

文章编号: 1001-1498(2000) 03-0239-10

杉木人工林广义干形模型的研究*

佟金权, 盛炜彤

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 在 Brink 修正基础上建立了杉木人工林广义干曲线模型。该模型可以很好地描述不同立地、不同密度、不同年龄杉木人工林林木干形的变化。广义干曲线方程参数 i 与胸径相关, 随胸径的增大而增加; 参数 q 与树高相关, 随树高的增加而减小, 验证了 Gadow 等人的研究结论; 参数 p 与树高、胸径均无关, 证实了 Steingass 的研究结果。另外, 参数 p 与密度呈负弱相关, 随密度的增加而略为减小; 参数 q 则相反, 与密度呈正向弱相关, 随密度的增加而略为增大; 参数 q 还与立地有关, 立地指数高时, 参数 q 也大。在模拟干形时, 带皮与去皮广义干曲线模型需要分别模拟。

关键词: 杉木人工林; 干形; 林分干曲线; 广义干曲线

中图分类号: S758.8

文献标识码: A

随着林业商品经济的发展和森林资源资产化管理方式的推行, 材种出材率估计问题显得日益重要, 已成为商品性人工用材林培育和现代林业经营管理体系中重要的研究课题之一。材种出材率估计方法中的关键技术是建立干形曲线^[1]。干曲线方程可以用来描述林木任意高度直径随树干高度的变化进程^[2], 能够很好地展示树干剖面, 对确定林木干形、材积、锯材方式及出材量等具有重要意义。最常见的方式是通过形率向量建立线性模型^[3]和样条函数^[4]来模拟树干曲线, 但这些模型参数较多, 而且只能对特定林木的干形或对单一林分的个体树木的干形进行精确模拟^[5], 难以实现树木干形的广义模拟。至 80 年代中, Sloboda 研制出了林分干曲线模型^[3]; 90 年代末, 惠刚盈和 Gadow 提出了广义干曲线方程^[6]。广义干曲线方程可以很好地描述不同林分的林木树干任意高度直径随树干高度的变化过程, 因而, 不同立地、不同密度和不同年龄林分的林木树干任意高度直径的变化可通过此类方程得到描述, 实现了树干干形的广义模拟, 具有很好的现实意义。广义干曲线替代仅适合于单株树木的单株干曲线方程和适合模拟单一林分的林分干曲线方程已成为此类研究工作的方向^[7]。

为了探究杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 人工林干形曲线的变化特点, 1998 年秋, 在江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心的年珠林场和上村林场, 配合杉木人工林生物量调查进行了杉木人工林不同立地、不同密度和不同年龄林分的广义干曲线调查研究。

1 调查地区概况及调查方法

1.1 研究地区自然概况

研究地区位于江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心的年珠林场和上村

收稿日期: 1999-04-10

基金项目: “九五”国家攻关项目“杉木建筑材树种遗传改良与大中径材培育技术研究”(96-011-03-01)

作者简介: 佟金权(1968-), 男(蒙古族), 辽宁朝阳人, 硕士。

* 本研究得到惠刚盈研究员的大力支持和帮助, 特致谢忱。

林场,地处 27 30 ~ 27 50 N, 114 30 E, 属丘陵山区, 海拔 85 ~ 300 m, 为中亚热带湿润气候, 年均气温 17.9 °C, 年降水量为 1 100 ~ 1 700 mm, 多集中在夏季, 4 ~ 6 月降水量可占全年降水量的 45%。调查区母岩以板页岩为主, 主要土壤为黄红壤, 多数土层中厚或深厚并具有厚到中等的腐殖质层, 透水性良好。杉木人工林的地位指数多在 14 ~ 16。

1.2 调查方法及数据来源

在上述两个林场进行杉木人工林生物量调查的同时, 分别不同立地、不同密度、不同年龄进行了杉木人工林干形的调查工作。累计调查样地 15 个, 立地指数为 14 和 16, 年龄为 8、16、19、23 年生, 最大密度为 5 833 株 · hm⁻², 最小密度为 1 460 株 · hm⁻²。首先在每个样地内进行每木检尺, 测定林分直径、每公顷株数等因子, 再按径阶大小选取样株 3 ~ 7 株, 在树干基部的 0、0.2、0.5、0.8、1.0、1.3 m 及树高 1/4、2/4、3/4 处分别量取带皮与去皮直径。共调查 52 株样木。调查资料详见下页表 1。

2 研究方法

Brink 和 Gadow 等^[8]研究认为(详见文献 2), 在理论上, 树木干形由干上部和干下部两部分组成, 并提出相应的模型(1)。

$$r(h) = i + (r_{1.3} - i)e^{p(1.3-h)} - \frac{p \cdot i}{p + q} e^{q(h-H)} - e^{q(1.3-H) + p(1.3-h)} \quad (1)$$

