

基于简单竞争指数的杉木人工林树冠形状模拟

覃阳平, 张怀清*, 陈永富, 蒋 娴, 李永亮

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:以湖南省株洲市攸县黄丰桥国有林场杉木中龄林为研究对象,用逐步回归的方法建立以单木大小、单木竞争指标为自变量,冠幅、冠长为因变量的函数估算模型,实现林木树冠形状的模拟。研究结果显示:在杉木树冠形状模拟时,与竞争有关的冠幅模型、冠长模型的判定系数 R^2 分别为 0.771、0.872,显著高于与竞争无关的冠幅模型、冠长模型的调整的判定系数 0.729、0.811,这说明竞争对树冠生长影响的作用是显著的。

关键词:杉木人工林;树冠形状;简单竞争指数;模拟

中图分类号:S757

文献标识码:A

Canopy Shape Simulation of Chinese Fir Plantation Based on Simple Competition Index

QIN Yang-ping, ZHANG Huai-qing, CHEN Yong-fu, JIANG Xian, LI Yong-liang

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

Abstract: The middle-aged Chinese fir stands of Huangfengqiao State – owned Forest Farm in Youxian County of Hunan Province were studied. In order to simulate the shape of individual tree canopy, stepwise regression method was used to build an estimation model. In the model, a function taking individual tree size and individual tree competition index as variables, the crown width and crown length as dependent variables was involved. The result showed that when simulating the shape of Chinese fir canopy, the determination coefficient (R^2) of competition – related crown width model and competition-related crown length model were 0.771 and 0.872, which were significantly higher than that of competition-unrelated model (which were 0.729 and 0.811), which indicated that the competition had a significant effect on the growth of canopy.

Key words: Chinese fir plantation; canopy shape; simple competition index; simulation

在植物群落中,个体竞争的结果决定了植物群落的结构^[1-2]。在森林中,个体竞争的结果决定了单木树冠在林层中的大小及位置,单木树冠在林层中的大小及位置反过来又影响单木的光照条件、存活及生长等^[3]。单木树冠的结构决定了其在冠层中与其它个体竞争的地位,而竞争的结果反作用于单木树冠的结构。单木的树冠构成了整个森林冠层,森林冠层是树木转换利用太阳能形成生产力的主要

场所,是森林生态系统与土壤、大气进行热量、水分和其它物质交换的能量转换场所^[4-6]。理解单木树冠之间的竞争交互对于森林持续健康生长以及森林生态系统经营有重要意义。

国内外关于树冠模型模拟的研究很多。然而,许多以前的研究把单木的树冠作为其胸径或者树高的函数来模拟^[3,7-8],这些模型模拟的结果在密度高的林分中树冠偏大,在密度低的林分中树冠偏小。

收稿日期:2013-04-20

基金项目:国家自然科学基金(31170590)、国家863计划课题(2012AA102002)、林业公益性行业科研专项(201104028)

作者简介:覃阳平(1987—),男,湖北宜昌人,硕士研究生,主要从事林分模拟与可视化研究

* 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

因此,一个全面的树冠模型需要把竞争的影响包含进去^[9-10]。

以湖南省株洲市攸县黄丰桥国有林场杉木中龄林为研究对象,建立以单木大小、单木竞争指标为自变量,冠幅、冠长为因变量的函数估算模型,实现林木树冠形状的模拟,目的为研究杉木人工林生长、经营管理以及更新森林资源调查数据库提供支持,同时也为单木的反演、再现和预测奠定基础,以便更全面地实现森林可视化。

1 研究区概况

本研究区黄丰桥国有林场位于湖南省株洲市攸县东西部,地理坐标为 130°04′~113°43′ E, 27°06′~27°04′ N,东西长约 60 km,南北宽约 40 km。林场地貌以中低山为主,境内最高海拔 1 270 m,最低海拔 115 m,坡度一般在 20°~25°之间。林场地处中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 17.8℃;极端最低温度 -11.9℃,极端最高温度 40℃;年≥10℃积温 5 609.9℃;平均无霜期为 292 d;平均日照时间为 1 612 h,年平均降水量 1 410.8 mm,年内降水量春季占 40%,夏季占 32%,秋季占 28%,属于林木生长旺季的 4—9 月,降水量占全年降水量的 65%。林场的森林覆盖率为 86.24%,主要造林树种为杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 等。

