样地内任意一株树木。根据 Voronoi 图的特征,每个 Voronoi 多边形内仅包含 1 株树木。对象木所在 Voronoi 多边形的相邻 Voronoi 多边形内的树木就是竞争木。显然,对象木的竞争木株数与相邻 Voronoi 多边形的个数相等 (图 1)。

2.2.3 竞争指数

为便于比较,把基于固定半径圆确定竞争单元的 Hegyi 1974 年的竞争指数记为 Hegyi。基于 Voronoi 图确定竞争单元的 Hegyi 1974 年的竞争指数记为 V_Hegyi。Hegyi 和 V_Hegyi 竞争指数的计算公式相同,即根据 (1) 式计算对象木 i 的竞争指数 :

$$CI_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{d_j}{d_i \cdot L_{ij}} \tag{1}$$

式中,CI_i对象木 i 的竞争指数 ;L_{ij}对象木 i 与竞争木 j 之间的距离 ;d_i对象木 i 的胸径 ;d_j竞争木 j 的胸径 ;n_i对象木 i 所在竞争单元的竞争木株数 ;j = 1,2,⋯,N ;N 对象木株数。

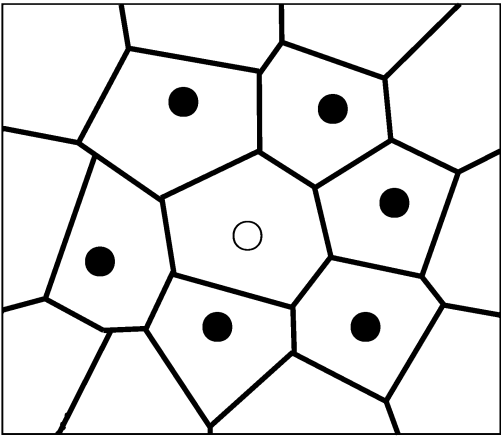


图 1 基于 Voronoi 图的竞争单元

Fig.1 Competition unit based on Voronoi diagram
○对象木 Subject tree ●竞争木 Competitors

样地内所有对象木竞争指数为：

$$CI = \sum_{i=1}^N CI_i$$

§)

当对象木和竞争木为同一树种时,CI 表示种内竞争指数 ;当对象木和竞争木为不同树种时,CI 表示种间竞争指数。

为了与 Hegyi、V_Hegyi 竞争指数 (n⁻¹) 区别,把基于 Voronoi 多边形面积的竞争指数记为 APA (n²)。

2.2.4 边缘矫正

处在样地边缘的对象木,其竞争木可能位于样地之外。为消除边缘的影响,必须进行边缘矫正。边缘矫正的方法是在样地的上、下、左、右、左上、左下、右上、右下 8 个邻域复制原样地,即平移原样地,形成 9 个样地组成的大样地。原样地乔木层 1603 株树木,则大样地有 14427 株树木。计算竞争指数时,对象木仅包含原样地内的树木。

3 结果与分析

3.1 优势树种

计算群落乔木层各树种的相对胸高断面积,根据 () 式确定优势树种。结果表明,群落有 11 个优势树种(表 1)。优势树种的株数和胸高断面积分别占样地的 77.92% 和 75.38%,在群落乔木层占明显优势。

表 1 优势树种株数与胸高断面积
Table 1 Tree number of dominant tree species and basal area

优势种 *	代码 *	株数	比例 (%)	胸高断面积	比例 (%)
Dominant tree species	Code	Tree number	Percent	Basal area	Percent
细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i>	A	484	30.19	5.6784	18.51
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	B	178	11.10	2.2709	7.40
短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i>	C	183	11.42	2.4963	8.14
豹皮樟 <i>Litsea coreana</i>	D	82	5.12	0.7242	2.36
白栎 <i>Quercus fabri</i>	E	66	4.12	2.1750	7.09
天目木姜子 <i>Litsea auriculata</i>	F	48	2.99	0.8212	2.68
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	G	44	2.74	1.7927	5.84
榉树 <i>Zelkova schneideriana</i>	H	40	2.50	0.8035	2.62
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	I	51	3.18	3.1972	10.42
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	J	42	2.62	2.3694	7.72
黄檀 <i>Dalbergia hupeanai</i>	K	31	1.93	0.7989	2.60
小计 Total		1249	77.91	23.1277	75.38
样地 Sample		1603	100	30.6817	100

