

杉木-观光木人工混交林林木竞争效应研究

封磊^a, 洪伟^{b*}, 吴承祯^b, 宋萍^b

(福建农林大学, a. 资源与环境学院; b. 林学院, 福州 350002)

摘要: 将人工混交林中林木竞争影响空间划分为内、外两圈, 采用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型对福建省建瓯东安林场杉木(*Cunninghamia lanceolata*)-观光木(*Tsoongioden odrum*)混交林中林木的种内、种间竞争强度进行分析。结果表明, 无论是内圈还是外圈, 杉木种内、种间竞争强度均随林木径级的增大而减小; 竞争强度顺序为: 内圈杉木种内竞争 > 内圈杉木观光木种间竞争 > 外圈杉木种内竞争 > 外圈杉木观光木种间竞争。用模型拟合预测杉木种内、种间的竞争强度, 认为杉木在胸径达到 36 cm 之前应采取适当的控制措施。

关键词: 杉木; 观光木; 人工混交林; 竞争强度

中图分类号: Q948.122.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)06-0505-06

The Tree Competition Effects in the Artificial Mixed Forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongioden odorum*

FENG Lei^a, HONG Wei^{b*}, WU Cheng-zhen^b, SONG Ping^b

(a. College of Resources and Environment; b. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The effect space of tree competition in the artificial mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongioden odrum* in Dong'an Forestry Farm of Jian'ou, Fujian Province, was divided into two parts, inside radius and outside radius. The interspecific and intraspecific competition intensities of *C. lanceolata* and *T. odrum* were analyzed by using Hegyi's Individual Tree Competition Index model. The results showed that all competition intensities of *C. lanceolata*, including intraspecific competition and interspecific competition, reduced with increasing of tree diameter classes in the both competition radiuses. The order of competition intensity was followed as intraspecific competition intensity of *C. lanceolata* in the inside radius > interspecific competition intensity of *T. odorum* in the inside radius > intraspecific competition intensity of *C. lanceolata* in the outside radius > interspecific competition intensity of *T. odorum* in the outside radius. The competition intensity in the forest was predicted by the simulation model, which indicated that some management measures should be conducted to decrease the competition intensities of *C. lanceolata* before the diameter at breast height of *C. lanceolata* up to 36 cm.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; *Tsoongioden odorum*; Artificial mixed forest; Competition intensity

竞争是植物生存斗争的表现, 由于同种或不同种的两个或更多个体间不同程度的现行需求超过了它们共同资源的及时供应, 从而导致个体之间相互施加不利影响。树木之间的竞争是影响林木生长的重要因素, 是生态学和森林培育学研究的核心问题之一。森林中, 竞争主要发生在邻近的林木之间, 包括地上部分对光照资源的竞争和地下部分对

土壤资源的竞争^[1-4]。但林木间地上竞争和地下竞争的范围是不同的, 在竞争影响区域内就某一对象木而言, 近距离的植株往往对其具有地上竞争和地下竞争的双重影响, 而相距较远的植株主要是地下的竞争作用^[5-6]。因此, 在研究林木竞争时有必要对竞争影响空间进行合理划分。自从达尔文“自然选择, 生存竞争, 优胜劣汰”的理论产生以来, 人们

对植物竞争进行了大量的研究^[7-10],但由于竞争的复杂性,目前尚无完善的竞争理论。

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)是我国南方最重要的优良速生用材树种。由于其生长较快,经营周期较长,自肥能力差,加上目前不合理的栽培模式,出现了一系列生态问题,对林地的持续利用构成了严重威胁^[11-12]。为了保护人工林生态系统的持续生产力和稳定性,保护生物多样性,寻找合适的阔叶树种与杉木混交是一条有效的途径。而有关混交林中种间竞争关系的研究是进行混交培育的基础,种间关系协调与否是混交林成败与否的关键^[13-14]。鉴于此,本文以杉木-观光木人工混交林为研究对象,对林木的竞争影响空间进行合理的划分,对杉木与其伴生树种的种内及种间竞争关系进行了研究,以期为进一步开展杉阔混交林的生态适应机理研究、科学培育和可持续经营森林资源提供理论基础。

