

DOI: 10.5846/stxb201901240181

杜秀芳, 汤孟平, 潘建勇, 沈钱勇, 杨帆. 临安区不同森林类型竞争指数比较研究. 生态学报, 2020, 40(12): 4064-4072.

Du X F, Tang M P, Pan J Y, Shen Q Y, Yang F. Study on competition index of different typical forest types on Lin'an region. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(12): 4064-4072.

临安区不同森林类型竞争指数比较研究

杜秀芳^{1,2}, 汤孟平^{1,2,*}, 潘建勇^{1,2}, 沈钱勇^{1,2}, 杨帆^{1,2}

1 浙江农林大学省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 临安 311300

2 浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300

摘要: 竞争对树木生长有重要影响, 通常用竞争指数定量描述树木之间的竞争关系。以浙江省杭州市临安区的乔木林为对象, 利用 2004 年临安区森林资源监测数据, 基于 Voronoi 图的 Hegyi 竞争指数, 在区域尺度上对临安区多种森林类型的竞争关系进行分析。结果表明: 在单木水平上, 不同森林类型单木的总竞争指数、种内竞争指数、种间竞争指数在胸径 5—10 cm 最大; 单木平均竞争指数随着胸径的增大而降低, 胸径 > 30 cm 的竞争压力得以缓解; 临安区林木的竞争主要来源于种内竞争, 天然林的种内竞争占总竞争指数的比例 > 50%, 人工林的种内竞争占总竞争指数的比例 > 60%。径级平均总竞争指数、种内竞争指数、种间竞争指数与胸径的关系均服从对数函数关系。在林分水平上, 不同森林类型的林分总竞争指数、种内竞争指数、种间竞争指数存在显著差异。平均总竞争顺序为: 天然阔叶林 > 天然针阔混交林 > 人工针叶林 > 天然针叶林 > 人工针阔混交林 > 人工阔叶林。种内平均竞争顺序为: 人工针叶林 > 天然阔叶林 > 天然针叶林 > 天然针阔混交林 > 人工针阔混交林 > 人工阔叶林。种间平均竞争顺序为: 天然针阔混交林 > 人工针阔混交林 > 天然阔叶林 > 天然针叶林 > 人工针叶林 > 人工阔叶林。人工阔叶林的平均总竞争指数、种内竞争指数和种间竞争指数均为最小, 该森林类型以山核桃经济树种为优势树种, 说明为提高山核桃产量, 人为控制低种植密度的经营措施有效降低了林分竞争强度。

关键词: 临安区; 针阔混交林; 阔叶林; 针叶林; 竞争指数

Study on competition index of different typical forest types on Lin'an region

DU Xiufang^{1,2}, TANG Mengping^{1,2,*}, PAN Jianyong^{1,2}, SHEN Qianyong^{1,2}, YANG Fan^{1,2}

1 State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, China

2 School of Environmental and Resources Science, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, China

Abstract: Competition has an important impact on tree growth. Competition index is widely used to quantitatively describe the competition relationship among trees. In this study, the arbor forests were taken as the research objects in Lin'an of Hangzhou city, Zhejiang Province. Based on the Hegyi Competition Index of Voronoi diagram, the competition relationship of various forest types was analyzed at regional scale in Lin'an in 2004. The results showed that at the level of single tree, the total competition index, intraspecific competition index, and interspecific competition index of individual trees of different forest types were the largest at diameter at breast height 5—10 cm. The average competition index of single tree decreased with the increase of diameter at breast height, and the competition pressure of diameter at breast height > 30 cm was alleviated. The competition of forests in Lin'an region mainly comes from intraspecific competition. The intraspecific competition of natural forests accounts for more than 50% of the total competition index, and the intraspecific competition of plantations accounts for more than 60% of the total competition index. The relationship between average DBH class total competition index, intraspecific competition index, interspecific competition index and diameter at breast height obeys the

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31870617); 国家林业局林业公益性行业科研专项 (20150430303)

收稿日期: 2019-01-24; **网络出版日期:** 2020-04-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tmpzafu@163.com

logarithmic function. At stand level, there are significant differences in total competition index, intraspecific competition index, and interspecific competition index among different forest types. The average total competition order was natural broad-leaved forest > natural coniferous and broad-leaved mixed forest > artificial coniferous forest > natural coniferous forest > artificial coniferous and broad-leaved mixed forest > artificial broad-leaved forest. The average intraspecific competition order was: artificial coniferous forest > natural broad-leaved forest > natural coniferous forest > natural mixed coniferous and broad-leaved forest > artificial mixed coniferous and broad-leaved forest > artificial broad-leaved forest. The average competition order among different forest types was natural coniferous and broad-leaved mixed forest > artificial coniferous and broad-leaved mixed forest > natural broad-leaved forest > natural coniferous forest > artificial coniferous forest > artificial broad-leaved forest. The average total competition index, intraspecific competition index, and interspecific competition index of artificial broad-leaved forest are the smallest. The economic tree species *Carya cathayensis* is the dominant tree species in this forest type, which indicates that the management measures of artificial control of low planting density effectively reduce the competition intensity of the stand in order to increase the yield of *Carya cathayensis*.