* 下同 the same below

3.2 树木竞争 Voronoi 图

以大样地乔木层每株树木为生长目标,利用 MapInfo 的 Voronoi 图功能,产生边缘矫正和树木竞争 Voronoi 图(图 2)。图中,实线矩形框是原样地边界。实线矩形框外部是边缘矫正的 8 邻域 Voronoi 多边形(仅列出部分)。

Voronoi 图是 V_Hegyi 竞争指数分析的基础。由图 2 可见,树木竞争 Voronoi 图由大量 Voronoi 多边形组成,从图上看十分复杂,但计算并不困难。基于二次开发语言 MapBasic 进行编程,由计算机自动完成计算。编程要点是以原样地的树木作为对象木,根据 MapInfo 相邻多边形地理分析功能,确定竞争单元与竞争木,按 () 式和 () 式计算竞争指数。

3.3 竞争指数比较分析

用 Hegyi、V_Hegyi、APA 分别计算各优势树种的总竞争指数(种内 + 种间),并进行比较分析。这里,计算

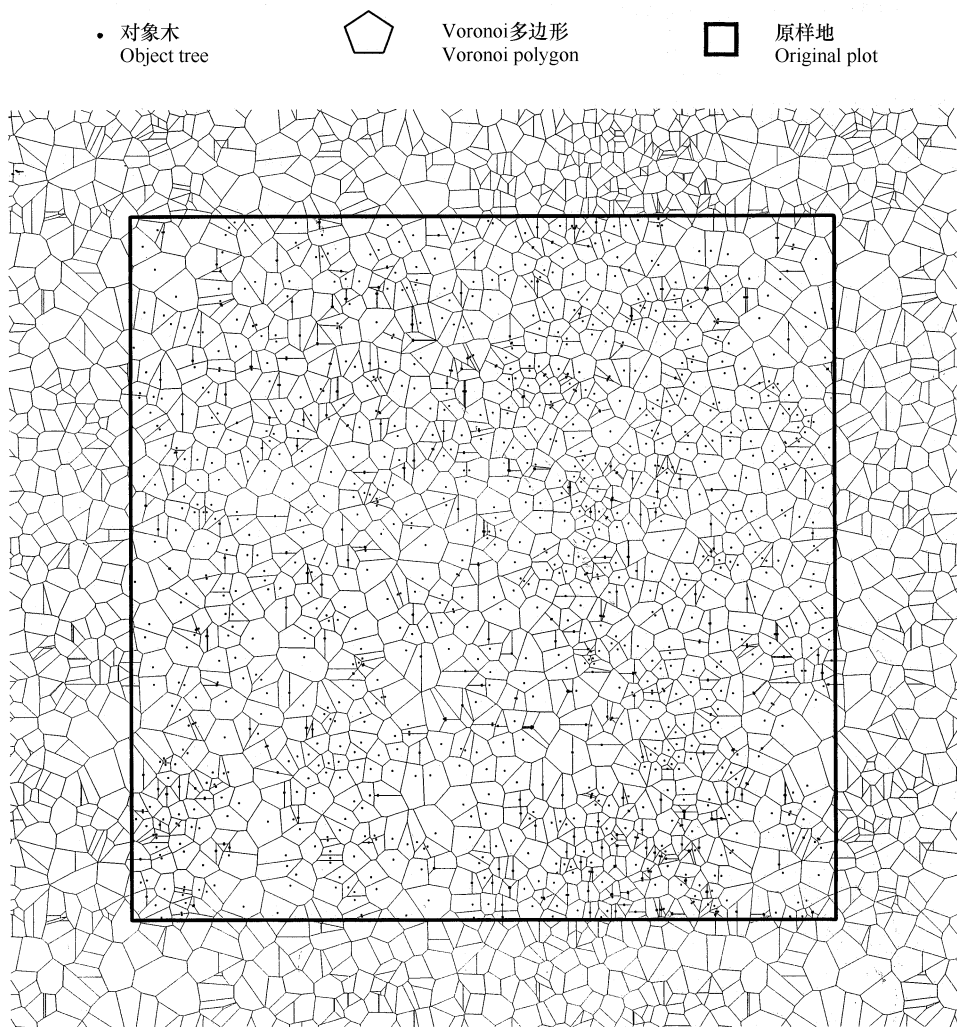


图2 边缘矫正和树木竞争 Voronoi 图

Fig. 2 Marginal correction and voronoi diagram of tree competition

