

基于竞争势的林分生长量分配模型研究

蒋 娴, 张怀清*, 鞠洪波, 覃阳平, 张 宁, 李永亮

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 100091 北京)

摘要:以湖南省攸县黄丰桥林场杉木林分 2008 年至 2011 年每木检尺调查结果为数据源,开展对开阔比数模型 f_o , 简单竞争因子模型 f_H 和竞争压力指数模型 f_{CSI} 的研究,提出一个新的林木综合竞争因子即竞争势模型 $f_C = 1/(f_o + f_H + f_{CSI})$,计算结果经过残差分析方法剔除异常,以竞争势为依据将林分总体生长量分配到林木个体,构建林分生长量分配模型。为了验证模型的准确性,对比分别以 f_C , f_H , f_{CSI} 三个模型为依据的林分生长量分配结果,计算通过模型分配到个体的生长量与个体实际生长量之间的相关指数分别为 0.6, 0.44, 0.29。分析结果表明竞争势模型可以作为林分生长可视化模拟中林分生长量向个体分配的一个依据,为林分生长可视化模拟提供有效支持。

关键词:开阔比数;简单竞争因子;竞争压力指数;竞争势模型;林分生长量分配模型

中图分类号:S711

文献标识码:A

Study on Stand Growth Distribution Model

JIANG Xian, ZHANG Huai-qing, JU Hong-bo, QIN Yang-ping, ZHANG Ning, LI Yong-liang

(Research Institute of Forestry Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The mechanism restriction and the interactive impact of the competition play important roles in stand growth. To realize the simulation of stand growth, the competition models to distributing the overall growth increment of stand to each individual tree in the stand were studied. With Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) artificial stand in Huangfengqiao Forest Farm, Hu'nan Province, as the researching subject, the Open Comparison model f_o , Simple Competition Index model f_H , and Competition Pressure Index model f_{CSI} were developed. From the three models, a new model Competition Index Model $f_C = 1/(f_o + f_H + f_{CSI})$ was propounded. After eliminating the outliers, the f_C was used as a parameter to propound a stand growth distribution model to distribute the overall growth increment of stand to each individual tree in the stand. Then the results of f_H , f_{CSI} and f_C were compared. Analysis of covariance was used to test the differences in correlation coefficient. It was concluded that the f_C could be an efficiency function to use on the growth stand visualization.

Key words: open comparison; simple competition index; competition pressure index; stand growth distribution model

植物竞争是资源有限时,因对其有共同需要而引起个体间的相互作用,从而导致被研究个体的存活、生长和繁殖的降低^[1]。竞争的主要机理是植物间在空间上的相互作用,这不仅影响着竞争的结

果,而且影响着未来的生长^[2]。近几年中,不少学者对于植物间竞争作用的描述进行了可视化模拟。模拟过程所用的模型可分为两大类:第一类是自底向上模型,这类模型从单株植物对资源的竞争出发,进

收稿日期:2012-08-28

基金项目:中央级公益性科研院所项目(IFRIT201103);国家自然科学基金(31170590);国家高技术研究发展计划(863计划)(2012AA102002)

作者简介:蒋 娴(1980—),女,在读博士,助理研究员.主要研究方向:林分结构与生长可视化模拟.电话:62888362 E-mail:Trista@caf.ac.cn.

* 通讯作者:研究员,硕士生导师,主要从事林业可视化模拟技术研究.电话:62888500 E-mail:Zhang@caf.ac.cn.

