

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

林勇明^{1,2,3} 崔鹏^{2,3} 葛永刚^{1,2,3} 王道杰^{2,3} 谢贤健^{1,2,3}

(1 中国科学院研究生院 2 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室

3 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所)

摘要:采用 Hegyi 单木竞争指数模型和张跃西改进单木竞争指数模型,于 2006 年在云南省昆明市东川区蒋家沟,对干热河谷泥石流频发区人工恢复新银合欢林种内竞争强度进行定量分析。结果表明:无论是内圈还是外圈新银合欢种内竞争强度随林木径级的增大而减小,内圈的竞争强度要大于外圈;内圈竞争强度与对象木胸径之间的关系近似服从双曲线函数关系,外圈竞争强度与对象木的胸径之间的关系近似服从幂函数关系;两个竞争指数模型均能较好地反映干热河谷区新银合欢人工恢复林种内竞争强度,但 Hegyi 单木竞争指数模型的适用性优于张跃西改进单木竞争模型。

关键词:泥石流;新银合欢;种内竞争;竞争指数

中图分类号:S718.54 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2008)03-0013-05

LIN Yongming^{1,2,3}; CUI Peng^{2,3}; GE Yonggang^{1,2,3}; WANG Daojie^{2,3}; XIE Xianjian^{1,2,3}. **Intraspecific competition of *Leucaena leucocephala* plantation in the area of high frequency debris flow: Taking the Jiangjiagou Gully as an example.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(3) 13-17 [Ch, 18 ref.]

1 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, P. R. China;

2 Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041, P. R. China;

3 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu, 610041, P. R. China.

Intraspecific competition intensity (ICI) in *Leucaena leucocephala* in the area of high frequency debris flow of Yunnan Province was quantitatively analyzed by Hegyi single tree competition index model (STCIM) and Zhang STCIM. The results show that as a tree increases in size, ICIs in both the inner and outer circles decrease. Meanwhile, ICI of *L. leucocephala* in inner circles is larger than that in outer circles. Moreover, logarithmical equation actually describes the relationship between ICI in the inner circles and growth of diameter at breast height (DBH), and exponential equation felicitously explains the relationship between ICI in the outer circles and growth of DBH. This work shows Hegyi STCIM and Zhang STCIM can simulate and predict ICI efficiently and Hegyi STCIM is superior to Zhang STCIM.

Key words debris flow; *Leucaena leucocephala*; intraspecific competition; competition index

竞争是物种生存斗争的表现,是指两个以上有机体在所需的环境资源或能量不足的情况下,或因某种必需的环境因子受限制,或因空间不够而出现的个体之间相互施加不利影响的关系^[1]。植物在生长过程中,因竞争的存在,在不同发育阶段,其形态、

生产力和生殖能力等受到强烈影响^[2]。植物个体间的竞争主要发生在相邻的树木之间,包括地上部分对光资源和地下部分对土壤资源的竞争,由于对根竞争的研究较困难,一些学者通过成对生长植物邻体间的空间关系来描述植物间的竞争效应^[1,3-5]。

收稿日期:2007-03-13

http://www.bjfujournal.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:“973”国家重点基础项目(2003CB415202)、国家自然科学基金项目(40771025)、“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAC10B04)。

第一作者:林勇明,博士生。主要研究方向:山地生态系统。电话:028-85219146 Email:monkey1422@163.com 地址:610041 四川省成都市人民南路四段九号成都山地灾害与环境研究所。

责任作者:崔鹏,博士,博士生导师,研究员。主要研究方向:山地灾害与水土保持。Email: pengcui@imde.ac.cn 地址:同上。

新银合欢(*Leucaena leucocephala*)属豆科(Leguminosae)银合欢属,是一种常绿小乔木,原产于中美洲沿海地区,300多年前引种到我国,现主要分布于华南地区的广东、广西、福建、浙江等省(区)。新银合欢主根发达,适于在除强酸以外条件的土壤生长,并可生长在降雨量为500~3 000 mm的广大热带、亚热带地区。自1988年以来,中国科学院东川泥石流观测研究站(以下简称东川泥石流站)采用新银合欢作先锋树种,在泥石流频发区进行造林试验,并将其作为昆明市东川区主要恢复树种进行干热退化山地植被恢复重建。