Hegyi 竞争指数时,半径取 6 m^[15] 图 3)。可见,尽管 3 种竞争指数的量纲不同,但优势树种竞争指数的数量级和竞争强度排序却十分接近,说明这 3 种方法可以相互替代或验证。而且,竞争强度越大的优势树种 细叶青冈 A、青冈 B、短尾柯 C), 这种一致性趋势越明显。表明,与 Hegyi 和 APA 竞争指数相比较,V_Hegyi 竞争指数同样是一个有效的竞争指数。

为进一步说明,基于 Voronoi 图的 V_Hegyi 竞争指数优于传统采用固定半径圆确定竞争单元的 Hegyi 竞争指数,取不同的半径 R 值 2 ~ 10 m,观察在不同半径下各优势树种的 Hegyi 竞争指数排序变化情况 图 4)。图 4 (b) 表示,在所有给定半径下,竞争排序保持稳定的优势树种,按竞争强度由大到小依次为 细叶青冈 A > 青冈 B > 短尾柯 C > 豹皮樟 D > 白栎 E > 天目木姜子

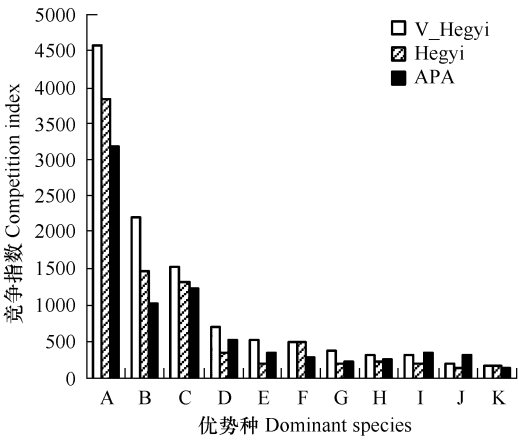


图3 3 种竞争指数的比较

Fig. 3 Comparison of three competition indices

F。这些优势树种竞争排序与 V_{Hegyi} 竞争指数排序完全相同 图 3)。但其余 5 个优势树种的竞争排序因固定半径圆的半径取值不同而发生变化。主要表现为竞争排序曲线出现交叉现象。杉木 I 和黄连木 G 最明显，在半径 ≥ 4 m 之后，竞争排序完全改变，见图 4 b)。