而将整个系统中所有植物的竞争过程统计模拟出来;第二类模型则是自顶向下的将总体竞争态势分配到每株或每组植株中。Aikio 提出了对称竞争 (Symmetrical competition) 和不对称竞争 (Asymmetrical competition) 的概念,并用这两种方式描述植物间对共享资源的分配。对称竞争是指,植物间以均等机会得到共享的资源,即资源被平均分配给共享各方,这种分配方式忽视了竞争效应对林分中每一林木乃至整个林分结构产生的影响^[3],模拟出来的林分不近真实,甚至会影响生长模型后期的应用精度。不对称竞争是指,竞争能力强的一方获得更多的共享资源,其他植物得到很少甚至没有机会获得任何资源。

本文借鉴自顶向下不对称竞争的研究思路,首先在林分边界内依次将每株树木都作为对象木,与之距离最近的4株树木确定为竞争木,由此每株对象木与其竞争木构成各自的空间结构单元,称为树木影响圈。然后在影响圈内,运用改进后的开阔比数模型计算对象木开阔比数以判断对象木对光资源的竞争;运用简单竞争因子模型和改进后的竞争压力指数模型计算对象木与其相邻树木个体的竞争指标。然后将这3个模型综合成林木综合竞争因子即竞争势模型。计算结果经过残差分析方法剔除异常,以竞争势为依据将林分总体生长量分配到林木个体,构建林分生长量分配模型。以湖南省攸县黄丰桥林场杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 林分2008年至2011年调查数据为数据源,根据竞争势模型将2008年到2011年林分实际总体生长量分配到林分内每棵树木的个体生长量,再对比分析每株对象木的实际增长量与预测生长量,认为竞争势模型模拟效果较好,是林分生长模拟的可视化表达的一个有效依据。图1所示为林分生长竞争势可视化表达流程。

1 研究方法

本文欲改进开阔比数模型 f_o , 简单竞争因子模型 f_H 和竞争压力指数模型 f_{CSI} , 提出一个新的林木综合竞争因子即竞争势模型 $f_C = 1/(f_o + f_H + f_{CSI})$, 计算结果经过残差分析方法剔除异常,以竞争势为依据将林分总体生长量分配到林木个体,构建林分生长量分配模型。

1.1 常用竞争模型简介

在植物竞争的研究过程中,为了充分认识竞争

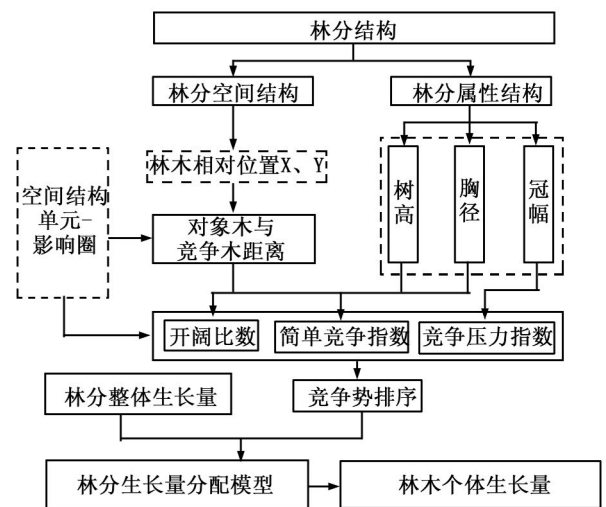


图1 林分生长竞争势可视化表达流程图

的概念、竞争作用的定量化、作用机理,提出了许多模型^[4-9]。但大部分模型都需要对树木进行大量的实地调查,测量指标复杂,获取难度较大。考虑到林分生长可视化模拟过程中难以获取总蓄积、断面积等因子而树木的位置(X, Y)、胸径、树高、冠幅4个因子较易获取,且作为基础数据存储在系统数据库中。因此本文选取开阔比数、简单竞争因子、竞争压力指数3个指标在模型影响圈内计算林木竞争势。表1列出3个竞争模型的表达式及描述。

1.2 竞争势模型

竞争势模型是一个综合模型,是在确定林木空间结构单元的基础上,对开阔比数、简单竞争因子以及竞争压力指数的改进以及综合。主要通过改进模型表达式统一了3个模型的表达趋势以及取值范围。下面就如何改进3个模型以及如何表达竞争势模型进行了详细介绍。

1.2.1 空间结构单元 林分内任意1株单株木和离它最近的 n 株相邻木均可以构成林分空间结构的基本单元——林分空间结构单元。

空间结构单元核心的那株树被称为参照树,而最近的 n 株相邻树木则被称为相邻木。惠刚盈^[10]等认为 $n=4$ 更能恰当分析林分空间结构,本文取 $n=4$ 。如图2所示。其中1为对象木,2,3,4,5为竞争木。

