

同龄林直径变动系数动态变化 规律的初步研究*

杜纪山 唐守正

摘要 提出了林分水平上直径变动系数的平方动态变化模型,该模型能较好地描述直径变动系数平方变化的三种情形(减少、稳定和增加),从而得到了一种由林分平方平均直径预估算术平均直径的有效途径。通过应用杉木人工同龄林林分生长数据进行拟合,取得了令人满意的结果。与国外一种同类研究方法相比较,本文所提出的模型具有一定的机理性和更好的整体预估精度。研究还发现增加初始值后的模型可具有更佳的拟合效果。本研究结果可用于间伐后杉木林分的算术平均直径和直径变动系数的预估。

关键词 直径、变动系数、林分生长模型、杉木

在实现林分生长与收获预估的三类模型(全林分、径级、单木)相容时,由全林分模型控制径级模型、单木模型的关键在于林分各种属性的准确预估。在林分各种属性中,平均直径是一个重要的预估因子,其中,林分的平方平均直径可以从断面积预估模型和株数预估模型中导出。国内外在此方面的研究很多,如美国鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera* L.)生长模型体系的研究^[1],思茅松(*Pinus kesiya* Royle ex Gord)生长和收获模型^[2],兼容间伐和未间伐林分的断面积和株数预估模型^[3,4],全林整体模型研究^[5]等。另一方面虽然算术平均直径是进行参数回收和计算树冠竞争因子CCF必不可少的因子,但其研究却较少,仅见于少量的文献中,如直径方差预估模型的研究^[1]。本研究通过能体现林分平方平均直径和算术平均直径之间关系的直径变动系数因子及其特性的研究,除用它反映林分中林木分化程度外,还达到用平方平均直径经过直径变动系数实现算术平均直径预估的目的。

1 模型的提出

1.1 两个假设

假设1. 同龄林分直径变动系数在林分发育过程中,趋向一个稳定的直径变动系数值,即林木分化存在一个稳定的状态。

假设2. 当林分正常发育受到干扰后,随着林分年龄的增长,直径变动系数向着稳定的状态发展。

已往的许多研究为两个假设提供了依据,如在云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)树木分化的研究中^[6]指出:在间伐了饱和林分系统中的下层系统以后,非饱和林分系统仍然要在立木

1995-10-11收稿。

杜纪山副教授(北京林业大学 北京 100083);唐守正(中国林业科学研究院资源信息研究所)。

* 本文得到1991年国家自然科学基金项目“我国主要人工用材林生长模型、经营模型及优化控制”的资助。在研究数据整理过程中承蒙李希菲副研究员的热心帮助,特此致谢。

的非平衡态生长过程中于预定时间回收到稳定的径级株数结构比例。在思茅松(*Pinus kesiyia* Royle ex Gord var. *langbianensis* (A. Chev.) Gaussen 林木分化研究中^[7]得到25年生近熟林时,由于林分内株数较为稳定,分布均匀,林分分化已基本结束,林分趋于稳定。前苏联学者丘林(1931)^[8]有结论:林木按自然径阶分布的情况,并不以树种、地位级和疏密度而变,仅在某种程度上随着林分年龄而改变,但在很大程度上随着抚育采伐的特点而改变。在25~70年生日本柳杉(*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don)同龄无间伐林分 Weibull 分布参数的变化表中^[9]可以发现,直径变动系数随年龄的增长,其值为0.17~0.19,特别是35年生后基本在0.18~0.19间波动。总的说来,随着林分的发展,林分直径的变动系数趋于一个稳定值。

1.2 模型的提出

根据对林分直径变动系数或其平方的变化趋势以及在林分生长发育过程中可能出现的三种情形(上升、下降和平稳)分析,提出一个林分直径变动系数的平方的变化预估模型如下:

$$dy/(ydt) = a - by \quad (1)$$

式中, y 为林分直径变动系数的平方, dy/dt 为林分直径变动系数平方的变化速率, a 、 b 为待定的参数。

该模型的基本含义表达了直径变动系数平方的相对变化率随时间呈现线性,它能描述直径变动系数变化的三种情形,具体如下:

