

木麻黄工业原料林多形地位指数模型的研究

张连金¹, 惠刚盈^{1*}, 何楚林²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
2. 海南省林业局, 海口 570203)

摘要:以木麻黄工业原料林为研究对象, 采用 Richards 非线性生长方程, 通过参数置换法, 建立了木麻黄多形地位指数模型。结果表明: (1) Richards 方程的拟合精度较高, 经检验, 该模型优势高的理论值和实际值差异不显著, 适应性较好, 能对木麻黄的优势高生长进行正确预估; (2) 研究地区木麻黄工业原料林的基准年龄可确定为 3 a; (3) 对多形地位指数模型的拐点进行分析, 表明该模型能够客观地反映不同立地优势高的生长规律; (4) 为推进国内木麻黄数表、模型的研究与应用提供了参考, 为木麻黄林分立地质量评价, 经营管理提供科技支撑。

关键词:木麻黄; 工业原料林; 差分方程; 地位指数曲线; 多形模型

中图分类号: S792.93

文献标识码: A

Polymorphic Site Index Model of *Casuarinae quisetifolia* Fast-growing Plantation

ZHANG Lian-jin¹, HUI Gang-ying¹, HE Chu-lin²

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Forestry Bureau of Hainan Province, Haikou 570203, Hainan, China)

Abstract: The fast-growing plantation of *Casuarinae quisetifolia* were selected for establishing the polymorphic site index model by parameter replacement method based on the nonlinear Richards equation. The results shows that: (1) The Richards equation has much higher precision and a good adaptability, the difference of dominant height between theoretical value and actual value is not significant by testing, which indicates that the dominant height increment of *Casuarinae quisetifolia* can be properly evaluated; (2) The reference age of site index for fast-growing *C. quisetifolia* is 3 years in this area; (3) With the analysis of inflection point, it shows that the dominant height increments under different site conditions can be objectively reflected by the polymorphic site index model; (4) It provides a reference for the research and application on the mathematical tables and models of domestic *C. quisetifolia*. And it also provides scientific and technological bases for site quality evaluation and management.

Key words: *Casuarinae quisetifolia*; fast-growing plantation; difference equation; site index curve; polymorphic model

木麻黄 (*Casuarinae quisetifolia* L.) 天然分布于澳大利亚、东南亚和太平洋群岛。我国引种木麻黄有 100 多年的历史, 早在 1897 年, 台湾首先引进木麻黄^[1], 1919—1950 年, 福建、广东及海南岛主要以行道树和庭院观赏树引种木麻黄。直到 1954 年广

东省雷州半岛、吴川和电白等地营造的木麻黄沿海防护林获得成功后, 广西、福建和浙江等省区沿海各地纷纷营造人工林^[2], 使木麻黄成为我国华南沿海地区主要造林树种之一^[3]。迄今为止, 国内外对木麻黄的研究主要集中在造林规划设计^[4-5]、繁殖和

收稿日期: 2010-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(30872021)

作者简介: 张连金(1980—), 女, 福建三明人, 博士生, 主要研究方向: 天然林经营模拟。

* 通讯作者, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 天然林经营模拟。E-mail: hui@caf.ac.cn

栽培技术及防护效益观测^[6-7]等方面,并重视木麻黄病虫害防治^[8],更新特性、更新方式^[9]和低产、低质林分改造^[10]问题的探讨,特别对木麻黄抗旱耐盐生理^[11-12]、树种混交技术^[13]、生产力^[14-15]以及土壤呼吸变化^[16]、生物量^[17]、养分动态^[18-20]等方面开展了细致深入的研究,并取得了重大成果,这些研究成果对指导木麻黄科学经营和管理产生重要的作用;但是,还未曾有关于木麻黄地位指数模型和数表的研究。