Key Words: Linan region; coniferous and broadleaved mixed forest; broadleaved forest; coniferous forest; competition index

植物体间的竞争与共存一直是生态学研究的核心问题^[1-3]。竞争是指两个或多个植物体对同一环境资源和能量的争夺中所发生的相互作用^[4]。而林木生长依赖于所处地表的环境资源,为争夺有限的环境资源,林木之间必然会产生竞争。Staebler^[5]首次提出了林木竞争指数,竞争指数是衡量林木个体生长差异的量化指标,其实质是林分中的林木对环境资源的需求与现实生境中林木对环境资源占有量之间的关系^[6]。

20 世纪 60 年代以来,国内外学者开展了大量关于树木竞争关系的研究^[7-14]。近年来国内研究通常设置大型固定样地或少量临时样地分析某种典型森林类型的竞争指数特征。张思玉和郑世群^[4]在笔架山常绿阔叶林设置 4 块面积为 400 m²的样地分析了阔叶林的竞争关系。汤孟平等^[15]在天目山常绿阔叶林设置 100 m × 100 m 样地,研究样地内优势树种的种内、种间竞争指数模型,表明 V_{Hegy} 是更适合林木竞争分析的指数。刘韶辉等^[16]在湖南会同鹰嘴界国家自然保护区内设置 0.96 hm²次生阔叶林样地,利用 Hegyi 的单木竞争指数对优势树种进行种内种间竞争分析研究。骆文建等^[17]为研究临安天目山枫香种内种间竞争关系,在天目山自然保护区选取 15 块 30 m × 30 m 具有代表性的典型样地,得出枫香的种内竞争强度随着林木径级的增大而减少及枫香种内种间竞争的数量关系。李际平等^[6]在福寿山林场 25 年生的杉木生态公益林设置 4 块 20 m × 30 m 样地,研究基于加权 Voronoi 图的林木竞争指数。罗梅和陈绍志^[18]在金沟岭林场选取样地大小为 40 m × 50 m 的落叶松人工林中龄林、近熟林、成熟林样地各两块,结果表明落叶松人工林的竞争主要来源于种内竞争,竞争指数随着胸径的增大而降低。

综上所述,目前森林竞争关系的研究主要采用大型固定样地或少量临时样地,分析典型森林类型的竞争指数特征,较少对区域尺度上多种森林类型的竞争关系进行比较研究。本研究以杭州市临安区为研究对象,根据临安区 2004 年森林资源监测样地数据,基于 Voronoi 图的 Hegyi 竞争指数,对临安区不同森林类型的总竞争、种内和种间竞争进行比较分析,旨在掌握不同森林类型的竞争关系,为合理调控森林空间结构,精准提高森林质量提供依据。

1 研究区概况

临安区位于浙江省杭州市西部,天目山脉南麓。地理位置是 29°56′—30°23′N, 118°51′—119°52′E。东西长约 100 km,南北宽约 50 km,土地总面积 3134.78 km²。属中亚热带北部季风气候区,四季分明,降水充裕。全区年均气温 16℃,年均降雨量 1614 mm。临安区森林植被属于亚热带常绿阔叶林分布区。全区植被类型和植物区系复杂,可分常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林等主要森林类型和 40 个植被群系^[19]。

2 研究方法

2.1 样地调查

本文选取 2004 年临安森林资源监测固定样地数据中的 367 个乔木林样地数据。每个样地大小为 28.28 m×28.28 m,对样地内胸径≥5 cm 的树木进行每木检尺,测定每株树木的 X、Y 坐标、胸径等数据。为了消除样地边缘的对象木受到样地外面的竞争木的影响,本研究采用八邻域法进行边缘校正。通过 Python 和 ArcGIS 相结合的编程,基于 Voronoi 图确定对象木的竞争木,以及种内竞争和种间竞争的计算。

2.2 数据处理方法

2.2.1 竞争指数计算方法

本文竞争指数的计算采用基于 Voronoi 图的 Hegyi 竞争指数,计算公式^[15]:

$$CI_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{d_j}{d_i L_{ij}} \quad (1)$$

式中: CI_i 为对象木 i 的竞争指数; L_{ij} 为对象木 i 与竞争木 j 之间的距离; d_i 为对象木 i 的胸径; d_j 为竞争木 j 的胸径; n_i 为对象木 i 所在竞争单元的竞争木株数。

样地内所有对象木竞争指数为:

$$CI = \sum_{i=1}^N CI_i \quad (2)$$

式中: CI 为林分竞争指数; N 为林分内林木总株数; CI_i 为林木 i 的点竞争指数。

林分竞争指数为:

$$\overline{CI} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CI_i \quad (3)$$

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。

2.2.2 混交度差异显著性检验

采用 SPSS 20.0 软件进行不同森林类型之间的差异显著性分析。首先进行单因素方差分析,当方差分析结果表明差异显著时,再进行多重比较分析,比较分析两两之间差异情况,以确定不同森林类型之间混交度的差异显著性^[20]。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型单木竞争指数比较分析