当 $y > a/b$ 时, $a - by < 0$, 直径变动系数平方的相对变化率为负,其值减少;

$y = a/b$ 时, $a - by = 0$, 直径变动系数平方的相对变化率不变,其值稳定;

$y < a/b$ 时, $a - by > 0$, 直径变动系数平方的相对变化率上升,其值增加。

对(1)式求解,有通解: $y = ac/[bc + \exp(-at)]$ (2)

式中, c 为通解的待定常数项。此时,假定初始条件 $t = t_0$ 时, $y = y_0$, 则可得到(2)式的特解为

$$y = a/[b + (a/y_0 - b)\exp[-a(t - t_0)]]$$

式中, $a/y_0 - b$ 项可以看作是变化率的符号指示项,它决定了曲线变化的三种情形,待估参数 a 、 b 与林分条件有关。

经过用江西人工杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 的数据进行研究分析,发现 a 、 b 两个待估参数与株数 N 密切相关,两者关系可用以下模型表示:

$$a = aN^c \quad (4); \quad b = bN^c \quad (5)$$

将(4)、(5)两式代入(3)式并结合初始条件可得到考虑林分因子的新模型,该模型仍具有原有模型(3)式的特点和性质,新模型为:

$$y = \frac{a}{b + (a/y_0 - b)N^{\delta}/N^c \exp[-a(N^c t - N^c t_0)]} \quad (6)$$

模型(3)和(6)有以下几个性质:

(1) 比值 a/b 或 a/b 是林分直径变动系数平方达到稳定时的常数值,即林分直径变动系数平方总是向着稳定的状态发展。

(2) 当时间 t 趋于+ 时,由于株数 N 总有一定量的值,所以 y 趋于 a/b 或 a/b , 即直径变动系数平方趋于稳定时的常数值。

(3) 具有步长不变性,即当由时间 t_0 时的 y_0 直接预估时间 t_2 时 y_2 , 与由时间 t_0 时的 y_0 经过时间 t_1 时的 y_1 再预估时间 t_2 时的 y_2 , 两者预估结果相同。

2 数据来源与整理

研究所用数据为江西人工杉木林分的长期固定观测样地。样地数量为16块, 观测次数为5~7次, 这些样地属于随机区组设计, 其目的是研究不同间伐强度对林分生长的效应, 故在非对照样地上均进行过两次间伐。为了满足模型所具有的初始条件, 在模型拟合前对杉木数据作了划分, 即将每次间伐后的林分作为一个新的林分。原样地基本情况见表1。

表1 杉木固定样地概况

样地号	面积(hm ²)	年龄(a)	株数(株/hm ²)	断面积(m ²)	优势高(m)	测定次数
1	0.05	9~18	3 980~2 520	27.48~42.32	9.7~17.2	7
2	0.05	9~18	3 640~1 680	22.95~35.45	9.5~17.0	7
3	0.05	10~18	3 760~2 100	32.56~39.58	11.7~18.2	6
4	0.05	10~18	3 500~1 060	34.10~26.98	11.8~18.0	6
5	0.05	9~18	4 800~4 520	15.44~46.07	7.8~14.5	5
6	0.05	9~18	5 380~3 740	18.13~42.01	7.1~13.2	5
7	0.05	9~18	4 660~2 800	16.07~36.61	7.8~12.9	5
8	0.05	9~18	4 340~1 980	15.67~30.09	7.1~12.9	5
9	0.05	9~18	4 700~2 860	14.73~33.64	7.0~13.0	6
10	0.05	9~18	4 380~2 080	14.87~28.69	7.2~13.9	5
11	0.05	9~18	4 320~3 480	9.40~44.43	6.7~15.7	5
12	0.05	9~18	4 460~4 100	14.29~39.82	6.9~13.8	5
13	0.05	9~18	4 420~2 080	22.83~35.53	8.6~16.0	7
14	0.05	9~18	4 400~1 320	18.94~26.81	8.4~15.3	7
15	0.05	9~18	4 680~3 400	21.28~39.54	8.9~15.7	7
16	0.05	9~18	5 540~2 980	24.02~41.34	8.6~15.1	7