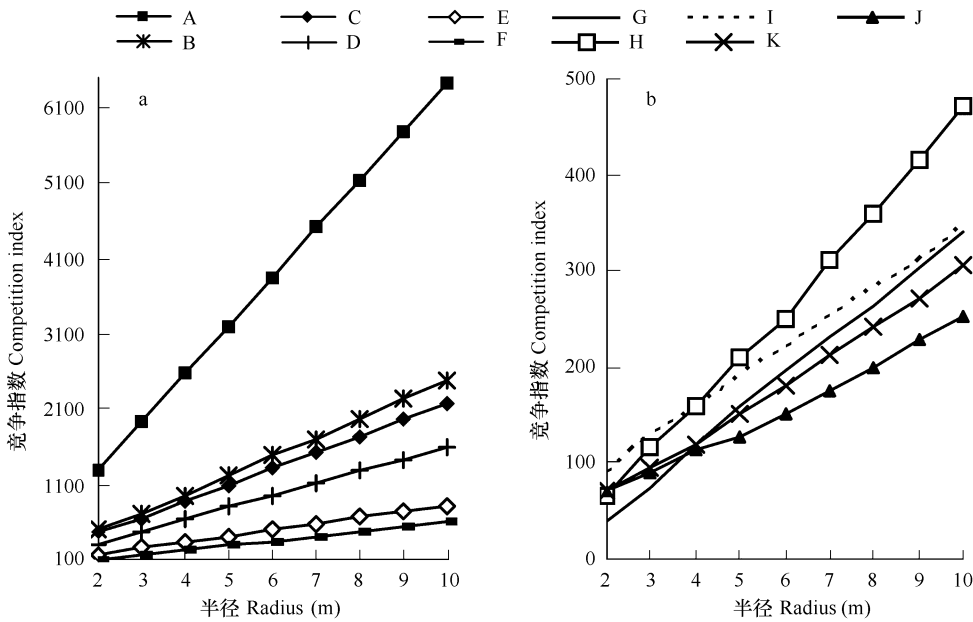


图 4 基于固定半径圆的优势树种 Hegyi 总竞争强度

Fig. 4 Total competition index of dominant tree species based on given radius circles

a) 竞争排序稳定 Competition order unchanged; b) 竞争排序变化 Competition order changed

可以看出,竞争强度较大的优势树种的竞争排序并不因半径取值不同而改变,并且保持 Hegyi 竞争指数与 V_{Hegyi} 竞争指数排序的一致性。但是,对竞争强度较小的优势树种,基于固定半径圆的 Hegyi 竞争排序因半径取值的不同,竞争排序可能发生变化,导致排序结果的不稳定性。而用 V_{Hegyi} 竞争排序则不存在这个问题。

综上所述,本文提出的 V_{Hegyi} 竞争指数对优势树种竞争强度的排序不仅与常用的 Hegyi 竞争指数接近,而且可以得到唯一的排序结果。说明 V_{Hegyi} 竞争指数是更适用的竞争指数。因此,以下采用 V_{Hegyi} 竞争指数进行种内、种间竞争分析。

3.4 优势树种种内竞争分析

群落乔木层 11 个优势树种的种内竞争强度有较大差异 图 5)。根据竞争指数变动范围,明显地,可以把竞争强度分为 3 级：

- I 强度竞争 竞争指数 >2000 ,优势树种只有细叶青冈 A；
- II 中度竞争 $500 < \text{竞争指数} \leq 2000$,优势树种包括青冈 B 和短尾柯 C；
- III 弱度竞争 竞争指数 ≤ 500 ,优势树种包括豹皮樟 D、白栎 E、天目木姜子 F、黄连木 G、榉树 H、杉木 I、枫香 J、黄檀 K。

常绿优势树种细叶青冈种子粒大而重,多落在母株周围。细叶青冈还具有萌生繁殖习性。也就是说,细叶青冈种群存在有性繁殖的实生和无性繁殖的萌生 (克隆生长) 两种形式^[0,31],种群基本上呈集群分布格局,导致种内竞争十分激烈,属强度竞争。青冈和短尾柯也具有类似繁殖属性,竞争强度也较高。但这两个树种的株数均约为细叶青冈的 1/3,竞争强度远小于细叶青冈,属中度竞争。常绿优势树种豹皮樟和杉木,以及落叶优势树种白栎、天目木姜子、黄连木、榉树、枫香、黄檀则属于弱度竞争。优势树种的以上 3 级竞争基本决定了群落的种内竞争态势。在群落自然演替或经营过程中,为调节种内竞争,属于 I 级和 II 级竞争强度的优势

种群必然是自稀疏或择伐的主要对象。

3.5 优势树种种间竞争分析

种间竞争是反映物种间相互关系的一个重要特征。种间竞争指数计算是以样地内某个优势树种的树木为对象木,以相邻其它优势树种的树木为竞争木。各优势树种的种间竞争关系如图 6。图 6 (A) ~ (K) 表示优势树种 A ~ K 与其他优势树种的竞争关系。