1 研究地概况

试验地位于福建省建瓯市芝城镇东安林场,面积 12 hm²。建瓯市地处东经 117°58′~118°57′,北纬 26°38′~27°20′,属亚热带季风湿润气候区,年均气温 18.8℃,年均降雨量 1 665.7 mm,降雨日 170 d,年均蒸发量 1 499.2 mm,7~9 月的蒸发量最大,年均相对湿度 79%。日照总时数 1 829.3 h。试验地土壤是由花岗片麻岩发育而成的红壤,腐殖质层+沉积层厚 20~25 cm,坡度 20~25°,林地前茬为马尾松天然林,1983 年采种育苗,1984 年按观光木与杉木 1:1 株间混交模式营造混交林,造林密度为 2 100 ind. hm⁻²。

2 研究方法

2.1 数据采集

在建瓯市东安林场杉木-观光木混交林中选择有代表性地段设置 30 m×30 m 样地 2 块,每块样地各随机选取 30 株杉木为对象木,测量对象木的胸径、高度、枝下高和冠幅并编号,以该对象木为中心,测量半径为 6 m 以内的所有乔木竞争木的胸径、高度、枝下高、冠幅及其与对象木之间的距离,其中距对象木最近的一圈乔木记为内圈,其它 6 m 以内的乔木记为外圈(竞争影响圈根据树冠的接触和遮荫状况,并按王政权和吴巩胜的方法^[5-6]确定)。

测量时标记被测木,以免重测。

2.2 竞争强度的计算

本次调查中将林木的竞争影响空间分为内圈与外圈两部分,采用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型计算^[15]:

$$CI = \sum_{j=1}^N (D_j / D_i) \cdot \frac{1}{L_{ij}} \quad (1)$$

其中,CI 为竞争指数,CI 越大,表明竞争越激烈,反之竞争越小。 D_i 为对象木 i 的胸径; D_j 为竞争木 j 的胸径; L_{ij} 为对象木 i 与竞争木 j 之间的距离; N 为竞争木的株数。

首先计算出每个竞争木对对象木的竞争指数,然后将 N 个单木间的竞争指数累加,取平均即可得出杉木-观光木混交林中内圈、外圈、种内及种间的竞争强度。

2.3 竞争强度与对象木胸径关系的分析

林木个体胸径的大小对竞争能力影响很大,通过多个数学模型结果比较,发现竞争强度与对象木胸径严格地服从幂函数关系^[16],即:

$$CI = AD^{-B} \quad (2)$$

其中,CI 为竞争指数; D 为对象木胸径; A 、 B 为模型参数。

3 结果和分析

3.1 对象木与竞争木的测树因子特征

共调查杉木对象木 60 株,其中最小胸径 8.6 cm,最大胸径 28 cm,平均胸径 16.37 cm。60 株对象木的胸径基本上服从正态分布(表 1)。每个对象木调查一个半径为 6 m 的样圆,面积为 113.04 m²,总样圆面积为 6 782.4 m²。

竞争木共有 2 种 750 株,其中杉木 512 株,观光木 238 株。内圈有 226 株,其中杉木 156 株,观光木 70 株;外圈有 524 株,其中杉木 356 株,观光木 168 株(表 2)。

竞争木中杉木的平均胸径为 15.75 cm,其中内圈的为 16.14 cm,径级主要是 12~21 cm,占总数的 74.5%;外圈的为 15.59 cm,径级主要为 12~18 cm,占总数的 51.97%。竞争木中观光木的平均胸径为 14.64 cm,其中内圈的为 14.88 cm,径级主要为 9~18 cm,占总数的 68.57%;外圈的为 14.54 cm,径级主要为 12~18 cm,占总数的 53.57%。可见总体上杉木较观光木生长得更好。

表1 杉木对象木的胸径分布

Table 1 Distribution of diameter at breast height (DBH) of *Cunninghamia lanceolata* object trees