3.1.1 天然林胸径和竞争指数的关系

天然林不同径级的总竞争指数如表 1 所示。可以看出,在天然林的单木胸径分布中,三种天然林的胸径主要集中在 5—10 cm,小径木的单木竞争指数最大,均超过 50%。天然针叶林总竞争指数为 19717.71,平均竞争指数为 3.93;天然针阔混交林的总竞争指数为 12763.20,平均竞争指数为 4.60;天然阔叶林的总竞争指数为 47517.45,平均竞争指数为 5.09。天然针叶林和天然阔叶林随着单木胸径的变大,平均竞争指数不断下降,在胸径大于 25 cm 后,升降趋于稳定。天然针阔混交林平均总竞争指数在 5—25 cm 随胸径的增加而降低,25—30 cm 出现上升,大于 30 cm 随胸径增大而下降。三种森林类型的天然林单木的平均竞争指数顺序依次为天然阔叶林>天然针阔混交林>天然针叶林。天然阔叶林单木株数明显多于天然针叶林和针阔混交林。三种天然林各径级的平均总竞争指数随着径级的增加而下降,与胸径的关系均服从对数函数关系,相关性最高的是天然阔叶林, $R^2=0.9451$ (图 1)。

从天然林不同径级的种内竞争指数可以看出(表 1),天然针叶林、天然针阔混交林和天然阔叶林的种内竞争指数分别占总竞争指数的 68.65%、54.09%、66.20%,均超过 50%,说明种内竞争为该地区天然林林木之

间竞争的主要形式。从图 1 可知,三种天然林种内平均竞争指数与胸径的关系也服从对数函数关系,与平均总竞争指数与胸径的趋势相同,都是随径级的增加而下降,天然阔叶林的相关性最高, $R^2=0.9536$ (图 1)。

天然林不同径级的种间竞争指数见表 1。可见天然针叶林、天然针阔混交林、天然阔叶林的种间竞争指数分别为 6181.30、5859.61、16062.16,平均竞争指数分别为 1.23、2.11、1.72。与种内竞争相比,该地区的种间竞争较小,竞争指数较低。天然针叶林、天然针阔混交林、天然阔叶林的平均竞争指数与胸径的关系服从对数函数关系。

表 1 天然林胸径分布和竞争指数关系
Table 1 DBH distribution of subject trees and competitive intensity of natural forest

森林类型 Forest type	对象木径级 Diameter grade of target wood/cm	株数 Number of plants	株数比例 Ratio of plant number/%	竞争指数 <i>CI</i>	种内竞争 指数 Intra <i>CI</i>	种间竞争 指数 Inter <i>CI</i>	平均竞争 指数 $\overline{CI}$	种内平均 竞争指数 Intra $\overline{CI}$	种间平均 竞争指数 Inter $\overline{CI}$
天然针叶林 Natural coniferous forest	5—10	2550	50.85	13279.49	8329.46	4950.03	5.21	3.27	1.94
	10—15	1352	26.96	4310.41	3471.39	839.02	3.19	2.57	0.62
	15—20	637	12.70	1426.09	1173.31	252.77	2.24	1.84	0.40
	20—25	300	5.98	501.91	422.43	79.48	1.67	1.41	0.26
	25—30	101	2.01	132.44	99.56	32.88	1.31	0.99	0.33
	30—35	46	0.92	43.74	26.98	16.76	0.95	0.59	0.36
	35—40	18	0.36	16.03	9.19	6.85	0.89	0.51	0.38
	40—45	10	0.20	7.02	3.50	3.51	0.70	0.35	0.35
	45—50	0	0	0	0	0	0	0	0
	50—55	0	0	0	0	0	0	0	0
	55—60	0	0	0	0	0	0	0	0
	60—65	0	0	0	0	0	0	0	0
	65—70	1	0.02	0.59	0.59	0	0.59	0.59	0
	总计	5015	100.00	19717.71	13536.41	6181.30	3.93	2.70	1.23
天然针阔混交林 Natural coniferous and broadleaved mixed forest	5—10	1959	70.57	10463.65	5576.19	4887.46	5.34	2.85	2.49
	10—15	553	19.92	1793.25	1066.05	727.20	3.24	1.93	1.32
	15—20	166	5.98	339.24	182.53	156.71	2.04	1.10	0.94
	20—25	61	2.20	103.57	45.41	58.15	1.70	0.74	0.95
	25—30	22	0.79	47.48	29.12	18.35	2.16	1.32	0.83
	30—35	7	0.25	7.76	2.56	5.19	1.11	0.37	0.74
	35—40	5	0.18	5.20	0.41	4.79	1.04	0.08	0.96
	40—45	2	0.07	1.76	0.05	1.71	0.88	0.03	0.85
	45—50	0	0	0	0	0	0	0	0
	50—55	1	0.04	1.31	1.26	0.05	1.31	1.26	0.05
	总计	2776	100.00	12763.20	6903.59	5859.61	4.60	2.49	2.11
天然阔叶林 Natural broadleaved forest	5—10	6743	72.21	39113.21	25540.43	13572.79	5.80	3.79	2.01
	10—15	1669	17.87	6481.11	4551.94	1929.17	3.88	2.73	1.16
	15—20	551	5.90	1301.66	921.17	380.48	2.36	1.67	0.69
	20—25	218	2.33	411.32	295.71	115.61	1.89	1.36	0.53
	25—30	104	1.11	152.66	109.89	42.76	1.47	1.06	0.41
	30—35	27	0.29	31.90	19.23	12.67	1.18	0.71	0.47
	35—40	12	0.13	13.30	10.08	3.22	1.11	0.84	0.27
	40—45	9	0.10	9.33	5.12	4.20	1.04	0.57	0.47
	45—50	2	0.02	0.90	0.27	0.64	0.45	0.13	0.32
	50—55	2	0.02	1.45	1.10	0.35	0.72	0.55	0.17
	55—60	0	0	0	0	0	0	0	0
	60—65	1	0.01	0.62	0.35	0.27	0.62	0.35	0.27
	总计	9338	100.00	47517.45	31455.29	16062.16	5.09	3.37	1.72