容易看出,11 个优势树种的种间竞争强度远小于种内竞争强度 图 5 和图 6)。这一结果进一步证实:常绿阔叶林优势种群的种内竞争比种间竞争激烈^[8,9]。

通过分析不同优势树种之间的竞争强度,可知种间竞争表现出 3 个明显的特点:

第一,种内竞争最激烈的优势树种细叶青冈、青冈和短尾柯 图 5A、B、C) 与其它优势树种都存在种间竞

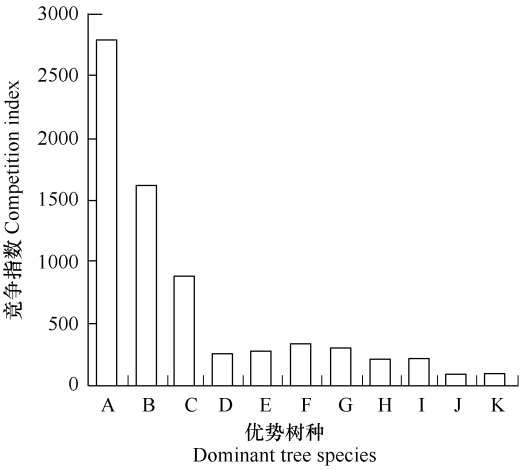


图 5 优势树种种内竞争强度

Fig. 5 Intraspecific competition intensity of dominant tree species

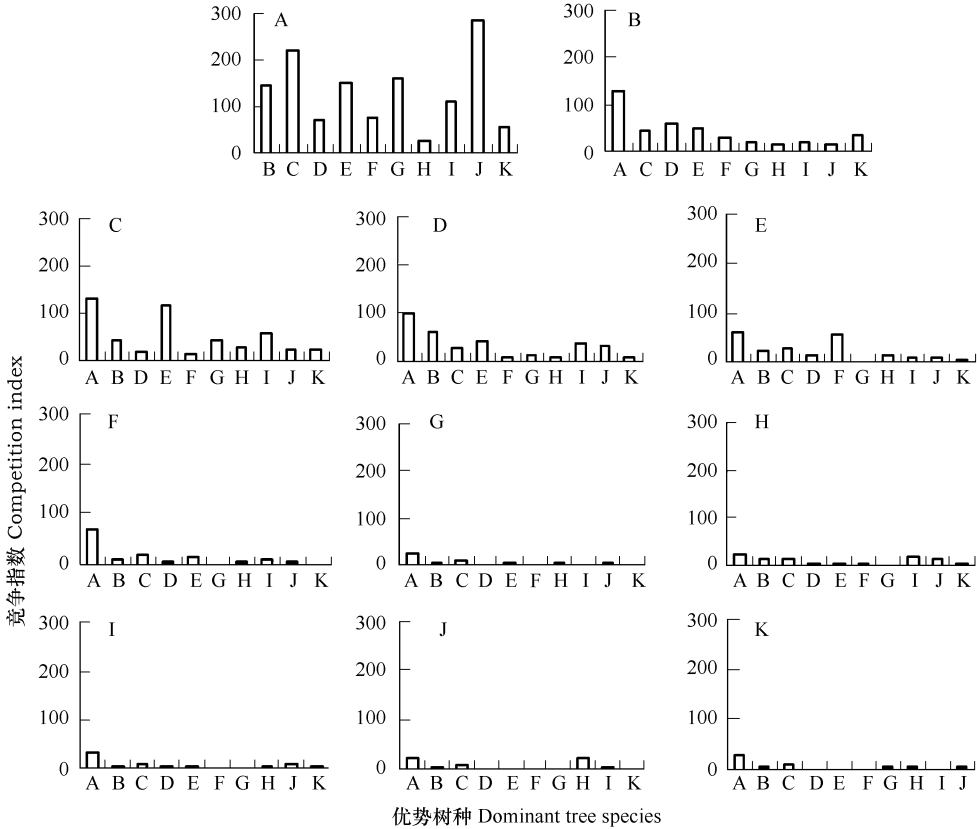


图 6 优势树种种间竞争

Fig. 6 Interspecific competition of dominant tree species

争,且种间竞争强度也比较高,见图 6 (A)、(B)、(C)。种内竞争较弱的优势树种豹皮樟、白栎、天目木姜子、黄连木、榉树、杉木、枫香、黄檀与其它优势树种的竞争也比较弱,见图 6 (D)、(E)、(F)、(G)、(H)、(I)、(J)、(K)。这些优势树种与许多优势树种甚至不存在竞争,见图 6 (E)、(F)、(G)、(H)、(I)、(J)、(K)。表明,群落中种内竞争激烈的优势树种与其它优势树种的种间竞争也相对比较激烈。反之亦然。这是因为壳斗科的优势树种更新繁殖能力强,个体数多,种内、种间相遇的机率高,不仅种内竞争激烈,种间竞争也相对较强。其

他优势树种,更新能力弱,株数数少,无论种内、种间竞争都较弱。

第二,多数优势树种存在 1 个主要竞争树种,如青冈、豹皮樟、天目木姜子、黄连木、杉木、黄檀,见图 6 b)、d)、f)、g)、i)、k)。少数优势树种存在 2 个主要竞争树种,如短尾柯、白栎、榉树、枫香,见图 6 c)、e)、h)、j)。存在 3 个以上主要竞争树种的优势树种只有细叶青冈,见图 6 l)。

第三,细叶青冈是其它各优势树种最强烈的竞争树种,见图 6 b) ~ k)。表明,细叶青冈作为群落最占优势的树种,不仅具有最激烈的种内竞争(图 5)。同时,也面临所有其它优势树种的最大竞争压力。