	径级 DBH class (cm)							总计 Total	
	6~9	9~12	12~15	15~18	18~21	21~24	24~27		27~30
株数 Individual number	1	6	17	19	10	4	2	1	60
%	1.67	10	28.33	31.67	16.67	6.67	3.33	1.67	100

表2 竞争木的胸径分布

Table 2 Distribution of diameter at breast height (DBH) of competitive trees

径级 DBH class (cm)	内圈 Inside radius				合计 Total	外圈 Outer radius				合计 Total
	杉木 <i>C. lanceolata</i>		观光木 <i>T. odorum</i>			杉木 <i>C. lanceolata</i>		观光木 <i>T. odorum</i>		
	株数 Number	%	株数 Number	%		株数 Number	%	株数 Number	%	
3~6						1	0.28	2	1.19	3
6~9	7	4.70	9	12.86	16	15	4.21	22	13.10	37
9~12	19	8.05	10	14.29	29	54	15.17	24	14.29	78
12~15	32	21.48	11	15.71	43	99	27.81	37	22.02	136
15~18	55	36.91	27	38.57	82	86	24.16	53	31.55	139
18~21	24	16.11	7	10	31	63	17.70	19	11.31	82
21~24	10	6.71	6	8.57	16	25	7.02	10	5.95	35
24~27	6	4.03			6	8	2.25			8
27~30	3	2.01			3	5	1.40	1	0.60	6

3.2 杉木及其伴生树种的竞争强度

从表3和表4可以看出,除杉木个别径级(内圈27~30 cm、外圈24~27 cm)外,对象木受到内、外圈树种的竞争强度均随其径级的增大而减少,这说明杉木对象木所受到的不同圈层的种内与种间竞争受其自身生长状况的影响。同时,在每一个径级内,无论是杉木还是观光木,其内圈竞争木平均竞争强度都比外圈的大,而且两者差异比较明显,说明从单株影响来看内圈的竞争强度要大于外圈。如果不分径级则内圈杉木的竞争强度大于外圈杉木,内圈观光木的竞争强度大于外圈观光木的竞争强度,这也说明了同一问题。此外除6~9 cm径级外,在内圈和外圈中无论对象木为哪一个径级与杉木的竞争强度都要大于与观光木的,表明混交林中杉木的种内竞争要强于杉木与观光木的种间竞争。

如果不考虑对象木径级,则杉木种内的总竞争强度为150.7743,其中内圈的竞争强度为68.4819,外圈的为82.2924,外圈大于内圈,这主要是由于外圈中杉木的株数大于内圈杉木株数。杉木与观光木的种间总竞争强度为59.334,其中内圈为24.8589,

外圈为34.4751,外圈大于内圈,这主要是外圈杉木同观光木之间的平均竞争强度较大的缘故。

如果只分内外圈不分树种,则内圈中的两种树种的平均竞争强度为0.4175,外圈中的平均竞争强度为0.2241,可见内圈的竞争强度大于外圈。不分内外圈计算物种的平均竞争强度,则杉木种内竞争强度为0.2945,杉木与观光木的平均竞争强度为0.2522,种间竞争要小于种内竞争。

3.3 竞争强度与对象木个体大小的关系及其预测结果

林木的竞争能力受多种因素制约,如个体大小、发育阶段、个体生活力、周围植株对它的影响等,其中个体胸径的大小对竞争能力影响很大^[16]。为探讨个体大小与竞争能力的关系,利用公式(2)将对象木所受到的竞争强度与其胸径大小进行回归分析(表5)。由表5可见,所有的拟合结果均达到显著水平,说明杉木观光木混交林种内种间竞争与对象木胸径之间关系可以用该数学模型进行模拟,并用于竞争强度的预测。