3 模型的拟合

利用杉木的数据分别对模型(3)和(6)通过SAS软件包进行非线性拟合, 结果见表2、3。

表2 模型(3)的拟合结果

树种	回归系数		相关指数
	a	b	
杉木	0.164 722	0.022 091 0	0.979

表3 模型(6)的拟合结果

树种	回归系数			相关指数
	a	b	c	
杉木	1.606 896	0.223 787	2.491 311	0.987

为了说明模型(6)的实际应用效果, 这里与Knoebel等(1986)提出的直径方差预估模型的结果进行比较。Knoebel等提出的模型为:

$$\ln(D^2 - d^2) = b_0 + b_1 \ln(B) + b_2 \ln(H_d) + b_3(A/N) / 1\ 000 \quad (7)$$

式中, D 为平方平均直径, d 为算术平均直径, B 为每英亩断面积, H_d 为林分优势木平均高, N 为林分每英亩株数, A 为林分年龄, b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 为待估参数。

可对模型(7)式在初始条件 A_0 下进行变型, 得到模型:

$$\ln(D^2 - d^2) = \ln(D_0^2 - d_0^2) + b_1 \ln(B/B_0) + b_2 \ln(H_d/H_{d0}) + b_3(A/N - A_0/N_0) / 1\ 000 \quad (8)$$

式中, 各变量的下标0均表示了这些变量在初始年龄 A_0 时的值, b_1 、 b_2 、 b_3 为待估参数。

也用SAS软件包对模型(8)进行杉木数据的拟合, 结果见表4。

表4 模型(8)的拟合结果

树种	回归系数			相关指数
	b_1	b_2	b_3	
杉木	-0.479 179	2.217 409	-0.000 059 760	0.983

拟合效果,从而说明了基于初始条件下的预估模型可望具有较高的估计精度。

可以看出,模型(6)比模型(8)具有更高的相关指数。进一步比较时,将预估效果的比较尺度统一到直径变动系数平方上来,从拟合出的经验式代回到杉木各样地的每次观测中去,得到各样地的每次观测直径变动系数平方的估计值,用该估计值减去相应的实际值,并除

以实际值,获取直径变动系数平方估计的相对误差,比较结果见表5。

再做杉木模型(6)和模型(8)所得到的直径变动系数平方估计的相对误差成对值 t 检验,计算出的 t 值等于 $2.85 > 2.68(t_{47,0.01})$,说明两个模型预估结果之间差异极显著。这一比较结果也说明了模型(6)比模型(8)具有更好的预估效果。

4 结论与讨论

4.1 几点结论

(1) 本文所提出的林分直径变动系数平方动态模型(6)具有较强的机理性,能够较好地反映林分直径变动系数平方动态的三种情形,可作为利用平方平均直径导出算术平均直径以及研究林木分化的有效途径之一。

(2) 从杉木的拟合结果来看,模型(6)具有较高的预估精度,与国外同类研究相比较,预估效果更优。

(3) 利用初始值来建立方程的方法是提高模型拟合和预估效果的好方法,在建模过程中具有相当重要的意义。

(4) 本文所用的研究数据包含杉木林分间伐后的数据,所拟合出的模型(6)结果可直接用于杉木间伐林分算术平均直径和直径变动系数平方的动态变化预估,这对于目前我国林业基层单位经营的林分许多为已间伐过的林分来说,具有重要的实践意义。

4.2 讨论

由于单木模型所需材料的有限性,使得由三类模型向一类模型的联接和相应精度受到了影响。Somers 等^[10]提出了联接单木和林分水平生长模型的一般算法公式,而该算法也取决于算术平均直径的林分水平预估,因此,本文的研究结果对于结合应用 Somers 等的一般算法公式也具有一定的意义。