地位指数曲线模型就是客观反映不同立地质量林分优势高生长的函数。地位指数能反映立地的潜在生产力,是森林立地分类和立地质量评价、森林生长预测、森林经营效果评价以及其他森林经营管理工作中的一个重要工具^[21-25]。因此,构建科学、适用、准确的地位指数模型是林学学科中富有挑战意义的研究领域^[26]。地位指数曲线的存在形式多样^[27]。总体来说有线性和非线性2种,非线性由于具有生物学意义而得到广泛的应用。与单形相比,多形地位指数模型由于能模拟不同立地条件下的不同树高生长曲线形状而具有更好的适应性^[28]。从前人的研究可知,差分方程法可在理论生长方程中导入立地指数^[29],并且以差分形式出现的多形优势高模型具有良好的生物学意义和相当高的模拟精度^[30],因此可用于多形地位指数方程的研制;但这些研究大都是建立在解析木数据或者重复测量数据的基础上,将基准年龄时的优势高作为地位指数,来求解差分方程的参数值,从而得到多形地位指数模型。根据最新的研究,杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)在Richards方程中保留参数 a 和 b (自由参数为 c),并且基准年龄较低(基准年龄等于4 a)时,可用导向曲线参数值直接替代非同形曲线的模型参数值而建立多形地位指数模型^[31]。本研究以海南文昌木麻黄工业原料林为对象,通过二类调查数据,采用参数置换法,建立Richards多形地位指数模型,为推进国内木麻黄树种的数表、模型的研究与应用提供参考,为科学经营管理木麻黄提供依据。

1 材料

数据来自海南文昌2005年森林资源二类调查的木麻黄工业原料林分样地资料(1 325个),这些样地分布于文昌市的各个乡镇林场,代表了各种不同立地条件类型和造林年度,林分的经营措施基本一致。样地调查因子包括空间位置、林场、林班、小

班、地类、权属、面积、林种、树种、树种组成、年龄、龄组、密度、造林规格、起源、郁闭度、造林年度、林分平均树高、平均胸径、总蓄积量、海拔、坡度、土壤等。造林年度为1988—2005年,几乎各年度均有分布。

由于森林资源二类调查林分样地资料中只有林分平均高,没有林分优势高。因此,本研究收集了另外一部分调查数据,该数据来源于中德林业技术合作的中国森林可持续经营政策与模式项目、海南可持续森林经营调查中的样圆调查,其调查因子中包括位置、胸径、树种、林分平均高、林分优势高等。

2 方法

2.1 数据处理

首先,根据样圆调查数据,建立林分平均高(\bar{H})与优势高(H_0)的相关方程:

$$H_0 = 1.1863 \times \bar{H} + 0.5622 (n = 120, R^2 = 0.996) \quad (1)$$

式(1)中: \bar{H} 为林分平均高; H_0 为林分优势高。

其次,根据式(1)计算出平均高所对应的优势高,作年龄与优势高散点图,使用常规的三倍树高标准差法剔除生长异常数据。经检验,在1 325个样本数据中,有1 199个样本数据符合要求,满足地位指数的建立要求。从1 199个样本数据中随机选取199个样本数据用于模型的检验,用于建模的1 000个样本数据如图1所示(图1)。

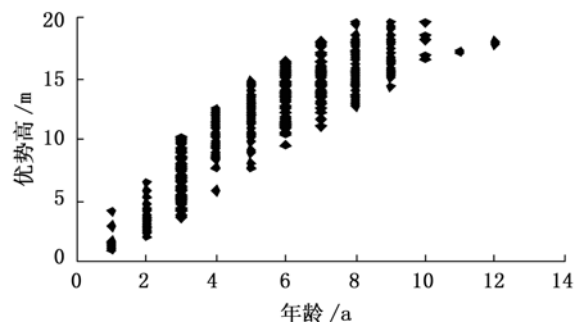


图1 优势高与年龄之间的关系

2.2 导向曲线模型的选择

导向曲线的选择既要保证符合林木树高生长的一般规律,又要取得较好的拟合效果。一个真正的生长方程应该具有以下特点^[32-34]:经过原点,增长性,有一个极限值,有一个拐点(连年生长量最大)。具有以上特点的方程的参数较稳定,具有数学和生物学意义,并且较容易测定。本文选择具有较高弹性且应用广泛的Richards方程来拟合导向曲线模

型。表达式为:

$$H_0 = a(1 - e^{-bt})^c \quad (2)$$

式(2)中: H_0 为林分优势高; t 为林龄; a 、 b 、 c 为参数。

(2)式的拐点年龄(t_r)表达式如下:

$$t_r = (\ln c)/b \quad (3)$$

2.3 参数估计

模型的参数通过 Forstat2.1 和 Statistica 统计软件获得^[35]。

2.4 模型检验

模型精度的高低直接影响模型的价值和指导作用。一般来说,检验分精度检验和适合性检验两部分。利用剩余的 199 个独立样本数据,通过计算平均误差、平均绝对误差、平均相对误差、预估精度等指标进行精度检验。通过置信椭圆 F 检验进行模型适应性检验,基本方法是,用样本因变量的观测值(y)与将该样本自变量代入模型后得到的回归估计值(x)之间做一元线性回归,即假定: $y = a_0 + b_0x$,如果所建模型不存在系统误差,则直线回归方程中 a_0 、 b_0 分别与 0、1 无显著差异^[35]。