表 3 杉木种内竞争强度

Table 3 Intraspecific competition intensity of *Cunninghamia lanceolata*

径级 DBH class (cm)	内圈 Inside radius			外圈 Outside radius		
	CI	SD	N	CI	SD	N
6~9	0.8718	0.0368	3	0.3304	0.1032	9
9~12	0.6550	0.2200	23	0.2950	0.1037	49
12~15	0.4762	0.1742	43	0.2485	0.0959	112
15~18	0.4217	0.1230	47	0.2116	0.0651	110
18~21	0.3230	0.1024	21	0.1966	0.0563	47
21~24	0.3118	0.0715	8	0.1547	0.0410	21
24~27	0.2018	0.0905	8	0.1644	0.0331	5
27~30	0.2044	0.0405	3	0.1483	0.0097	3
均值 Mean	0.4389	0.1074	19.5	0.2311	0.0635	44.5
总和 Total	68.4819	0.1980	156	82.2924	0.0897	356

CI: 竞争强度 Competition index; SD: 标准差 Standard deviation; N: 样本数 Number of samples.

表 4 同。The same for Table 4.

表 4 杉木与观光木种间竞争强度

Table 4 Interspecific competition intensity between *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*

杉木径级 DBH class of <i>C. lanceolata</i> (cm)	内圈观光木 <i>T. odorum</i> in the inside radius			外圈观光木 <i>T. odorum</i> in the outside radius		
	CI	SD	N	CI	SD	N
6~9	0.9729		1	0.3455	0.1662	3
9~12	0.4512	0.1315	5	0.2825	0.1096	17
12~15	0.4031	0.1547	22	0.2451	0.081	51
15~18	0.3345	0.1413	19	0.1765	0.0705	56
18~21	0.2945	0.0805	17	0.1764	0.0664	22
21~24	0.2348	0.0978	3	0.1225	0.0484	12
24~27	0.2333	0.0281	2	0.1290	0.0462	4
27~30	0.2288		1	0.1284	0.0274	3
均值 Mean	0.3551	0.1057	8.75	0.2007	0.0770	21
总和 Total	24.8589	0.1566	70	34.4751	0.0958	168

表 5 竞争强度与对象木胸径的模型参数

Table 5 Model parameters of competition intensity and DBH

	树种 Species	参数 Parameters		相关系数 Correlation coefficient
		A	B	
内圈 Inside radius	杉木 <i>C. lanceolata</i>	8.79022	1.115	0.985**
	观光木 <i>T. odorum</i>	6.123504	1.022	0.973**
外圈 Outside radius	杉木 <i>C. lanceolata</i>	1.267652	0.641	0.983**
	观光木 <i>T. odorum</i>	2.213095	0.875	0.977**

** $P < 0.05$

从预测结果可以看出(表 6), 无论是内圈还是外圈, 杉木种内竞争强度与杉木-观光木种间竞争强度均随着对象木个体的增大而减少, 说明在混交林中, 随着杉木的生长, 林木间对资源的竞争有所下降。此外, 尽管不同类型竞争强度随对象木径级的增长而减少的程度略有不同, 但从总体来看, 当

杉木胸径达到 36 cm 后, 各影响区域的竞争强度变化相对较为平缓。这可为杉木人工林的经营管理提供参考, 即在杉木胸径达到 36 cm 之前辅以必要的人工管理措施, 以期使得该生态系统尽快达到稳定的状态, 从而增加林内杉木个体比例, 获得高产量的杉木木材。

表6 杉木-观光木竞争强度的模拟结果

Table 6 Predicting results of competition intensity of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongioden odrum*