前人已对泥石流频发区环境退化、植被恢复途径与技术及生态效应进行了探讨^[6-9],但对成功恢复的植物群落特征、物种竞争关系、生长特征等报道较少。如何对已恢复植被群落进行改造、评价其生态功能等问题尚未解决。因此,本文以东川泥石流站已恢复18年的新银合欢林为研究对象,采用单木竞争指数模型,分析新银合欢种内竞争范围和竞争强度,为预测新银合欢林木生长、林分改造与经营提供科学依据。

1 研究区自然概况

研究区位于云南省昆明市东川区绿茂乡境内的东川泥石流站所在的蒋家沟,地理坐标为103°06′~103°13′E、26°13′~26°17′N。蒋家沟属金沙江一级支流小江流域,地貌类型为侵蚀中山,海拔1 042~3 269 m,干湿季分明,5—10月为湿季,降水量占全年降水量的88%。低于1 600 m为干热河谷带^[8],这里的多年平均气温在20℃以上,最高气温40.9℃,最低气温-6.2℃;多年平均降水量为693 mm,平均蒸发量为3 638 mm,蒸发量约是降水量的5倍^[9]。在长期的水土流失和泥石流作用下,该区域石漠化严重,土壤为含砾石较高的初育土。新银合欢人工恢复林于1988年在荒坡上以实生苗种植而成,其坡向向北,海拔约1 320 m,种植后一直封育禁伐,截至2006年,成片分布的面积约1.5 hm²,平均胸径为6.03 cm,平均树高9.8 m,其中胸径大于3 cm的种群密度达2 516.8株/hm²,林下自然萌发的幼苗密度达到4 150株/hm²。整个群落以新银合欢为主要树种,并伴有少量桉树(*Eucalyptus robusta*);灌木稀少,仅有坡柳(*Dodonaea viscosa*)、苦刺(*Sophora davidii*)、马桑(*Coriaria sinica*)等稀疏分布;草本有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、黄背草(*Themeda japonica*)、小叶荩草(*Arthraxon lancifolius*)、多花杭子梢(*Campylotropis polyantha*)等。

2 研究方法

2.1 调查方法

于2006年8月,采用样地调查法在东川泥石流观测站新银合欢人工恢复林中选取林分长势良好、

林相较整齐的地段,分别设置40 m×20 m样地2块、30 m×20 m样地1块、20 m×20 m样地1块,并在4块样地中选取60株新银合欢为对象木;测量对象木的胸径、高度、枝下高和冠幅并编号;以对象木为中心,测量半径为6 m以内的所有竞争木的胸径、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竞争木围成的面积称为内圈;除内圈外,其他6 m以内的竞争木所围成的面积记为外圈^[10]。测量时对被测木作标记,以免重测。

2.2 数据分析

本次调查中将林木的竞争影响空间分为内圈和外圈两部分。在内圈中,对象木与竞争木之间的竞争主要包括地上部分对光资源的竞争和地下部分对土壤资源的竞争。在外圈中,对象木与竞争木之间的竞争主要包括地下部分对土壤资源的竞争。分析过程采用Hegyí提出的单木竞争指数模型^[11]来计算竞争指数:

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

同时,采用张跃西提出的单木竞争指数模型计算竞争指数^[12],与Hegyí模型计算出的竞争指数进行比较分析,探讨两个模型在新银合欢种内竞争研究中的适用性。张跃西单木竞争指数为:

$$CI = \sum_{j=1}^N D_j^2 D_i^{-1} L_{ij}^{-2} \quad (2)$$

式中,CI为竞争指数, 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。CI越大,表明竞争越激烈,反之竞争越小。

首先计算出每个对象木的竞争指数,将所有对象木的竞争指数累加和平均即可得出新银合欢人工恢复林中内圈、外圈及种内的竞争强度。

3 结果与分析

3.1 对象木与竞争木的测树因子特征

共调查新银合欢对象木60株,其中最小胸径3.0 cm,最大胸径12.8 cm,平均胸径7.38 cm(表1)。同时,以每株对象木为圆心调查一个半径为6 m的样圆,面积为113.04 m²,部分样圆间存在交错,故总样圆面积大于样地面积,为6 782.4 m²。