2.5 基准年龄的确定

基准年龄(T)是树高生长趋于稳定且能灵敏反映立地差异的年龄。如何确定基准年龄至今尚无统一标准。有研究认为选择不同的林分生长年龄作为基准年龄,对多数树种的立地质量评价结果没有明显影响^[7],也有研究认为选择不同的基准年龄对立地评价结果有一定的影响,只有在选择林分生长比较稳定之后的年龄作为基准年龄才对立地评价结果

不产生明显的影响^[36]。一般来说,速生树种确定的基准年龄较小,慢生树种确定的基准年龄相对较大。到目前为止,前人还没有对木麻黄的基准年龄进行研究,因此,本文把导向曲线的二阶导数为零时的拐点年龄定为基准年龄^[37]。

2.6 多形地位指数模型的建立

由于研究使用的是一次性清查数据(二类调查数据),无法使用传统的方法建立多形地位指数曲线,因此,采用惠刚盈等^[31]提出的参数置换法构建木麻黄工业原料林的多形地位指数方程,其表达式为:

$$H_0 = a \left(\frac{SI}{a} \right)^{\frac{\ln c(1-e^{-bT})}{\ln c(1-e^{-bT})}} \quad (4)$$

其中: SI 为地位指数; T 为基准年龄;其余参数同上。

(4)式的拐点年龄(t_c)可由下式求出:

$$t_c = \frac{1}{b} \ln \left(\frac{\ln(SI/a)}{\ln(1 - e^{-bT})} \right) \quad (5)$$

3 结果与分析

3.1 拟合结果

表1和图2分别显示了 Richards 方程的拟合结果和拟合效果。由表1可知:Richards 方程的决定系数(R^2)和均方根误差($RMSE$)分别为 0.93 和 1.38,表明该模型的模拟精度较高。此外,其参数 a 值约为 19,这种平均极限高度符合海南文昌当地的实际极限平均高度,且符合该参数作为树高生长极限的生物学意义(图2)。因此,表1和图2表明 Richards 方程能充分反映木麻黄的树高生长过程。

表1 Richards 生长方程拟合结果

生长方程	a	b	c	决定系数(R^2)	均方根误差($RMSE$)	拐点年龄(t_r)/ a
Richards	18.626 73	0.354 25	2.478 60	0.93	1.38	2.6

3.2 模型检验

3.2.1 精度检验 从表2可知:该模型的平均误差为 0.20 m,平均绝对误差约为 1 m,平均相对误差仅 12%,都较小,且预估精度达到 98%,表明模型效果较好。

表2 精度检验结果

生长方程	平均误差 /m	平均绝对误差 /m	平均相对误差 /%	预估精度 /%
Richards	0.20	1.07	12	98.2

3.2.2 适应性检验 由表3可知:Richards 方程的

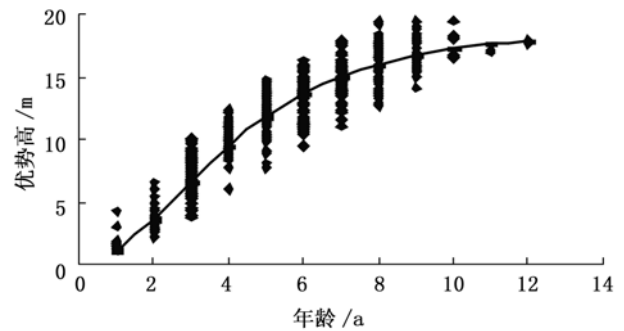


图2 Richards 函数拟合图

F 值($F = 2.303\ 65$) 小于 $F_{0.05} = 3.041\ 75$, 表明该模型不存在系统误差, 具有较好的适应性。再从图 3 可以看出: 优势高的理论值和实际值差异不显著,

满足精度要求, 能对木麻黄的优势高生长进行正确预估, 可以应用于研究区林业生产实践。

表 3 适应性检验结果

生长方程	n	a_0	b_0	R	F	$F_{0.05}$	差异显著性
Richards	199	0.329 56	0.987 56	0.960 66	2.303 65	3.041 75	不显著