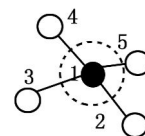


图2 参照树及其相邻木所构成空间结构单元

1.2.2 开阔比数^[10-15] 当参照树高于相邻木时,记为1;当参照树低于相邻木时,如果参照树到某一株相邻木的距离大于两者的高差记为0,否则记为1。统计参照树到4株相邻木的距离与对应高差的情况,如公式1所示,获得该参照树的开阔比数 f_o 。模型如(1)所示。

$$f_{o_i} = \frac{\sum_{i=1}^n |t_{ij} - 1|}{4} P \quad (1)$$

其中 $t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当 } l_{ij} \geq h_j - h_i \text{ 时} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

h_i :参照树*i*的树高; h_j :相邻木*j*的树高; h_{ij} :参照树*i*与相邻木*j*的水平距离, n 为竞争目株树,本文取 $n=4$ 。开阔比数取值区间为 $[0,1]$,计算结果及含义如表1所示。

表1 开阔比数取值及含义^[8]

取值	0	0.25	0.5	0.75	1
含义	非常开阔	开阔	中等开阔	遮挡	完全遮挡

1.2.3 简单竞争指数^[16-17] 简单竞争指数模型如(2)所示:

$$f_{H_i} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{dist_{ij}} \cdot \frac{d_j}{d_i} \quad (2)$$

其中 f_{H_i} 为第*i*株林木的竞争指数, $dist_{ij}$ 为第*j*株竞争木距第*i*株对象木距离, d_j 是第*j*株竞争木的胸径, d_i 是第*i*株对象木的胸径, n 为竞争木的株数。竞争因子是基于林木胸径的指标。

1.2.4 竞争压力指数^[18-19] 竞争压力指数基于林木冠幅的指标,模型为:

$$f_{CSi} = \frac{\sum_{i=1}^n (AO_i + A)}{1\ 000\ A} \quad (3)$$

式中: AO_i 为对象木与第*i*株竞争木的树冠重叠面积, A 为对象木的树冠面积, n 表示与对象木树冠有重要重叠关系的竞争木株数。

综上所述,联立方程得竞争势模型为 $f_{Ci} = 1/(f_{oi} + f_{Hi} + f_{CSi})$, f_{Ci} 越小竞争压力越小,在竞争中越处于优势。如表2所示。

表2 3个竞争模型描述

竞争分类	开阔比数	简单竞争因子	竞争压力指数	竞争势模型
指标描述	对资源的竞争	邻体竞争	邻体竞争	综合竞争
所需因子	位置、树高	胸径	冠幅	位置、树高、胸径、冠幅
改进表达式	$f_{o_i} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} - 1 }{4}$	$f_{H_i} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{dist_{ij}} \cdot \frac{d_j}{d_i}$	$f_{CSi} = \frac{\sum_{i=1}^n (AO_i + A)}{1\ 000\ A}$	$f_{Ci} = 1/(f_{oi} + f_{Hi} + f_{CSi})$
模型表达	数量值越小,竞争优势越大	数量值越小,竞争优势越大	数量值越小,竞争优势越大	数量值越大,竞争优势越大

1.3 林分生长量分配模型

根据林木在林分中所处的竞争状态对林木竞争强度进行排序,竞争势值越大,竞争优势越大,所占有的生长量也越大,因此按照竞争势分配法将林分整体生长量分配到每株单木时,单木所分配的净生长量越大。林分生长量分配模型如(4)所示:

$$G_i = G_{Total} \times \frac{f_{ci}}{\sum_{i=1}^n (f_{ci})} \quad (4)$$

式中: G_i 为每株单木的个体生长量; G_{Total} 为林分整体生长量; f_{ci} 为第*i*株对象木的竞争势。

2 结果与分析

选用位于湖南攸县黄丰桥林场长冲分场的杉木人工纯林固定样地为数据源。该样地1999年造林,样地面积为30 m × 30 m,林木株数为122株,如表3

所示。从2008年到2011年4年间每年进行每木检尺,用全站仪调查每棵树木的相对位置坐标(X, Y, Z),用胸径尺测量胸径,测高仪测量树高,皮尺测量冠幅。计算机读取以上测量数据并存入系统数据库,进行林分数据可视化表达。