表1 新银合欢对象木的胸径分布

TABLE 1 DBH distribution of objective trees in *L. leucocephala* plantation

	胸径范围/cm						合计
	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	
株数	3	17	16	15	8	1	60
百分比/%	5	28.33	26.67	0.25	13.33	1.67	100

由于群落中的桉树较少且分布于边缘区域,在调查样地内仅出现10株,数量上远远小于新银合

欢,故在本文中仅以新银合欢种内竞争来描述整个群落的竞争关系。竞争木共有 1 647 株,其中内圈 301 株,外圈 1 346 株(表 2)。

表 2 新银合欢竞争木的胸径分布

TABLE 2 DBH distribution of competitive trees in *L. leucocephala* plantation

胸径范围/cm	内圈		外圈	
	株数	百分比/%	株数	百分比/%
2~4	41	13.62	436	32.39
4~6	115	38.21	292	21.69
6~8	104	34.55	347	25.78
8~10	36	11.96	217	6.12
10~12	5	1.66	52	3.86
12~14	0	0	2	0.15
合计	301	100	1 346	100

竞争木中新银合欢的平均胸径为 6.01 cm,其中内圈新银合欢的平均胸径为 6.04 cm,胸径范围主要分布在 4~8 cm,占总数的 72.5%;外圈新银合欢的平均胸径为 6.00 cm,胸径范围主要分布在 2~8 cm,占总数的 79.9%。由于内圈竞争木与对象木间的距离存在一定的变幅(从 0.8~1.9 m),面积约为外圈的 1/10,且 2~4 cm 新银合欢木在群落内分布较均匀,造成在 2~4 cm 胸径范围的新银合欢内外圈竞争木差异较大。从胸径范围分布可以看出,新银合欢种群以小中胸径范围分布为主,处于较稳定的发展阶段。

3.2 新银合欢的种内竞争强度

分别采用 Hegyi 模型和张跃西模型对调查数据进行计算,得到表 3。由表 3 可知,新银合欢在生长过程中,不断与自身发生竞争,并因此产生自疏现象。然而,新银合欢种内竞争强度因对象木的胸径范围不同而有很大的差别。同时,由于林木间的竞争主要包括地上部分对光资源和地下部分对土壤资源(包括水分、养分)的争夺,将竞争空间划分为两圈,内圈主要包括地上和地下竞争,外圈主要为地下竞争^[10,13-14]。内圈竞争木的竞争强度平均值均大于外圈,而且两者相差幅度比较大,说明从单株影响来

看,内圈的竞争强度要大于外圈。由于外圈竞争强度较小,所以物种对水分和土壤养分的竞争较内圈弱。在这一点上,Hegyí 模型与张跃西模型均表现出相似的趋势。因此,可以看出内圈中对水分和土壤养分的竞争比较剧烈。

如果不分胸径范围,则内圈新银合欢的竞争强度(3.083 1/0.652 3,前为张跃西指数,后为 Hegyi 指数,下同)大于外圈新银合欢(0.446 1/0.221 0),即新银合欢种内竞争以内圈竞争为主,外圈竞争为辅。当不考虑对象木胸径范围时,新银合欢种内总竞争指数为 1 486.543/493.845,其中内圈的总竞争指数为 928.013/196.352,外圈的总竞争指数为 558.530/297.493。此时,出现了 Hegyi 指数内圈总竞争强度 < 外圈总竞争强度,而张跃西指数内圈总竞争强度 > 外圈总竞争强度的情况。从新银合欢种内竞争看,主要集中于对水分、养分的竞争,而外圈的竞争表现形式恰恰是对土壤水分、养分的。同时,外圈新银合欢的株数又大大超过内圈,因此外圈总竞争强度应大于内圈。

新银合欢种内竞争强度随着胸径范围的增大而减小,究其原因,主要是由于新银合欢人工恢复林以新银合欢为单一树种造林,新银合欢经过 18 年的生长后,种群内部产生分化,且由于该区域干热气候的影响,新银合欢为了避免成熟个体根系对水分的强烈竞争,通过自然稀疏而加大个体间的距离,从而达到维持种群稳定性的目的。因此,对光、温度、水分、养分等资源的竞争强度降低,同时林木逐渐趋于均匀化。