4 结论

用 Hegyi、V_Hegyi 和 APA 3 种竞争指数对优势树种竞争强度排序的结果十分接近,说明这 3 种方法可以相互替代或验证。尤其竞争强度越大的优势树种,竞争排序结果的一致性越高。

尽管采用基于固定半径圆的 Hegyi 竞争指数,竞争强度较大的优势树种的竞争排序可保持与基于 Voronoi 图的 V_Hegyi 竞争指数排序结果的一致性。但是,对竞争强度较小的优势树种,基于固定半径圆的 Hegyi 竞争排序,因半径取值的不同,可能产生竞争排序结果的不稳定性。而 V_Hegyi 竞争排序结果是唯一的,这是 Voronoi 图的基本特征决定的。因此,本文提出的 V_Hegyi 竞争指数是更适用的竞争指数。

针对浙江天目山国家级自然保护区的常绿阔叶林群落,选择 V_Hegyi 竞争指数分析群落优势树种的种内、种间竞争关系。结果表明 调查的常绿阔叶林群落共有 11 个优势树种,包括细叶青冈、青冈、短尾柯、豹皮樟、白栎、天目木姜子、黄连木、榉树、杉木、枫香、黄檀。常绿阔叶林优势树种的种内竞争比种间竞争激烈。种内竞争最激烈的优势树种与其它优势树种的种间竞争强度也是最高的,这些树种包括细叶青冈、青冈和短尾柯。反之,种内、种间竞争都较弱的优势树种包括豹皮樟、白栎、天目木姜子、黄连木、榉树、杉木、枫香和黄檀。多数优势树种存在 1 个主要竞争树种,很少有超过 3 个以上的情形。细叶青冈是群落最占优势的树种,具有最激烈的种内竞争。同时,也是所有其它优势树种的最大竞争者。这些结果对天目山常绿阔叶林的恢复与重建有一定参考意义。

References :

[1] Biging G S, Bobbertin M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*,1995,41 (1) 360—377.

[2] Zou C J, Xu W D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica*. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998,22 (1) 269—274.