表3 湖南黄丰桥林场样地实测数据

项目	2008年实测数据	2011年实测数据
年龄/a	9	12
株数	122	120
平均胸径/cm	14.74	16.86
平均树高/m	8.04	10.89
平均冠幅/m	2.63	3.94

读取系统数据库每株单木的属性信息(位置、胸径、树高、冠幅)计算林木竞争势,并根据竞争势权重将2008—2011年林分总体生长量分配到每棵树木,实现林分生长可视化表达。最后对比、分析

每棵树木预测生长量与实际生长量,评价竞争势模型。

本文根据简单竞争因子 f_H 、竞争压力指数 f_{CSI} 及竞争势模型 $f_c = 1/(f_o + f_H + f_{CSI})$ 分别计算林分边界内每株树木竞争势,并以林分生长量分配模型为依据分配林分总体生长量到单株木个体。首先剔除10年被砍伐的2株树及其相邻木,然后剔除在2008年重大冰雪灾害中被压断梢的树木,最后参与计算的树木样本量变为98株。对样本进行残差分析,剔除置信区间外异常数据后分析计算预测值与实际值的相关指数。图3,4是简单竞争因子模型预测值与实际值的残差图与竞争势模型预测值散点图。图5,6是竞争压力指数模型预测值与实际值的残差图

与竞争势模型预测值散点图。

2.1 依据简单竞争因子与竞争压力指数的林分生长量分配结果

根据简单竞争因子分配林分生长量,并对分配结果进行残差分析绘制残差图,绘制简单竞争因子模型预测的生长量与真实生长量之间的散点图,如图4所示剔除异常后预测值与真实值之间呈一定线性相关,但相关系数较低。同时,根据竞争压力指数分配林分生长量,并对分配结果进行残差分析绘制残差图;绘制竞争压力指数模型预测的生长量值与真实生长量值之间的散点图,如图6所示剔除异常后预测值与真实值之间呈一定线性相关,但相关系数较低。分析结果见表4。