CI: 竞争指数 Competition index; Intra *CI*: 种内竞争指数 Intraspecific competition index; Inter *CI*: 种间竞争指数 Interspecific competition index; $\overline{CI}$: 平均竞争指数 Average competitive index; Intra $\overline{CI}$: 种内平均竞争指数 Average intraspecific competition index; Inter $\overline{CI}$: 种间平均竞争指数 Average Interspecific competition index

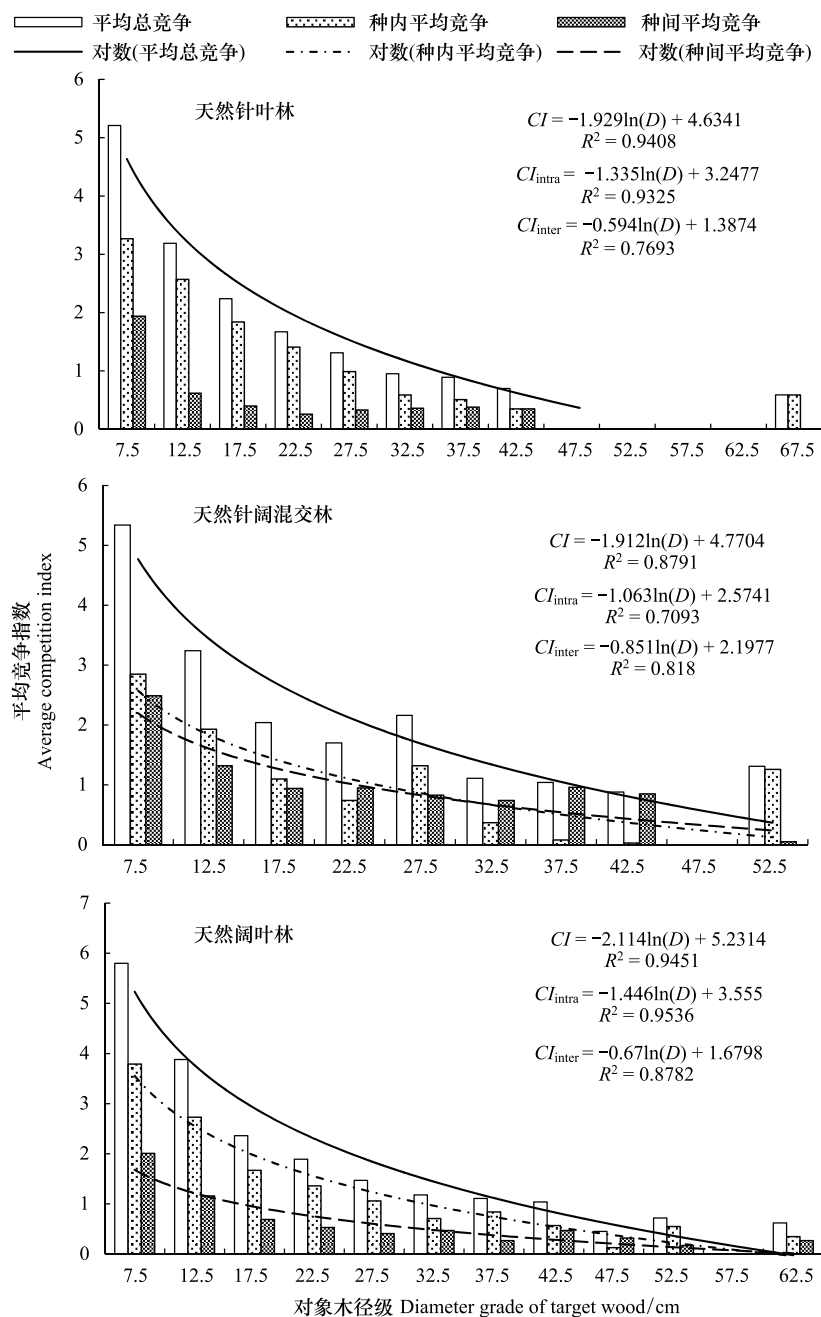


图1 三种天然林对象木径级与平均竞争指数的关系

Fig.1 Relationship between diameter class and average competition index of three natural forests

CI : 平均竞争指数 Average competitive index; CI_{intra} : 种内平均竞争指数 Average intraspecific competition index; CI_{inter} : 种间平均竞争指数 Average Interspecific competition index

3.1.2 人工林胸径和竞争指数的关系

由表2可以看出,人工针叶林的单木总竞争指数为70244.69,平均竞争指数为4.48;人工针阔混交林的单木总竞争指数为1567.27,平均竞争指数为3.94;人工阔叶林的单木总竞争指数为4162.72,平均竞争指数为3.14。人工针叶林、人工针阔混交林单木主要集中在胸径5—10 cm,分别占59.37%、71.61%。人工阔叶林的单木竞争指数集中于5—15 cm,占66.29%。三种人工林随着胸径的变大,平均竞争指数先下降并趋于稳定。不同森林类型的人工林单木的平均竞争顺序依次为人造针叶林>人造针阔混交林>人造阔叶林。人造针叶林