2 研究方法

2.1 数据调查

选择林场内典型地貌设置样地,样地大小为 50 m×50 m,在样地内进行每木检尺,每木检尺方法为:胸径用围尺测量,精确到 0.1 cm;树高和冠高用激光测高测距仪测量,精确到 0.1 m;东西南北 4 个方向冠幅用皮尺测量,精确到 0.1 m;同时用全站仪测量每棵树木的相对坐标。一共调查了 232 (其中有 12 株断枝、断梢的林木作为异常数据剔除,不参与模型的拟合与验证) 株树。调查记录中还包括了海拔、坡向、坡位、坡度等立地环境因子。样地基本信息见表 1。

表 1 样地基本信息

指标	树龄/a	胸径/cm	树高/m	冠幅/m	冠长/m
最大值	14	29.8	17	3.8	7.0
最小值	14	11.4	8.9	2.0	1.3
均值	14	20.4	12.9	3.1	4.7

2.2 树冠模型的确定

为了定量的描述树冠,在研究中用冠幅和冠长来描述树冠的形状;用树高、胸径、竞争指数去分别拟合冠幅和冠长,研究单木大小与竞争因子对树冠形状的影响。

2.2.1 竞争指标模型 采用 Hegyi 简单竞争指标 (*CI*) 来反映对象木所承受的竞争压力。*CI* 的表达式为:

$$CI_i = \sum_{j=1}^N (D_j/D_i)/(DIST)_{ij} \quad (1)$$

式中,*CI_i* 是对象木 *i* 的简单竞争指标;*D_i* 是对象木的直径;*D_j* 是对象木周围第 *j* 株竞争木的直径 (*j* = 1, 2, 3, ..., *N*);*DIST_{ij}* 表示对象木 *i* 与竞争木 *j* 之间的距离。

在用邻近木法^[11] 确定对象木的周围的竞争木时,取离对象木最近的 4 棵树^[12] 来计算简单竞争指标 (*CI*)。

2.2.2 树冠模型 Krajicek 等在 1961 年提出树冠竞争因子的时候就指出自由树的冠幅 (*CW*) 与胸径 (*D*) 的关系为线性模型。表达式如下:

$$CW = aD + b \quad (2)$$

本研究改进了上述已有的树冠形状估算模型,在模型中对冠幅和冠长的拟合,不仅考虑了树木的大小,同时考虑竞争的影响;在以往的研究中^[13],对树冠形状进行模拟时只考虑了胸径这一个单木大小因子,在本研究中同时考虑了胸径和树高。模型表达式如下:

$$Y = aD + bH + cCI + d \quad (3)$$

式中,*a*, *b*, *c*, *d* 是要求解的系数,*Y* 表示冠幅 (*CW*) 或冠长 (*CL*), *CI* 表示竞争指数,*D* 和 *H* 分别是对象木的胸径和树高。

构建模型时随机选择 70% (154 棵) 的数据作为建模数据,30% (66 棵) 的数据作为检验数据。数据分析及建模均使用 EXCEL2007 和 SPSS V20 软件。

3 结果与分析

3.1 模型的建立

前人研究表明,自由树的冠幅与胸径之间一般呈线性关系。唐守正等^[14] 曾使用线性模型、幂函数模型和多项式回归模型拟合过杉木疏开木冠幅与胸径的估算模型,效果良好。在现实的林分中,树木在生长过程中不断扩大生长空间,然而林分的空间是有限的,树木之间不可避免的展开了争取生长空间的竞争^[15],因此,在对树木冠幅、冠长的拟合中,不

仅要考虑单木大小对树冠形状大小的影响,同时也要考虑竞争的作用。

用逐步回归法分别对冠幅、冠长进行回归拟合,拟合的模型见公式(3),拟合的结果分别见表2、表3,每个表包含了各个模型的参数、参数的 t 检验统计量、显著性检验的 P 值(包括 t 检验和 F 检验)、调整的判定系数 R^2 、 F 检验统计量等。其中,调整后的 R^2 的值越大,说明模型拟合效果越好,从表2可以看出,加入 CI 的冠幅模型2、3、4的拟合效果要比1好,从表3可以看出,加入 CI 的冠长模型2的拟合效果要比1好,这就说明竞争因素对树冠的形状有较大的影响。 F 统计量的检验概率值 P 均为0,小于显著性水平0.05,说明模型是有统计学意义的,即各自变量与冠幅、冠长之间的线性关系是显著的。对回归模型中的系数进行显著性检验,主要关注对 t