[3] Zhang S Y, Zheng S Q. Quantitive study on intraspecific and interspecific competition for dominant population of evergreen broad-leaved forest in Bijia Mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37 (1) 185—188.

[4] Shi H J, Zhang L J. Local analysis of tree competition and growth. *Forest Science*, 2003,49 (6) 938—955.

[5] Duan R Y, Wang X A. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005,29 (1) 242—250.

[6] Corral R J, Alvarez Gonzalez J, Oscar A, Hernandez F J. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *Eur J Forest Res*,2005,124 133—142.

[7] Hegyi F. A simulation model for managing jack- pine stands. In : Fries, J. ed. *Growth models for tree and stand simulation*. Sweden : Royal College of Forestry, Stockholm, 1974. 74—90.

[8] Guo Z L, Ni C C, Dong J L. The main companion species in influence circle of *Taxus cuspidata* S. et Z. growth and quantitative analysis on the other tree species. *Journal of Jilin Forestry University*, 1996,12 (1) 53—68.

[9] Jin Z X. Preliminary study on the intraspecific and interspecific competition of *Gordonia acuminata* in its community. *Bulletin of Botanical Research*, 1997,17 (1) 110—118.

[10] Shi S Y, Li X G, Wang Z P, et al. Study on the competition in the course of ecological reconstruction of wind damaged slash in Mt. Jinyun. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 2000,25 (1) 501—605.

[11] Zou C J, Han S J, Zhang J H. Competition relationship among tree species broad-leaved *Korean Pine* mixed forest and its significance for managing the forest. *Chinese Journal of Ecology*, 2001,20 (4) 35—38.

[12] Liu T, Li Y L, Zhou Z Q, et al. Intraspecific and interspecific competition of Japanese yew (*Taxus cuspidata*). *Acta Ecologica Sinica*, 2007,27

§) 924—929.

[3] Martin G L, Ek A R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *For. Sci.*, 1984,30 731—743.

[4] Daniels R F, Burkhardt H E, Clason T R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986,16 1230—1237.

[5] Wu C Z, Hong W, Liao J L. Study on intraspecific competition of young *Masson pine*. *Journal of Fujian College of Forestry*, 1997,17 4) 289—292.

[6] Holmes M J, Reed D D. Competition indices for mixed species northern hardwoods. *Forest Science*, 1991,37 §) 1338—1349.

[7] Wang Z F, An S Q, Zhu X L, *et al.* Distribution pattern of tree populations in tropical forest and comparison of its study methods. *Chinese Journal of Applied Ecology*,1998, 9 6) 575—580.

[8] Wang X S, Li Q, Guo Q S, *et al.* The generalization and construction of Voronoi diagram and its application on delimitating city's affected coverage. *Journal of Central China Normal University (Nature Science)*, 2002,36 1) 107—111.

[9] Chen J, Zhao R L, Qiao C F. Voronoi diagram — based GIS spatial analysis. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003,28 §special Issue) :32—37.

¶0] Chen J. Voronoi dynamic spatial data model. Beijing :SinoMaps Press,2002.

¶1] Li X Y, Zheng X Q. The data mining of city's attracting scope based on curving Voronoi diagram. *Journal of Institute of Surveying and Mapping*, 2004,21 1) 38—41.

¶2] Zhu W N, Ma J S, Huang X Y, *et al.* A study of GIS spatial competition analysis model based on projective weighted Voronoi diagrams. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2004,33 1) 146—150.

¶3] Brown G S. Point density in stems per acre. *New Zealand Forest Research Notes*, 1965, 38 :11.

¶4] Zhou C G. The ecological characteristics of forest biodiversity of Tianmu Mountain and its sustainability. *Journal of Zhejiang Forestry Science & Technology*, 1996,16 §) 1—7.

¶5] Zhang W Q, Li X H, Luo Q Z, *et al.* Spatial distribution of vegetation in Tianmu Mountain Nature Reserve based on RS and GIS data. *Chinese Journal of Ecology*, 2003,22 6) 21—27.