单木竞争最激烈,是因为该森林类型是以用材林树种杉木为优势树种,杉木占人工针叶林株数的 80.9%,人为干预过多,导致单木生态习性相近、生态位重叠,单木竞争比较激烈;而天然针叶林的优势树种主要是马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木、黄山松(*Pinus taiwanensis*),竞争强度会减弱。人工针阔混交林每块样地的单木株数为 80 株,而人工阔叶林每块样地的单木株数为 29 株,每块人工针阔混交林单木株数明显高于人工阔叶林,导致人工针阔混交林的总平均竞争指数大于人工阔叶林。

人工林不同径级的种内竞争指数见表 2,三种人工林种内竞争指数分别为 58815.10、969.75、3085.56,平均竞争指数分别为 3.75、2.44、2.33。三种人工林种内总竞争指数分别占总竞争指数的 83.73%、61.88%、74.12%,均超过 60%。人工林与天然林相比,人工林种内竞争占总竞争强度更高。

人工针叶林种间竞争指数为 11429.59,平均竞争指数为 0.73;人工针阔混交林种间竞争指数为 597.52,平均竞争指数为 1.50;人工阔叶林种间竞争指数为 1077.16,平均竞争指数为 0.81。

三种人工林对象木径级与平均竞争指数的回归分析可知(图 2),三种人工林各径级的平均总竞争指数、种内平均竞争指数、种间平均竞争指数与胸径的关系均服从对数函数关系,对象木的竞争指数随着径级的增加而下降。三种人工林各径级的平均总竞争指数与胸径的相关性 $R^2>0.96$,人工阔叶林的相关性最高, $R^2=0.9795$;三种人工林各径级的种内平均竞争指数与胸径的相关性 $R^2>0.90$,相关性最高也为人工阔叶林, $R^2=0.9802$;三种人工林各径级的种间平均竞争指数与胸径的相关性最高为人工针阔混交林, $R^2=0.8643$ 。

表 2 人工林胸径分布和竞争指数关系
Table 2 DBH distribution of subject trees and competitive intensity of plantation

森林类型 Forest type	对象木径级 Diameter grade of target wood/cm	株数 Number of plants	株数比例 Ratio of plant number/%	竞争指数 <i>CI</i>	种内竞争 指数 Intra <i>CI</i>	种间竞争 指数 Inter <i>CI</i>	平均竞争 指数 $\overline{CI}$	种内平均 竞争指数 Intra $\overline{CI}$	种间平均 竞争指数 Inter $\overline{CI}$
人工针叶林 Coniferous plantation	5—10	9301	59.37	50011.48	41138.62	8872.86	5.38	4.42	0.95
	10—15	5176	33.04	17584.11	15552.50	2031.61	3.40	3.00	0.39
	15—20	964	6.15	2288.72	1891.15	397.56	2.37	1.96	0.41
	20—25	162	1.03	289.32	199.28	90.03	1.79	1.23	0.56
	25—30	50	0.32	61.85	29.41	32.44	1.24	0.59	0.65
	30—35	12	0.08	8.37	3.57	4.80	0.70	0.30	0.40
	35—40	0	0	0	0	0	0	0	0
	40—45	1	0.01	0.84	0.57	0.27	0.84	0.57	0.27
	总计	15666	100.00	70244.69	58815.10	11429.59	4.48	3.75	0.73
人工针阔混交林 Coniferous and broadleaved mixed plantation	5—10	285	71.61	1273.73	785.15	488.58	4.47	2.75	1.71
	10—15	67	16.83	195.64	117.76	77.88	2.92	1.76	1.16
	15—20	36	9.05	85.74	62.17	23.57	2.38	1.73	0.65
	20—25	7	1.76	8.68	3.45	5.23	1.24	0.49	0.75
	25—30	3	0.75	3.48	1.23	2.25	1.16	0.41	0.75
	总计	398	100.00	1567.27	969.75	597.52	3.94	2.44	1.50
人工阔叶林 Broadleaved plantation	5—10	584	44.04	2661.02	1840.56	820.46	4.56	3.15	1.40
	10—15	295	22.25	832.51	651.66	180.86	2.82	2.21	0.61
	15—20	137	10.33	272.60	224.80	47.80	1.99	1.64	0.35
	20—25	129	9.73	213.38	198.43	14.95	1.65	1.54	0.12
	25—30	92	6.94	103.04	95.76	7.29	1.12	1.04	0.08
	30—35	63	4.75	61.76	58.44	3.32	0.98	0.93	0.05
	35—40	23	1.73	17.72	16.82	0.90	0.77	0.73	0.04
	40—45	3	0.23	1.93	1.06	0.87	0.64	0.35	0.29
	45—50	2	0.15	0.77	0.05	0.72	0.38	0.02	0.36
	总计	1326	100.00	4162.72	3085.56	1077.16	3.14	2.33	0.81