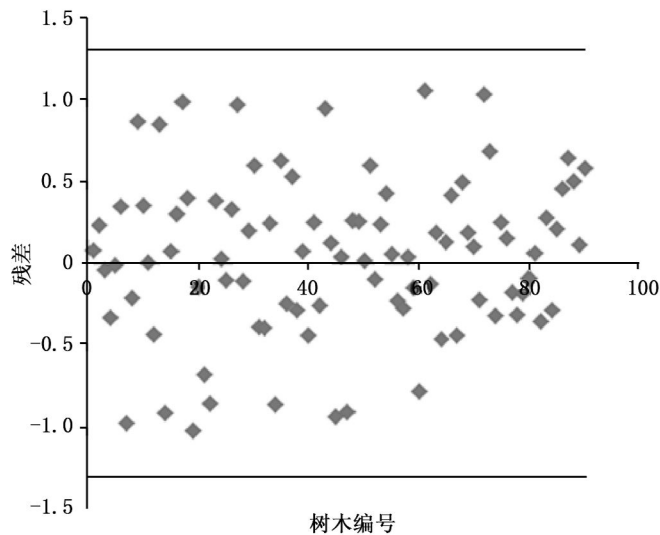


图3 简单竞争因子模型残差图

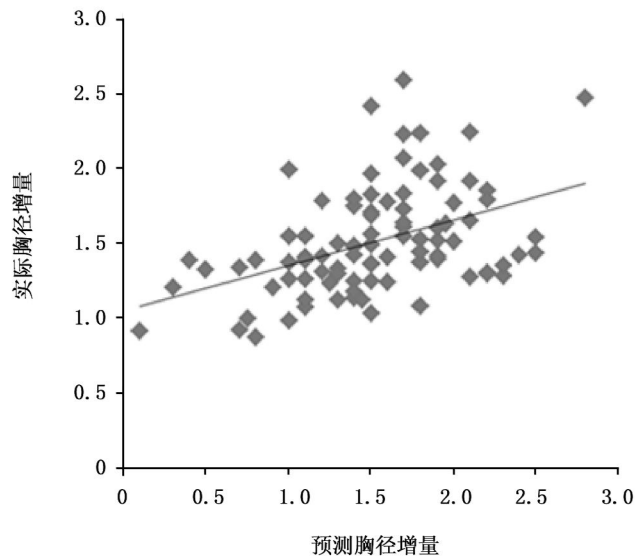


图4 简单竞争因子模型预测值与真实值散点图

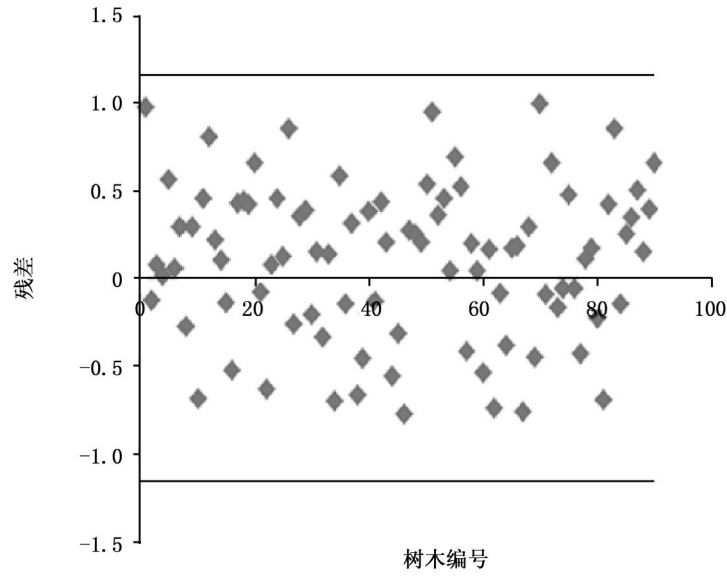


图5 竞争压力指数模型残差图

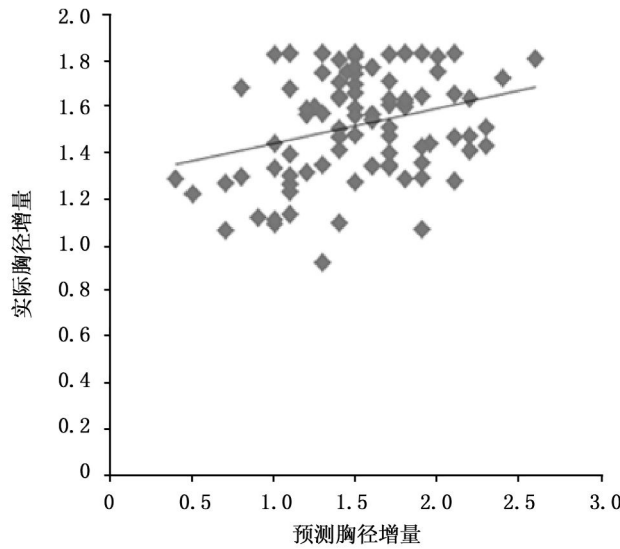


图6 竞争压力指数模型预测值与真实值散点图

表4 3种竞争模型分配结果分析

名称	竞争势模型	简单竞争因子	竞争压力指数
平均值	1.60	1.52	1.52
标准差	0.35	0.36	0.23
均方误差	1.64	1.56	1.54
相关指数	0.60	0.44	0.29
置信区间	[-1.155, 1.155]	[-1.302, 1.302]	[-1.154, 1.154]

2.2 依据竞争势的林分生长量分配结果

图7,8是竞争势模型预测值与实际值的残差图与竞争势模型预测值散点图。根据竞争势模型分配

林分生长量,并对分配结果进行残差分析绘制残差图(如图7所示),绘制竞争势模型预测的生长量与真实生长量之间的散点图,如图8所示。剔除异常后预测值与真实值之间呈线性相关,如图8所示。分析结果见表4。