杉木径级 DBH class of <i>C.</i> <i>lanceolata</i> (cm)	种内竞争强度 Intraspecific competition intensity		种间竞争强度 Interspecific competition intensity	
	内圈 Inside radius	外圈 Outside radius	内圈 Inside radius	外圈 Outside radius
6 ~ 9	0.9296	0.3484	0.7811	0.3796
9 ~ 12	0.6388	0.2808	0.5538	0.2828
12 ~ 15	0.4827	0.239	0.4284	0.227
15 ~ 18	0.3859	0.2102	0.3489	0.1904
18 ~ 21	0.3203	0.1888	0.2942	0.1645
21 ~ 24	0.2731	0.1723	0.2541	0.1452
24 ~ 27	0.2375	0.159	0.2236	0.1301
27 ~ 30	0.2098	0.1481	0.1996	0.118
30 ~ 33	0.1877	0.1389	0.1802	0.1081
33 ~ 36	0.1696	0.131	0.1642	0.0999
36 ~ 39	0.1545	0.1242	0.1508	0.0928
39 ~ 42	0.1418	0.1182	0.1393	0.0868
42 ~ 45	0.1309	0.1129	0.1296	0.0815
45 ~ 48	0.1215	0.1082	0.121	0.0769
48 ~ 51	0.1133	0.1039	0.1135	0.0728
51 ~ 54	0.1062	0.1001	0.1069	0.0692
54 ~ 57	0.0998	0.0966	0.101	0.0659
57 ~ 60	0.0941	0.0934	0.0957	0.063
60 ~ 63	0.089	0.0904	0.0909	0.0602
63 ~ 66	0.0844	0.0877	0.0866	0.0578
66 ~ 69	0.0802	0.0852	0.0827	0.0555
69 ~ 72	0.0764	0.0829	0.0791	0.0534

4 结论和讨论

群落内个体间的竞争会随着时间(如林分年龄)和空间发生变化。在竞争存在时,因为对有限资源的利用(包括地下养分资源与地上光照资源),每个对象木都有其竞争作用的影响区和感受区,两者构成竞争影响的空间。因此在林分发育的某一阶段,林木之间的竞争实质上是空间竞争,包括地上和地下两部分。而合理地确定这个区域,对准确分析林木间的竞争程度是非常重要的。一般情况下,在影响区域内,对某一对象木来讲,与其最近一圈的植株往往具有地上和地下竞争的双重影响,而外圈的植株主要具有地下竞争作用。本研究采用 Hegyi 单木竞争模型对杉木-观光木人工混交林不同竞争影响空间内的林木竞争效应进行了研究,结果表明,每一个径级内无论是杉木还是观光木内圈平均竞争强度都比外圈的大,表明物种在内圈范围内对资源的争夺更加激烈。除 6 ~ 9 cm 径级外,在内圈

和外圈中无论哪一个径级的对象木与杉木的竞争强度均要大于与观光木的,这可能与两物种自身的生理生态学特性相关。树种的竞争主要是由树种的生态习性和生态幅度决定的,生态习性越相近,生态位重叠幅度越大的两树种之间的竞争越剧烈;反之则竞争较弱^[7]。虽然杉木为喜阴树种而观光木为中性偏阳树种,但是无论喜阴或喜阳树种都对光资源有需要,只是需求的量不同,因此这两树种在光照资源方面存在着竞争。林冠的合理分配是充分利用光能、促进林分高产的一个重要条件。观光木为宽冠形阔叶树种,而杉木为窄冠形针叶树种,在混交林中两者的林冠具有一定的成层性,因此杉木同观光木种间地上部分对光资源的竞争要小于杉木种内地上部分的竞争^[8]。对于地下部分,虽然杉木与观光木同为浅根性树种,但其根系分布有一定的差异。李丽红等^[9]的研究表明,在杉木-观光木混交林中杉木主根呈单峰分布,主要集中在 40 ~ 60 cm 土层,而观光木的主根则呈双峰分布,以

0~5 cm 及 80~100 cm 土层为多,可见两者根系分布具有明显分层特征。因此,对于地下资源的竞争,杉木-观光木种间的竞争较杉木种内竞争弱。另外,无论内圈与外圈,6~9 cm 径级内的杉木受到的种内竞争强度均小于种间竞争强度,这可能是由于该径级内杉木的生长情况较差,其树冠生长高度接近于附近的观光木冠高,即两者的树冠没有形成分层,致使两者对光照资源表现出激烈的竞争,从而导致该径级内的杉木与观光木的种间竞争大于杉木的种内竞争。通过将对象木所受到的竞争强度与其胸径大小进行拟合,预测竞争强度,结果表明,强烈的竞争稀疏作用是发生在杉木胸径达到 36 cm 之前,其后林分进入一个相对稳定的发展时期。为了促进杉木生长,获得高产林分,就应在杉木平均直径达到 36 cm 以前应采取一些必要的人工管理措施,如可以考虑对观光木进行适当的疏伐,以降低来自内圈的种间竞争强度;也可对混交林中一些生长不良的杉木进行伐除,以减少来自杉木自身的种内竞争强度影响,以利于杉木的生长。