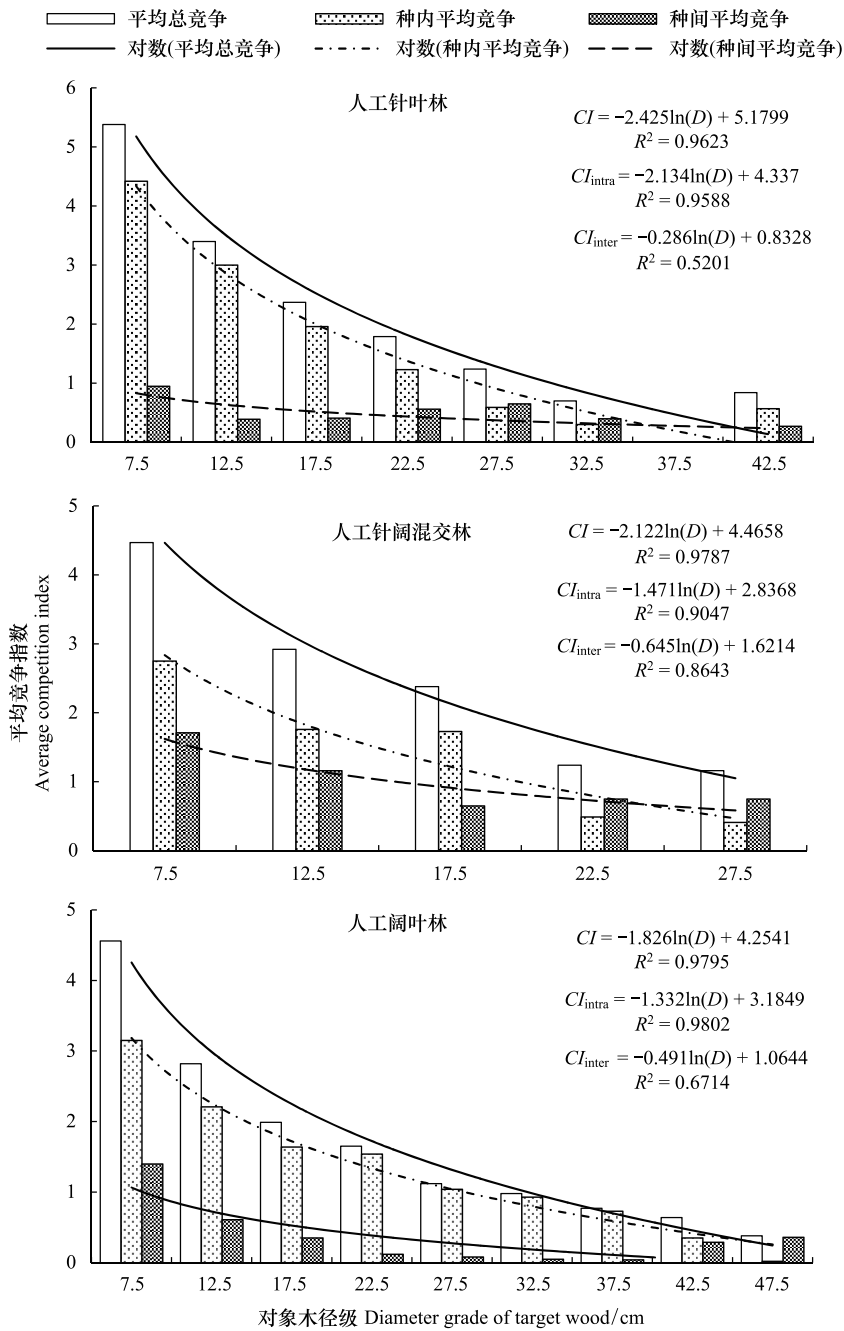


图 2 三种人工林对象木径级与平均竞争指数的关系

Fig.2 Relationship between diameter class and average competition index of three plantations

3.2 不同森林类型林分竞争指数比较分析

3.2.1 天然林和人工林林分总竞争指数比较分析

从图 3 可知,不同森林类型的平均总竞争顺序为天然阔叶林>天然针阔混交林>人工针叶林>天然针叶林>人工针阔混交林>人工阔叶林。天然针叶林与天然阔叶林、天然阔叶林与人工针叶林、天然针阔混交林与人工阔叶林、天然阔叶林和人工阔叶林、人工针叶林与人工阔叶林差异极显著。其中天然阔叶林最大,人工阔叶林最小,人工阔叶林主要以优势树种为核桃的林分为主,占 93.48%,每块样地的株数为 29 株,明显低于其他森林类型样地,这与临安地区以山核桃为主要经济树种有关,为提高山核桃产量,人为的控制种植密度。

3.2.2 天然林和人工林林分种内竞争指数比较分析

不同森林类型的种内平均竞争顺序为人工针叶林>天然阔叶林>天然针叶林>天然针阔混交林>人工针阔混交林>人工阔叶林(图4)。天然针叶林和人工针叶林、天然针阔混交林和人工针叶林、天然阔叶林和人工阔叶林、人工针叶林和人工阔叶林的种内竞争指数有极显著差异($P<0.01$)。其中人工针叶林最大,人工阔叶林最小,人工针叶林主要以优势树种为杉木的林分为主,占86.73%。