2.3 两个竞争指标与竞争势模型分配结果比较、分析

将2008—2011年林分总体生长量分别计算简单竞争因子与竞争压力指数模型以及竞争势模型计算单木竞争势,依据竞争势加权分配到林木个体后,计算各模型平均值、标准差,均方误差与相关系数,分配结果分析如表4所示。

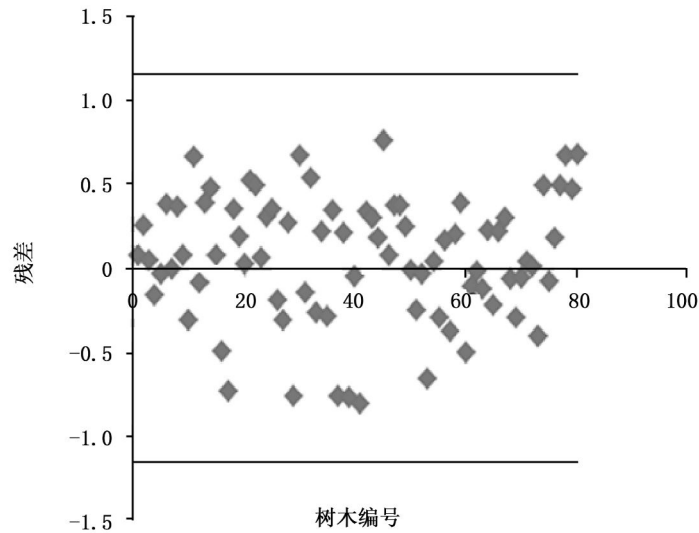


图7 竞争势模型残差图

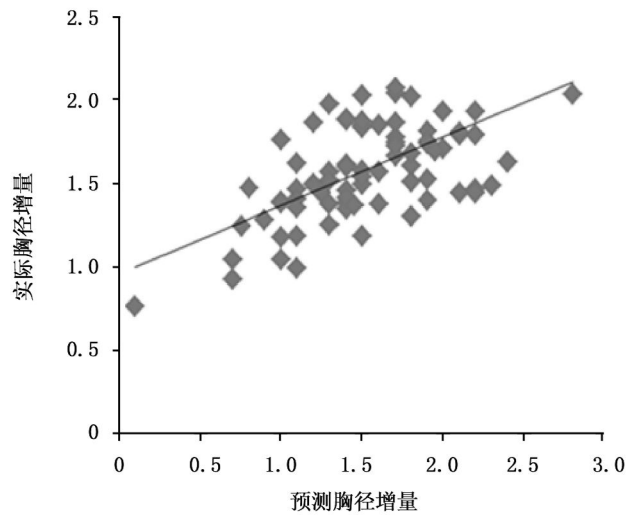


图8 竞争势模型预测值与真实值散点图

可见,竞争势模型相关指数最大,简单竞争因子次之,竞争压力指数最小。竞争势模型可以作为林分生长可视化模拟中生长量的分配依据。

最后将模拟结果以三维可视化方式表达,如图9,10所示。

3 结论与讨论

可以看出竞争势模型是一个综合描述植物竞争的模型。从模拟角度来说,它既描述了林木对光资源的竞争又描述了植物间个体的竞争;从模拟所需因子的复杂性来看,竞争势模型只需要林木位置、胸径、树高、冠幅4大因子,这些因子属于常规测量的内容较易获取。