统计量进行显著性检验的 P 值。首先是将所有自变量都引入回归模型,然后根据 P 值的大小确定将要进入模型的项和将要剔除的项。 P 值最大并且大于Premove参数值(0.1)的项最先被剔除出模型, P 值最小并且小于Penter参数值(0.05)的项最先被引进模型,每剔除一个变量就要重新对方程进行方差分析,重新对系数进行显著性检验,直到方程中再也没有可以被引进和剔除的变量为止。从表2中我们可以看出,对冠幅进行拟合时,变量进入的顺序为 D 、 CI 、 H ,变量 D 开始对 CW 的影响显著,随着变量 CI 、 H 的加入,变量 D 开始对 CW 的影响不显著(模型3中变量 D 系数的显著性检验的 P 值为 $0.191 > 0.05$),因而从最终的模型中被剔除。从表3可以看出,对冠长进行拟合时,变量进入的顺序为 H 、 CI ,模型中一直没有 D ,说明 D 对 CL 的作用始终不显著。

表2 冠幅拟合结果

模型编号	模型参数	回归系数检验			回归模型方差分析		
		参数值	t 检验统计量	显著性检验的 P 值	调整的判定系数 R^2	F 检验统计量	显著性检验的 P 值
1	常量	1.641	23.550	0	0.729	434.645	0
	D	0.070	20.848	0			
2	常量	2.338	11.782	0	0.761	245.249	0
	D	0.049	7.978	0			
3	CI	-0.250	-3.900	0	0.772	173.586	0
	常量	1.990	8.717	0			
4	D	0.017	1.313	0.191	0.771	258.279	0
	CI	-0.246	-3.921	0			
4	H	0.081	2.808	0	0.771	258.279	0
	常量	1.944	8.047	0			
4	CI	-0.277	-4.756	0	0.771	258.279	0
	H	0.115	8.507	0			

表3 冠长拟合结果

模型编号	模型参数	回归系数检验			回归模型方差分析		
		参数值	t 检验统计量	显著性检验的 P 值	调整的判定系数 R^2	F 检验统计量	显著性检验的 P 值
1	常量	-3.409	-10.781	0	0.811	658.724	0
	H	0.623	25.666	0			
2	常量	1.737	2.771	0.006	0.876	542.768	0
	H	0.362	10.304	0			
2	CI	-1.358	-8.991	0	0.876	542.768	0
	常量	1.737	2.771	0.006			

3.2 模型的检验

从表2可以得到冠幅的最优拟合模型,即 $CW = 0.115H - 0.277CI + 1.944$,从表3可以得到冠长的最优拟合模型,即 $CL = 0.362H - 1.358CI + 1.737$,用得到的拟合模型分别计算出检验数据树木冠幅预测值、冠长预测值,然后与30%的实际值进行配对样本 t 检验,检验结果见表4、表5。从表4中可以看出,冠幅预测值比实际值稍小,约0.001 m,在现实中冠幅测量时精确到0.1 m,同时由于 P 值(0.939)大于

0.05,这表明冠幅预测值与实测值之间无显著差异。从表5中可以看出,冠长预测值比实际值稍小约0.03 m,在现实中冠长测量时精确到0.1 m,由于 P 值(0.473)大于0.05,表明冠长预测值与实测值之间无显著差异。图1为模型预测值残差分布图,从中可以看出残差随机分布在0水平轴两端, CW 的残差分布范围大致在正负0.3之间, CL 的残差分布范围大致在正负1之间。至此,可以证明所建冠幅、冠长模型拟合效果较好,能够预测杉木冠幅的生长。

表4 冠幅模型预测效果 t 检验

变量	平均数	标准差	自由度	t 值	P 值
实测值	3.020 5	0.232 4	65	0.076	0.939
预测值	3.019 2	0.200 2			

表5 冠长模型预测效果 t 检验

变量	平均数	标准差	自由度	t 值	P 值
实测值	4.498 6	0.770 1	-	-	-
预测值	4.467 9	0.768 8	65	0.722	0.473