3.2.3 天然林和人工林林分种间竞争指数比较分析

不同森林类型的种间平均竞争顺序为天然针阔混交林>人工针阔混交林>天然阔叶林>天然针叶林>人工针叶林>人工阔叶林(图5)。天然针叶林与人工针叶林、天然针阔混交林与天然阔叶林、人工针阔混交林与人工阔叶林差异显著;天然针叶林与天然针阔混交林、天然针叶林与人工阔叶林、天然针阔混交林与人工针叶林、天然针阔混交林与人工阔叶林、天然阔叶林与人工针叶林、天然阔叶林与人工阔叶林差异极显著。天然针阔混交林种间平均竞争最大,人工针阔混交林次之,针阔混交林的树种丰富度明显高于其他。

4 结论与讨论

林木的种内、种间竞争在林分中是长久存在的^[14],森林作为一个完整的生态系统,在空间上,其内部的部分个体间的生态位必然会出现重叠,两个或两个以上林木对相同资源和能量的争夺如空气、水分等,林木间就产生了竞争。研究林分中林木的竞争关系,了解林木竞争关系,对于森林空间结构规划有重要意义。

本研究运用该模型对临安区不同森林类型的竞争关系进行分析,得出以下主要结论。

(1)在单木水平上,不同的森林类型在对象木胸径

集中在5—10 cm处的总竞争指数、种内竞争指数、种间竞争指数都最大,且随着胸径的增大,平均竞争指数不断下降,对象木所受的竞争变小;不同类型的森林种内竞争占总竞争指数均超过50%,其中,天然针叶林和天然阔叶林种内竞争占总竞争指数超过65%,天然针阔混交林种内竞争指数也占50%以上,人工针叶林种内竞争占比超80%,人工阔叶林种内竞争占总竞争指数的70%以上,人工针阔混交林的种内竞争超过60%,表明临安地区林木的竞争主要来源于种内竞争,这与辛营营和韦新良^[21]对临安青山湖针阔混交林进行种内种间的竞争研究结果相同,优势树种的种内竞争大于种间竞争。不同森林类型的平均竞争指数、种内平均竞争指数、种间平均竞争指数与胸径的关系均服从对数函数关系,对象木竞争指数随着径级的增加而下降。

(2)在林分水平上,不同森林类型的林分总竞争指数、种内竞争指数、种间竞争指数存在显著差异:天然针叶林与天然阔叶林、天然阔叶林与人工针叶林、天然针阔混交林与人工阔叶林、天然阔叶林和人工阔叶林、人工针叶林与人工阔叶林差异极显著。在林分水平上,不同森林类型的林分总竞争指数、种内竞争指数、种间

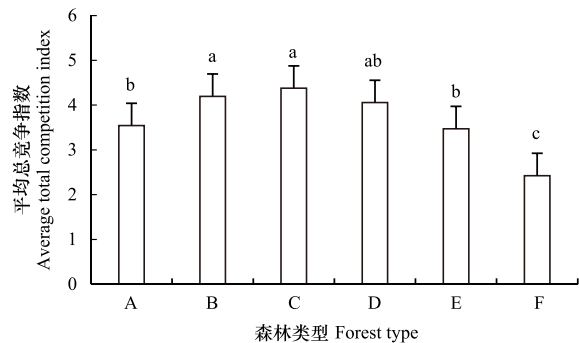


图3 不同森林类型林分平均总竞争指数

Fig.3 Average total competition index of different forest types

A: 天然针叶林 Natural coniferous forest; B: 天然针阔混交林 Natural coniferous and broadleaved mixed forest; C: 天然阔叶林 Natural broadleaved forest; D: 人工针叶林 Coniferous plantation; E: 人工针阔混交林 Coniferous and broadleaved mixed plantation; F: 阔叶林 Broadleaved plantation; 不同小写字母表示不同森林类型林分平均总竞争指数的差异显著性($P<0.01$)

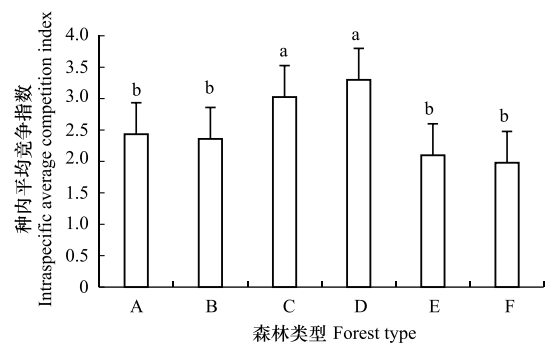


图4 不同森林类型林分种内平均竞争指数

Fig. 4 Average in traspecific competition index of different forest types

不同小写字母表示不同森林类型林分种内平均竞争指数的差异显著性($P<0.01$)

竞争指数存在显著差异。不同森林类型的平均总竞争指数最大为天然阔叶林,最小为人工阔叶林。不同森林类型的种内平均竞争指数最大为人工针叶林,最小为人工阔叶林。不同森林类型的种间平均竞争指数最大为天然针阔混交林,最小为人工阔叶林。人工阔叶林的平均总竞争指数、种内竞争指数和种间竞争指数均为最小,该森林类型以山核桃经济树种为优势树种,说明为提高山核桃产量,人为控制低种植密度的经营措施有效降低了林分竞争强度。