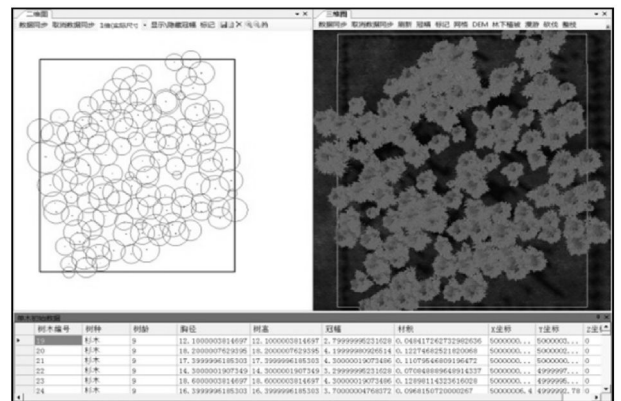


图9 2011年实际林分调查数据模拟可视化

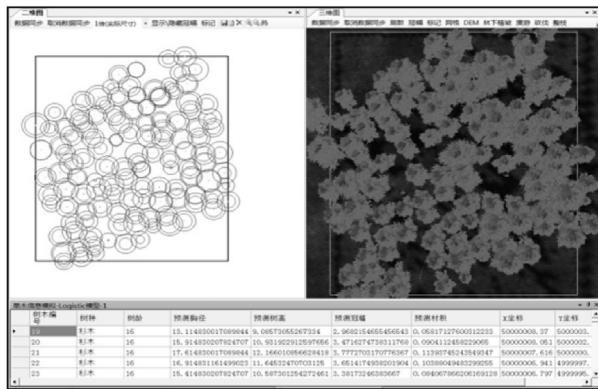


图 10 2011 年林分预测生长模拟三维图可视化

将林分整体生长量向林木个体分配时,综合考虑林木对光资源的竞争以及林木个体之间的竞争关系,可以将林分生长与竞争有效地结合,使林木间的竞争关系体现在生长过程中。从分析结果可以看出,以竞争势为依据的林分生长量分配模型与实际胸径增长量之间相关指数为 0.6,可以作为林分生长量分配的手段,为林分可视化模拟提供模型支持。

参考文献:

[1] 李 博,活金森. 植物竞争研究进展[J]. 植物学通报. 1998, 15 (4):18 - 29

[2] 关毓秀,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

[3] John A. Kershaw Jr., Evelyn W Richards. Spatially correlated forest stand structures: a simulation approach using copulas[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 74:120 - 128

[4] Weiner J. A neighborhood model of annual - plant interference[J]. Ecology. 1982, 63 (5):1237 - 1241

[5] Weiner J. Asymmetric competition in plant population[J]. Trends Ecol Evol, 1990, 5:360 - 364

[6] Weiner J. How competition for light and nutrients affects size variability in ipomoea tricolor populations[J]. Ecology. 1986, 67 (5): 1425 - 1427

[7] 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(3): 695 - 720

[8] Mou P, Miteh R J, Jones R H. Ecological field theory model: a mechanistic approach to simulate plant - plant interactions in south-eastern forest ecosystems [J]. Can J For Res, 1993a, 23: 2180 - 2193

[9] Newton P F, Jolliffe P A. Assessing processes of intraspecific competition within spatially heterogeneous black spruce stands[J]. Can J For Res, 1998, 28:259 - 275

[10] 惠刚盈,胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1):23 - 27

[11] 惠刚盈, Klaus von Gadow, Matthias Albert. 一个新的林分空间结构参数大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, 12(1):1 - 6

[12] 惠刚盈, Klaus von Gadow, Matthias Albert. 一个描述林木个体分布格局的结构参数[J]. 林业科学, 1999, 35(1):37 - 42

[13] 惠刚盈, K. v. Gadow, 胡艳波. 林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6):687 - 692

[14] 胡艳波. 基于结构化森林经营的天然异龄林空间优化经营模型研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2010

[15] 赵俊卉. 长白山云冷杉混交林生长模型的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010

[16] Fuldner K. Strukturbeschreibung von Buchen Edellaubholz Mischwäldern[M]. Dissertation Universität Göttingen. 1995

[17] 张成程. 落叶松人工林空间结构优化经营及可视化模拟的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2009

[18] 张成程, 李凤日, 赵颖慧. 落叶松人工林空间结构优化的探讨[J]. 植物研究, 2008, 28(5):632 - 636, 640

[19] 康晓梅, 刘 盛, 陈建伟. 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