4 结论与讨论

与竞争有关的冠幅模型、冠长模型的调整的判

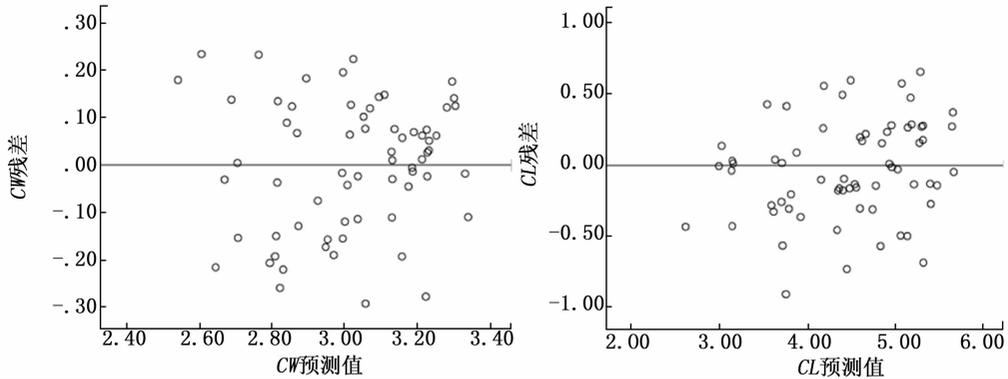


图1 模型预测值残差分布

树冠是关于树干对称的。以前的研究表明,为了减轻来自周围树木的竞争的压力,树冠形状很多是不对称的^[15],这就需要在以后深入的研究中同时考虑对称和不对称的情况。

该模型经过 t 检验、残差分析后均表明预测性能较好,因此该模型均可作为研究杉木人工林生长、经营管理以及更新森林资源调查数据库提供支持,同时为杉木人工林更精确的可视化奠定了基础。

参考文献:

[1] Harper, J L. Population Biology of Plants[M]. London: Academic Press, 1977

[2] Barnes B V, Zak S R, Denton S R, et al. Forest Ecology[M]. New York: Wiley, 1998

[3] Pacala S W, Canham C D, Saponara J, et al. Forest models defined by field measurements II estimation, error analysis and dynamics [J]. Ecol Monogr, 1996, 66(1): 1-43

[4] John A. Crown structure in western hemlock, Douglas-fir, and grand fir in western Washington: horizontal distribution of foliage within branches[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1996, 26(1): 128-142

[5] Ninements U, Kull O. Effects of light availability and tree size on the architecture of assimilative surface in the canopy of *Picea abies*: variation in needle morphology[J]. Tree Physical, 1995, 15: 307-315

定系数 R^2 分别为 0.771、0.872, 显著高于与竞争无关的冠幅模型、冠长模型的调整的判定系数 0.729、0.811, 这说明竞争对树冠生长影响的作用是显著的; 从冠幅的最优拟合模型, 即 $CW = 0.115H - 0.277CI + 1.944$, 冠长的最优拟合模型, 即 $CL = 0.362H - 1.358CI + 1.737$ 可以得出冠幅、冠长与单木的大小因子呈正相关, 与竞争因子呈负相关。

本研究中, 只用冠幅和冠长两个指标来描述树冠的形状, 这对于森林中不规则的树冠形状显然是不够的, 在以后的研究中需要引入更多的指标来描述树冠形状, 使之更贴近自然。同时在模拟时, 假设

[6] 李火根, 黄敏仁. 杨树新无性系冠层特性与生长关系研究[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 34-37

[7] O'Brien S T, Hubbell S P, Spiro P, et al. Diameter, height, crown, and age relationships in eight neo-tropical tree species[J]. Ecology, 1995, 76: 1926-1939

[8] Grote R. Estimation of crown radii and crown projection area from stem size and tree position[J]. Ann Forest Sci, 2003, 60: 393-402

[9] Purves D W, Lichstein J W, Pacala S W. Crown plasticity and competition for canopy space: a new spatially implicit model parameterized for 250 North American tree species[J]. 2007, 2(9): 870-881

[10] Davies O, Pommerening A. The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula* spp) crowns[J]. For Ecol Manage, 2008, 256: 68-77

[11] Canham C D, Papaik M J, Uriarte M, et al. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England Forests[J]. Ecol Appl, 2006, 16: 540-554

[12] 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

[13] Thorpe H C, Astrup R. Competition and tree crowns: A neighborhood analysis of three boreal tree species[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259: 1586-1596

[14] 唐守正, 杜纪山. 利用树冠竞争因子确定同龄间伐林分的断面积生长过程[J]. 林业科学, 1999, 35(6): 35-41

[15] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006

[16] Muth C C, Bazzaz F A. Tree canopy displacement and neighborhood interactions[J]. Can J For Res, 2003, 33: 1323-1330