注: a_0 、 b_0 为 F 检验中实际值与预估值线性回归方程的系数。

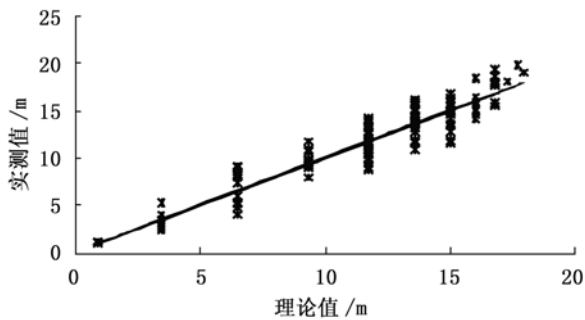


图 3 优势高理论值与实际值回归图

3.3 多形地位指数模型

3.3.1 基准年龄 从表 1 可知: Richards 方程的拐点年龄为 2.6 a, 因此, 本研究将基准年龄定为 3 a。

3.3.2 多形地位指数模型 将表 1 中的 a 、 b 参数值及基准年龄($T = 3$) 代入(4)式, 就得到多形地位指数模型(6):

$$H = 18.626\ 73(SI/18.626\ 73)^{\ln(1-\exp(-0.354\ 25t))/(-0.423\ 89)} \quad (6)$$

3.3.3 多形地位指数模型特征分析 拐点是体现曲线形状的一个重要特征, 由(5)式可以看出: 不同的地位指数有不同的拐点。表 4 列出了不同地位指数时各优势高生长曲线的拐点横坐标。从表 4 可知: 随着立地指数的增大, 拐点横坐标(拐点)呈递减趋势, 表明所建立的地位指数曲线模型确保了多形涵义, 同时也反映了立地质量越好, 优势高速生期到来越早的生物学特性; 因此, 用(6)式作为拟合木麻黄地位指数曲线的数学模型是比较理想的。

表 4 不同地位指数的拐点年龄

立地指数	2	3	4	5	6	7	8
拐点年龄/a	4.7	4.1	3.6	3.2	2.8	2.4	2.0

4 结论

多形地位指数模型的构建是森林生长模型研究的难点。本文以海南文昌市的木麻黄工业原料林为

研究对象, 选用 Richards 生长方程作为导向曲线, 具有较高的精度。

经独立样本数据检验, Richards 方程的平均误差、平均绝对误差和平均相对误差都较小, 预估精度达到 98%, 说明模型效果较好; Richards 方程的优势高的理论值和实际值差异不显著, 模型具有较好的适应性, 能对木麻黄的优势高生长进行正确预估。

根据木麻黄的生物学特性, 结合确定基准年龄的一般原则, 把导向曲线的二阶导数为零时的拐点年龄定为基准年龄, 得到的木麻黄工业原料林的基准年龄为 3 a。

对建立的 Richards 多形地位指数模型的拐点进行分析, 表明所建的多形模型具有多形涵义, 同时反映了立地质量越好, 优势高速生期到来越早的生物学特性, 说明该模型能够客观地反映不同立地优势高的生长规律。

参考文献:

- [1] 杨政川, 张添荣, 陈财辉. 木贼叶木麻黄在台湾之种源实验 I 种子与苗木生长[J]. 林业实验研究报告, 1995, 10(2): 2-7
- [2] 徐燕千, 劳家骥. 木麻黄栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984
- [3] 仲崇禄, 白嘉雨, 张 勇. 我国木麻黄种质资源引种与保存[J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 345-350
- [4] 张水松, 林武星, 叶功富, 等. 海岸带风口沙地提高木麻黄造林效果的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6): 39-46
- [5] 张水松, 谭芳林, 林武星, 等. 海岸带风口沙地木麻黄无性系造林与根系生长特性[J]. 林业科学, 2005, 41(1): 85-90
- [6] 黄义雄, 郑达贤, 方祖光, 等. 福建滨海木麻黄防护林带的生态经济效益研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 31-35
- [7] 谭芳林, 朱 炜, 林 捷, 等. 沿海木麻黄防护林基于林带防风效能定量评价研究[J]. 林业科学, 2003, 39(S1): 27-31
- [8] 刘清浪, 黄金水, 陈炳铨, 等. 应用生物防治棉蝗及星天牛——沿海防护林木麻黄病虫害综合控制技术研究报告[J]. 昆虫天敌, 1999, 21(3): 97-106
- [9] 张水松, 叶功富, 徐俊森, 等. 木麻黄基于林带类型划分和更新造林关键技术研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 44-53
- [10] 吴逸波. 木麻黄低质低效防护林的改造[J]. 防护林科技, 2007(3): 24-25