在区域尺度上研究多种森林类型的竞争关系,需要有大量的样地调查数据作为基础。本文考虑人力和费用成本问题,采用了 2004 年临安区的森林资源监测样地数据,表明充分利用现有各类森林资源调查数据,挖掘森林资源数据承载的信息,是研究大区域森林结构的一条有效途径,可以充分体现现有各类森林资源数据的价值,为精准提高森林质量,提供空间结构决策信息。

应当说明,本文采用的 2004 年临安区的森林资源监测样地数据,在样地数据中,部分树木的树种仅记录到大类如其他硬阔、其他软阔等,这在一定程度上影响了竞争关系的分析,会使种内竞争偏大。为提高竞争指数的准确性,建议林业调查部门在今后的森林资源监测样地调查中,详细记录每株树木的树种等信息,以便提取更多的森林空间结构信息,为森林经营决策提供精准的依据。

参考文献 (References):

- [1] Filipescu C N, Comeau P G. Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. *Forest Ecology and Management*, 2007, 247(1/3): 175-184.
- [2] Cortini F, Comeau P G. Evaluation of competitive effects of green alder, willow and other tall shrubs on white spruce and lodgepole pine in Northern Alberta. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(1): 82-91.
- [3] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华, 袁士云, 刘文桢. 基于交角的林木竞争指数. *林业科学*, 2013, 49(6): 68-73.
- [4] 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(S1): 185-188.
- [5] Staebler G R. Growth and Spacing in An Even-Aged Stand of Douglas fir. Michigan; University of Michigan, 1951.
- [6] 李际平, 房晓娜, 封尧, 孙华, 曹小玉, 赵春燕, 李建军. 基于加权 Voronoi 图的林木竞争指数. *北京林业大学学报*, 2015, 37(3): 61-68.
- [7] Hegyi F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries J. Growth Models for Tree and Stand Simulation. Stockholm: Royal College of Forestry, 1974: 74-90.
- [8] Morris D M, MacDonald G B. Development of a competition index for young conifer plantations established on boreal mixedwood sites. *The Forestry Chronicle*, 1991, 67(4): 403-410.
- [9] 王政权, 吴巩固, 王军邦. 利用竞争指数评价水曲柳落叶松种内种间空间竞争关系. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 641-645.
- [10] Canham C D, Papaik M J, Uriarte M, McWilliams W H, Jenkins J C, Twery M J. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. *Ecological Applications*, 2006, 16(2): 540-554.
- [11] 刘彤, 李云灵, 周志强, 胡海清. 天然东北红豆杉 (*Taxus cuspidata*) 种内和种间竞争. *生态学报*, 2007, 27(3): 924-929.
- [12] 王妍, 杨华, 李艳丽, 邱实. 基于结构方程模型的林木竞争指标研究. *北京林业大学学报*, 2015, 37(4): 28-37.
- [13] 项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 闫玉梅, 张小平. 大别山五针松种内和种间竞争强度. *生态学报*, 2015, 35(2): 389-395.
- [14] 许恒, 刘艳红. 珍稀濒危植物梓叶槭种群径级结构与种内种间竞争关系. *西北植物学报*, 2018, 38(6): 1160-1170.
- [15] 汤孟平, 陈永刚, 施拥军, 周国模, 赵明水. 基于 Voronoi 图的群落优势树种种内种间竞争. *生态学报*, 2007, 27(11): 4707-4716.
- [16] 刘韶辉, 项文化, 赵丽娟, 田大伦. 湖南会同次生阔叶林优势树种的种内种间竞争研究. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(9): 10-15.
- [17] 骆文建, 韦新良, 汤孟平, 张志华, 王敬, 冯雪. 天目山枫香种内与种间竞争的数量研究. *浙江农林大学学报*, 2012, 29(5): 641-646.
- [18] 罗梅, 陈绍志. 不同龄组长白落叶松种内及种间竞争研究. *北京林业大学学报*, 2018, 40(9): 33-44.
- [19] 赵伟明, 汪雪飞, 万刚, 林益军, 周平山, 徐小静. 浅谈临安市资源植物的保护与开发利用. *华东森林经理*, 2003, 17(2): 40-42, 55-55.
- [20] 袁卫, 庞皓, 贾俊平, 杨灿. 统计学 (第四版). 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [21] 辛营营, 韦新良. 青山湖针阔混交林优势树种竞争的数量研究. *浙江农林大学学报*, 2011, 28(4): 601-606.

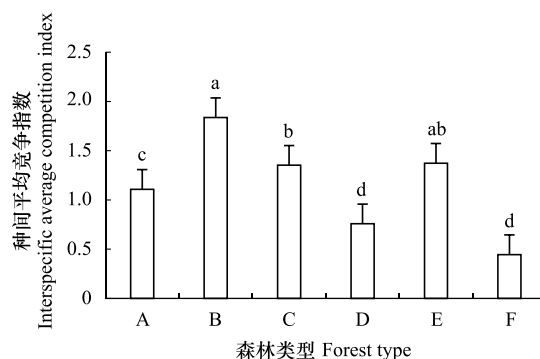


图 5 不同森林类型林分种间平均竞争指数

Fig. 5 Average interspecific competition index of different forest types

不同小写字母表示不同森林类型林分种间平均竞争指数的差异显著性 ($P < 0.01$)