¶6] Wang W J, Wang C C. The construction of forest resources database of Tianmu Mountain Nature Reserve. *Fujian Geography*, 2004,19 1) 30—34.

¶7] Tang M P, Zhou G M, Shi Y J, *et al.* Study on dominant populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, China. *Journal of Plant Ecology*, 2006,30 §) 743—752.

¶8] Ohsawa M. Difference of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of M. Fuji. 1984. *Vegetation*, 57 15—52.

¶9] Da L J, Yang Y C, Song Y C. Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broad-leaved forest in Tiantong national forest park, Zhejiang Province, eastern China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004,28 §) 376—384.

¶0] Fahrig L. The advantage of long-distance clonal spreading in highly disturbed habitats. *Evolutional Ecology*, 1994,11 172—187.

¶1] Hu X B, Yu M J. Size structure and distribution pattern of *Cyclobalanopsis glauca* population in Evergreen Broad-leaved Forests. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2003,30 §) 574—579.

参考文献：

[2] 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究. *植物生态学报*,1998,22 §) 269~274.

[3] 张思玉, 郑世群. 笔架山常绿阔叶林优势种群种内种间竞争的数量研究. *林业科学*,2001, 37 1) 185~188.

[5] 段仁燕, 王孝安. 太白红杉种内和种间竞争研究. *植物生态学报*,2005,29 1) 242~250.

[8] 郭忠玲, 倪成才, 董井林. 紫杉生长影响圈主要伴生植物组成及与其它树种关系的定量分析. *吉林林学院学报*,1996.12 1) 63~68.

[9] 金则新. 四川大头茶在其群落中的种内与种间竞争的初步研究. *植物研究*,1997,17 1) 110~118.

[0] 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. *西南师范大学学报 (自然科学版)*,2000,25 §) 601~605.

[1] 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. *生态学杂志*, 2001,20 4) 35~38.

[2] 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. 生态学报, 2007, 27 (5) 924 ~ 929.

[5] 吴承桢, 洪伟, 廖金兰. 马尾松中幼龄林种内竞争的研究. 福建林学院学报, 1997, 17 (4) 289 ~ 292.

[7] 王峥嵘, 安树青, 朱学雷, 等. 热带森林乔木种群分布格局及其研究方法的比较. 应用生态学报, 1998, 9 (6) 575 ~ 580.

[8] 王新生, 李全, 郭庆胜, 等. Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2002, 36 (1) : 107 ~ 111.

[9] 陈军, 赵仁亮, 乔朝飞. 基于 Voronoi 图的 GIS 空间分析研究. 武汉大学学报 (信息科学版), 2003, 28 (特刊) 32 ~ 37.

[10] 陈军. Voronoi 动态空间数据模型. 北京: 测绘出版社, 2002.

[11] 李新运, 郑新奇. 基于曲边 Voronoi 图的城市吸引范围挖掘方法. 测绘学院学报, 2004, 21 (1) 38 ~ 41.

[12] 朱渭宁, 马劲松, 黄杏元, 等. 基于投影加权 Voronoi 图的 GIS 空间竞争分析模型研究. 测绘学报, 2004, 33 (1) 146 ~ 150.

[14] 周重光. 天目山森林生物多样性的生态学特征及其保续. 浙江林业科技, 1996, 16 (1) 1 ~ 7.

[15] 章皖秋, 李先华, 罗庆州, 等. 基于 RS、GIS 的天目山自然保护区植被空间分布规律研究. 生态学杂志, 2003, 22 (6) 21 ~ 27.

[16] 王文娟, 王传昌. 天目山自然保护区森林资源数据库的构建. 福建地理, 2004, 19 (1) 30 ~ 34.

[17] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局. 植物生态学报, 2006, 30 (5) 743 ~ 752.

[19] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型. 植物生态学报, 2004, 28 (3) 376 ~ 384.

[11] 胡小兵, 于明坚. 青冈常绿阔叶林中青冈种群结构与分布格局. 浙江大学学报 (理学版), 2003, 30 (5) 574 ~ 579.