参考文献

- [1] Biging G S, Dobbertin M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees [J]. *For Sci*, 1992, 38: 695-720.
- [2] Bi H. Competition in mixed stands of *Pinus radiata* and *Eucalyptus obliqua* [J]. *J Appl Ecol*, 1996, 33(1): 87-99.
- [3] Connie L G, Paul A K. A comparative approach to predicting competitive ability from plants traits [J]. *Nature*, 1988, 334: 242-243.
- [4] Miller T E, Werner P A. Competitive effects and responses between plant species in a first-year old-field community [J]. *Ecology*, 1987, 68: 1201-1210.
- [5] Wang Z Q(王政权), Wu G S(吴巩固), Wang J B(王军邦). Application of competition index in assessing intraspecific and interspecific spatial relations between Manchurian ash and dahurian larch [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2000, 11: 641-645.(in Chinese)
- [6] Wu G S(吴巩固), Wang Z Q(王政权). Individual tree growth-competition model mixed plantation of Manchurian larch [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2000, 11: 646-650.(in Chinese)
- [7] Connell J H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: Evidence from field experiments [J]. *Amer Nat*, 1983, 122: 661-961.
- [8] Schoener T W. Field experiments on interspecific competition [J]. *Amer Nat*, 1983, 122: 240-279.
- [9] Tilman G D. *Resources Competition and Community Structure* [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1982: 92-115.
- [10] Donald C M. The interaction of competition for light and for nutrients [J]. *J Agri Res*, 1958, 9: 421-435.
- [11] Feng L(封磊), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承祯). Fractal features of crown breath of different trees in different managements of Chinese fir plantation [J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, 2003, 9: 455-459.(in Chinese)
- [12] Yang Y S(杨玉盛), Chen G S(陈光水), He Z M(何宗明), et al. Production, distribution and nutrient return of fine roots in a mixed and a pure forest in subtropical china [J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, 2002, 8: 223-233.(in Chinese)
- [13] Lin S Z(林思祖), Huang S G(黄世国), Hong W(洪伟). The study on the interspecific competition between Chinese fir and its main mixed species in Chinese fir and broad-leaved mixed forest [J]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2004, 40: 160-164.(in Chinese)
- [14] Wu C Z(吴承祯), Hong W(洪伟), Liu J(柳江), et al. Possible effect of growth of *Cunninghamia lanceolata* on southern oscillation [J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, 2000, 6: 395-399.(in Chinese)
- [15] Zou C J(邹春静), Xu W D(徐文铎). Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. *Acta Phytocool Sin(植物生态学报)*, 1998, 22: 269-274.(in Chinese)
- [16] Zou C J(邹春静), Wang Q L(王庆礼), Han S J(韩士杰). Study on competition relationship between dicators in dark conifer forest in the Changbai mountains [J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, 2001, 7: 101-105.(in Chinese)
- [17] Ma J L(马建路), Li J H(李君华), Zhao H X(赵惠勋), et al. A quantitative study on interspecific and intraspecific competition for Korean pine in old growth Korean pine forest [C]// Zhu N(祝宁). *Advances and Present Situations in Plant Population Ecology*. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1994: 147-153.(in Chinese)
- [18] Chen C(陈存及), Chen H F(陈伏法). *Broadleaf Species Cultivation* [M]. Beijing: China Forestry Press, 2000: 134-137.(in Chinese)
- [19] Li L H(李丽红). Biomass allocation in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum* [J]. *J Fujian Coll For(福建林学院学报)*, 2003, 23: 297-300.(in Chinese)