随着生物数学模型研究的深入,人们愈发对具有生物学意义的机理性模型予以重视,尽管在研究中提出机理性模型是困难的^[11]。本文所提出的模型(8)因其能较好地描述直径变动系数变化三种情形,参数意义较为明确,而具有一定的机理性,且能用于满足步长不变性。从本研

对杉木数据用 SAS 软件进行模型(7)和(8)的拟合,得出模型(7)的相关指数为 0.959,模型(8)则达到了 0.983。这样,变型后的模型(8)改进了直径方差预估模型(7)的拟

表5 模型(6)与模型(8)经验式杉木预估结果比较

项 目	(6)	(8)
平均误差%	7.87	11.44
占优次数	31	17
占优次数%	64.6	35.4
误差 < 5% 次数	18	10
误差 < 10% 次数	33	22
误差 < 20% 次数	47	42

究结果来看, 对于象杉木这样的速生树种, 间伐后林分恢复较快, 只要知道林分的现实状态, 就可进行直径变动系数平方的预估, 而与林分的以往历程无关。对于非速生树种的结果又将怎样, 还有待于继续研究。

参 考 文 献

- 1 Knoebel B C, Burkhardt H E, Beck D E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. For. Sci., 1986, 32(2): Monograph 27, 62.
- 2 Saramaki J. A growth and yield prediction model of *Pinus kesya* (Royle ex Gordon) in Zambia. Acta Forestalia Fennica, 1992, 230: 68.
- 3 Bailey R L, Ware K D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. Can. J. For. Res., 1983, 13: 563 ~ 571.
- 4 Bailey R L, Borders B E, Ware K D, et al. A compatible model relating slash pine plantation survival to density, age, site index, and type and intensity of thinning. For. Sci., 1985, 31(1): 180 ~ 189.
- 5 唐守正. 广西大青山马尾松全林整体模型及其应用. 林业科学研究, 1991, 4 (森林资源现代化经营管理增刊): 8 ~ 13.
- 6 杨永祥, 战铁铮, 白沙林. 云南松林分系统的形成与演变. 林业科学, 1991, 27(3): 199 ~ 209.
- 7 罗天诰, 李文政, 伍聚奎, 等. 思茅松林木分化及抚育间伐的初步探讨. 林业科学, 1986, 22(2): 186 ~ 190.
- 8 北京林业大学主编. 测树学. 北京: 中国林业出版社. 1987.
- 9 Minowa M itsuhiro. A theoretical approach to forest growth modeling () Individual tree growth and allometry derived from the log-Mitscherlich equation and a generalized Weibull distribution, respectively. J. Jap. For. Soc., 1984, 66(5): 183 ~ 191.
- 10 Somers G L, Nepal S K. Linking individual-tree and stand-level growth models. For. Ecol. Manage., 1994, 69: 233 ~ 243.
- 11 Amateis R L. An approach to developing process-oriented growth and yield models. For. Ecol. Manage., 1994, 69: 7 ~ 20.

A Preliminary Study on Dynamic Laws in Coefficient Variation of the Tree Diameter Even-aged stands

Du Jishan Tang Shouzheng

Abstract The dynamic models in stand-level are developed for square coefficient variation of the tree diameter, which can be used to describe three states (decrease, stabilization, and increase) of square coefficient variation of the tree diameter, so it is an efficient way to predict arithmetic mean diameter via the quadratic mean diameter in stands. A satisfactory fitting has been obtained based on the growth data of even-aged plantations of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). Compared with another method proposed by Knoebel and others, the models are of both certain mechanism and better prediction precision on the whole. It has been found that the fitting can be improved as the initial value is added. The result of this paper could be used to predict the arithmetic mean diameter and coefficient variation of the tree diameter in unthinned and thinned even-aged plantations of Chinese fir.

Key words diameter, coefficient of variation, stand growth model, *Cunninghamia lanceolata*