3.3 竞争强度与对象木的胸径关系及其预测

林木的竞争能力受多种因素制约,包括生长特性、生态幅度、个体大小、根系分布范围等,其中个体胸径的大小对竞争能力影响较大^[15],并且胸径是林分调查的基本因子。以竞争强度为因变量,以对象木胸径为自变量,采用线性、双曲线、幂函数和对数方程对竞争强度与对象木胸径间的关系进行回归拟合。结果表明,内圈竞争中,Hegyí 指数和张跃西指数均以双曲线方程的相关系数最大,即 $CI = A + B/$

表 3 新银合欢种内竞争强度

TABLE 3 Intraspecific competition intensity of *L. leucocephala*

对象木胸径范围/cm	内圈新银合欢					外圈新银合欢				
	Hegyí 模型		张跃西模型		样本数	Hegyí 模型		张跃西模型		样本数
	竞争指数	标准差	竞争指数	标准差		竞争指数	标准差	竞争指数	标准差	
2~4	1.499 5	0.574 2	8.316 7	7.360 5	15	0.520 1	0.203 9	0.968 8	0.792 4	67
4~6	0.885 5	0.339 3	4.411 8	3.212 4	86	0.305 3	0.128 0	0.548 4	0.128 0	411
6~8	0.612 4	0.167 3	2.825 5	1.505 7	79	0.219 4	0.095 9	0.397 4	0.350 1	353
8~10	0.452 8	0.105 5	1.858 4	0.859 1	75	0.105 5	0.073 6	0.354 7	0.271 9	318
10~12	0.341 9	0.085 5	1.376 2	0.668 4	41	0.132 1	0.052 3	0.223 4	0.181 7	175
12~14	0.269 7	0.051 8	0.965 6	0.408 5	5	0.138 8	0.062 0	0.275 3	0.233 8	22
均值	0.652 3	0.220 6	3.083 1	2.335 8	50.166 7	0.221 0	0.138 2	0.446 1	0.421 2	224.333 3
总和	196.352	1.323 6	928.013	14.014 6	301	297.493	0.615 7	558.530	1.957 9	1 346

D , 式中, CI 为种内竞争强度, D 为对象木胸径, A 和 B 为模型参数^[15]; 外圈竞争中, Hegyi 指数和张跃西指数则均以对数函数的相关系数最大, 即 $CI = AD^{-B}$ 。显著性检验结果均达到显著水平(表 4)。

表 4 新银合欢种内竞争强度与对象木的胸径模型参数

TABLE 4 Model parameters between intraspecific competitions intensity and DBH of objective trees in *L. leucocephala* plantation

项目	内圈				外圈			
	A	B	R	显著性	A	B	R	显著性
线性	10.186/11.630	-0.904/-6.496	0.782/0.866	**/**	11.431/12.721	-9.220/-22.353	0.781/0.884	**/**
对数	11.144/4.689	-38.581/-5.203	0.900/0.948	**/**	3.094/-1.851	-4.720/-6.171	0.839/0.944	**/**
双曲线	3.005/1.704	10.182/3.116	0.922/0.966	**/**	2.903/0.944	1.662/1.358	0.810/0.950	**/**
幂函数	12.137/4.732	-0.563/-0.759	0.918/0.965	**/**	3.767/1.830	-0.683/-0.897	0.965/0.958	**/**

注: **为极显著, $P < 0.01$ 。

表 5 新银合欢种内竞争强度与对象木胸径的模型预测

TABLE 5 Model prediction between intraspecific competition intensity and DBH of objective trees in *L. leucocephala* plantation

	胸径范围/cm						
	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16
内圈 Hegyi 指数	1.779	1.255	0.997	0.840	0.732	0.653	0.592
外圈 Hegyi 指数	0.683	0.431	0.319	0.255	0.213	0.183	0.161
内圈张跃西指数	6.399	5.041	4.460	4.136	3.931	3.788	3.684
外圈张跃西指数	2.743	2.327	2.149	2.050	1.987	1.944	1.912