- [11] 周希琴,吉前华. 盐胁迫下木麻黄幼苗抗氧化酶活性的变化及对它的调控[J]. 植物生理学通讯,2004,40(2):184-186
- [12] Barthwal S, Nautiyal R, Ganesan M, et al. Effects of salt stress on rooting of *Casuarina equisetifolia* cuttings [J]. Journal of Tropical Forest Science, 2005, 17(2):312-314
- [13] 叶功富. 滨海沙地湿地松与木麻黄混交林构建于调控技术研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(4):463-468
- [14] Goel V L, Behl H M. Growth and productivity assessment of *Casuarina glauca* Sieb. ex. Spreng on sodic soil sites [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(12):1399-1404
- [15] 张清海,叶功富,林益明. 海岸退化沙地木麻黄人工林能量的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(8):1-7
- [16] 肖胜生,叶功富,董云社,等. 木麻黄沿海防护林土壤呼吸动态及其关键影响因子[J]. 中国环境科学, 2009, 29(5):531-537
- [17] Rajendran K, Devaraj P. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land [J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 26(3):235-249
- [18] Athar M, Iqbal M. Seasonal fluctuations in nitrogen-fixing ability (C_2H_2 reduction) and hydrogen up take by actinorhizal nodules of *Casuarina glauca* [J]. Journal of Applied Botany Angewandte Botanik, 1997, 71(2):1-4
- [19] Zhang L H, Ye G F, Lin Y M, et al. Seasonal changes in tannin and nitrogen contents of *Casuarina equisetifolia* branchlets [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2009, 10(2):103-111
- [20] Zhang L H, Lin Y M, Ye G F, et al. Changes in the N and P concentrations, N: P ratios and tannin content in *Casuarina equisetifolia* branchlets during development and senescence [J]. Journal of Forest Research, 2008, 13(5):302-311
- [21] 孙晓梅,张守攻,孔凡斌,等. 日本落叶松家系对树高生长模型参数的影响[J]. 林业科学, 2005, 41(1):78-84
- [22] Vanclay J K. Assessing site productivity in tropical moist forests [J]. Forest Ecology and Management, 1992, 54:257-287
- [23] 段 劼,马履一,贾黎明,等. 北京低山地区油松人工林立地指数表的编制及应用[J]. 林业科学, 2009, 45(3):7-13
- [24] 马丰丰,贾黎明,段 劼,等. 北京山区侧柏人工林立地指数表的编制[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(6):78-82
- [25] Upadhyay A, Eid T, Sankhayan P L. Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 212:14-22
- [26] 孙 圆,程小义,余光辉. 江苏省南方型黑杨地位指数表的编制[J]. 南京林业大学学报, 2006, 30(1):29-32
- [27] 郭晋平,张浩宇,张芸香. 森林立地评价的可变生长截距模型与应用[J]. 林业科学, 2007, 43(10):8-13
- [28] Mark O K, Nick J L. Site index Curves for *Pinus nigra* grown in the south island high country, New Zealand [J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1998, 28(3):389-399
- [29] Gieszewski C J, Strub M R. Generalized algebraic difference approach derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes from exponential and logarithmic functions [J]. Forest Science, 2008, 54:303-315
- [30] 段爱国,张建国. 杉木人工林优势高生长模拟及多形地位指数方程[J]. 林业科学, 2004, 40(6):13-19
- [31] 惠刚盈,张连金,胡艳波,等. Richards 多形地位指数模型研建新方法——参数置换法[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4):481-486
- [32] Todorovic D. Tree growth laws and their mathematical equations [M]. Beograd: Vedam Publications, 1961:206
- [33] Prodan M. Forest biometrics [M]. London: Proc R Soc, 1968:447
- [34] Bjorn E, Andres K. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden [J]. Forest Ecology and Management, 1997, 98:125-134
- [35] 唐守正,郎奎建,李海奎. 统计与生物数学模型计算 [M]. 北京: 科学出版社, 2009:174-176
- [36] 陈永富. 基准年龄立地质量评价的影响分析[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2):283-287
- [37] 郑 曼,陈永富. 桉树短周期工业原料林立地指数模型研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(3):415-418