4 讨论

4.1 竞争指数模型比较及适用性分析

植物界中个体间的竞争是普遍存在的。由于通过竞争过程的观测来研究植物间的竞争作用大小比较困难, 相关研究大多从竞争作用的效果入手, 选用各种竞争指数模型, 研究群落内植物间的竞争作用。竞争指数是林分中竞争木对于对象木的竞争能力总计, 表征了对象木被剥夺利用资源权利的大小^[16], 好的竞争指数通过竞争模型能够与树木生长建立密切的相关关系, 并有很强的理论依据, 就能成为对树木个体与周围竞争木之间的竞争程度的一种有效度量^[1]。

目前, 不少学者采用 Hegyi 的单木竞争指数模型和张跃西的改进单木竞争指数模型, 来定量植物种内和种间的竞争强度。研究表明, 两个模型均能较好地预测植物种内和种间的竞争强度^[1, 3, 10, 12-14, 17-18], 但由于研究目的和应用环境的差异, 不同的竞争指数之间存在着一定的差异性。Hegyi 单木竞争指数模型和张跃西改进单木竞争指数模型只考虑了对象木与竞争木的胸径和距离, 未考虑树冠面积、树冠重叠面积、树冠距离等因素。由于本研究区域位于干热河谷地带, 光热条件充裕, 但土壤极度贫瘠, 土壤保水性差, 尽管年均降水量近 700 mm, 但在焚风效应和强烈太阳辐射作用下, 表土很快呈现干旱现象, 植物自身水分不断蒸发, 而根部水分吸收不足, 往往导致植物缺水萎蔫甚至死亡。因此, 新银合欢对光的竞争强度远小于对水分和土壤养分的竞争强度, 其种内竞争以地下部分对水分和土壤养分的竞争为主, Hegyi 的单木竞争指数模型

利用两个模型模拟和预测新银合欢内圈和外圈竞争强度(表 5), 预测结果表明, 新银合欢内、外圈竞争强度随对象木个体的增大而降低, 当对象木胸径达到 14 cm 以上时, 竞争强度的变化不大。

和张跃西的改进单木竞争指数模型均可以很好地预测新银合欢种内竞争(表 4、5)。群落内新银合欢种群密度较大, 胸径大于 3 cm 的种群密度达 2 516.8 株/hm²。张跃西的改进单木竞争指数模型虽然考虑了生态学原理及自疏现象等生态事实, 但其方程中对胸径和竞争木的加权平方, 增加了竞争指数的变异程度, 可能扩大邻近竞争木和外圈竞争木的竞争强度数值差异, 且对新银合欢种内竞争的模拟预测显著性均小于 Hegyi 的单木竞争指数模型。因此, 在本研究对象这种密度较高的群落中, 张跃西的改进单木竞争指数模型的适用性还需进一步研究。

4.2 内、外圈的选择

群落内个体间的竞争具有一定的空间效应(即个体间竞争只能发生在一定空间范围内), 个体竞争实质上是空间竞争, 包括地上和地下两部分。当竞争存在时, 由于对有限资源的争夺(尤其是地下资源), 每个对象木都有其竞争作用的影响区和感受区, 两者构成竞争作用的空间。合理地确定竞争区域, 对准确分析林木之间的竞争程度是非常重要的。在本研究中, 将竞争影响空间分为两部分: 距对象木最近的一圈称为内圈, 在该范围内竞争木与对象木具有地上部分和地下部分接触的可能性; 而将最近一圈以外的称为外圈, 在该范围内竞争木与对象木地上部分不接触, 而地下部分有接触的可能性, 因此可视为与对象木的竞争主要表现为地下竞争^[10]。将竞争空间划分为内、外圈主要是考虑了竞争木与对象木的空间分布状况和竞争木的实际竞争作用, 这可对认识新银合欢人工恢复林竞争状态和林分改造与经营提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 段仁燕, 王孝安. 太白红杉种内和种间竞争研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29 (2): 242-250.
DUAN R Y, WANG X A. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29 (2): 242-250.
- [2] TRENBATH B R. Neighbor effects in the genus *II*: Comparison of weed species [J]. *Journal of Application Ecology*, 1974, 11: 111-125.
- [3] 邹春静, 徐文铎. 沙地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 D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22 (3): 269-274.
- [4] 吴巩固, 王政权. 水曲柳落叶松人工混交林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.
WU G S, WANG Z Q. Individual tree growth competition model in mixed plantation of manchurian ash and dahurian larch [J]. *Chinese Journal of Application Ecology*, 2000, 11 (5): 646-650.
- [5] JESSICA G, PAUL W, JUDY L S, *et al.* Competition among old-field perennials at different levels of soil fertility and available space [J]. *Journal of Ecology*, 1990, 78: 727-744.
- [6] 王道杰, 崔鹏, 朱波, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应[J]. 水土保持学报, 2004, 18 (5): 95-98.
WANG D J, CUI P, ZHU B, *et al.* Vegetation rehabilitation techniques and ecological effects in dry-hot valley of Jinsha River [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (5): 95-98.
- [7] 张有富, 肖蔚, 陈明, 等. 云南小江泥石流频发区干热退化山地环境劣变与植被恢复途径[J]. 山地学报, 2001, 19 (增刊): 88-91.
ZHANG Y F, XIAO W, CHEN M, *et al.* Environment degradation and vegetation rehabilitation approaches to debris flow-frequent occurrence area on xerothermic degraded mountain in Xiaojiang river [J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19 (Supp.): 88-91.
- [8] 张有富. 云南蒋家沟泥石流区干热退化山地引种拟金茅的技术与效果[J]. 山地学报, 2000, 18 (6): 563-567.
ZHANG Y F. Technique and results of common *eulaliopsis* application on xerothermic degraded mountain in Jiangjiagou debris flow gully [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18 (6): 563-567.
- [9] 崔鹏, 王道杰, 韦方强. 干热河谷生态修复模式及其效应——以中国科学院东川泥石流观测研究站为例[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3 (3): 60-64.
CUI P, WANG D J, WEI F Q. Model and effect of ecological restoration of dry-hot valley: A case study of the CAS Dongchuan Debris Flow Observation Station [J]. *Science of Water and Soil Conservation*, 2005, 3 (3): 60-64.
- [10] 封磊, 洪伟, 吴承祯, 等. 杉木-拟赤杨人工混交林种内、种间竞争强度研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12 (1): 46-50.
FENG L, HONG W, WU C Z, *et al.* Intraspecific and interspecific competition intensity in mixed forest plantation of *Cunninghamia lanceolata* and *Alniphyllum fortunei* [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12 (1): 46-50.
- [11] HEGYI F. A simulation model for managing jack-pine stands [C]// FRIES J. *Growth models for tree and stand simulation*. Stockholm, Sweden: Royal College of Forestry, 1974: 74-90.
- [12] 张跃西. 邻体干扰模型的改进及其在营林中的应用[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17 (4): 352-357.
ZHANG Y X. Study on the improvement and application of the neighborhood interference index model [J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17 (4): 352-357.
- [13] 邹春静, 王礼庆, 韩士杰. 长白山暗针叶林建群种竞争关系的研究[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7 (2): 101-105.
ZOU C J, WANG L Q, HAN S J. Study on competition relationship between dicicators in dark conifer forest in the Changbai Mountains [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2001, 7 (2): 101-105.
- [14] 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[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 Application Ecology*, 2000, 11 (5): 641-645.
- [15] 吴承祯, 洪伟, 吴继林, 等. 长苞铁杉群落种间竞争的研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21 (1): 154-158.
WU C Z, HONG W, WU J L, *et al.* A study on the interspecies competition in *Tusga longibracteata* forest [J]. *Acta Botany Boreali-occidentalia Sinica*, 2001, 21 (1): 154-158.
- [16] 吴承祯, 洪伟, 廖金兰. 马尾松中幼龄林种内竞争的研究[J]. 福建林学院学报, 1997, 17 (4): 289-292.
WU C Z, HONG W, LIAO J L. Study on intraspecific competition of young Masson pine [J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 1997, 17 (4): 289-292.
- [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 concina* [J]. *Chinese Journal of Application Ecology*, 2006, 17 (1): 22-26.
- [18] 张琼, 洪伟, 吴承祯, 等. 长苞铁杉天然林群落种内及种间竞争关系研究[J]. 广西植物, 2005, 25 (1): 14-17.
ZHANG Q, HONG W, WU C Z, *et al.* Studies on intraspecific and interspecific competition in natural communities of *Tsuga longibracteata* [J]. *Guihaia*, 2005, 25 (1): 14-17.

(责任编辑 赵 勃)