式中, $r(h)$ = 树高任意高度处 h (m) 所对应的半径 (cm); H = 树干总高度 (m); $r_{1.3}$ = 胸高半径 (cm); i = 参数(统一渐近线); p = 参数(下部); q = 参数(上部)。

模型中参数 p 表示树干下部向外弯曲的程度, 参数 q 表示树干上部向内弯曲的程度, 参数 i 表示共同的渐近线。但此模型的缺陷是, 当 $h = H$ 时, 方程不为零, 即 $r(H) \neq 0$ 。于是, Riemer 等人^[9]对此模型进行了改进, 提出了修正后的模型(2)。

$$r(h) = u + v e^{-p h} - w e^{q h} \quad (2)$$

式中, $u = i / (1 - e^{q(1.3-H)} + (r_{1.3} - i)(1 - 1/(1 - e^{p(1.3-H)})))$; $v = ((r_{1.3} - i)e^{p(1.3)}) / (1 - e^{p(1.3-H)})$; $w = i e^{-q h} / (1 - e^{q(1.3-H)})$ 。

经实践证明, 此修正式简单明了且参数具有生物学意义, 已被成功地应用于不同种类不同年龄的树木^[5], 能够很好地表征树木干形。

广义干曲线方程的目的是对不同环境条件下的林木干形进行预测或模拟。因而, 可在选定上述干形方程的基础上建立林分干曲线模型, 方法是在参数 i 、 p 、 q 与树木树高、胸径等因子间建立关系式, 再引入上述方程中, 从而获得林分干曲线模型。在此基础上, 将林分特征因子每公顷株数 N 、立地指数 SI 、年龄 A 、林分断面积直径 D_g 等引入林分干曲线模型中, 即可获得广义干曲线模型。

3 结果与分析

3.1 单株干形曲线的模拟

按方程(2), 分别模拟 52 株样木带皮与去皮的干形曲线参数 i 、 p 、 q , 得到两套参数值, 如表 2 所示。

表1 样株调查资料概况

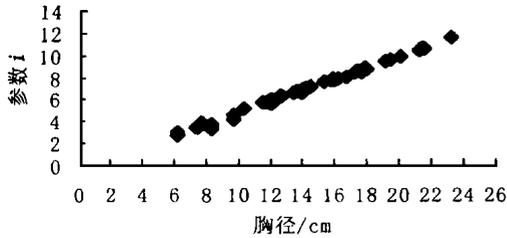
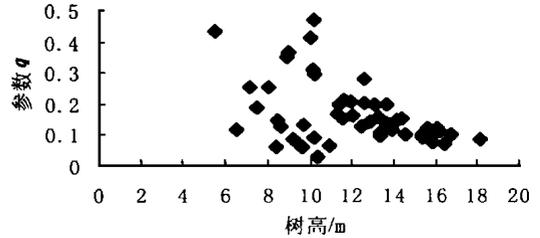
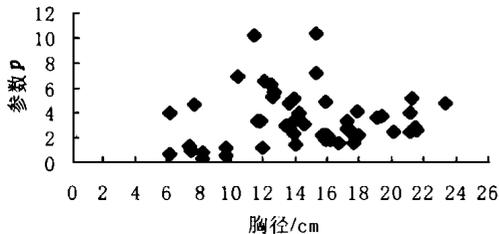
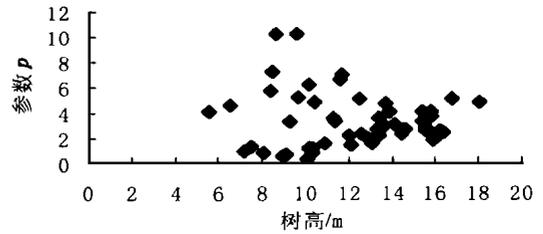
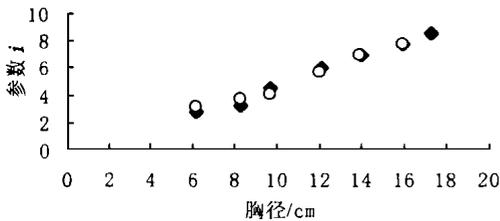
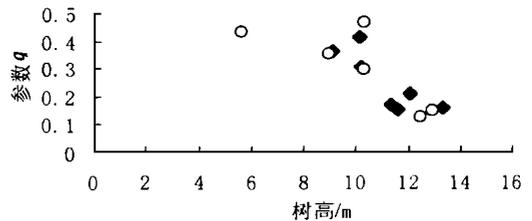
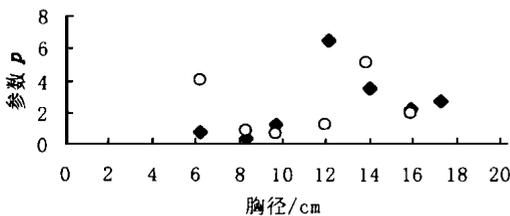
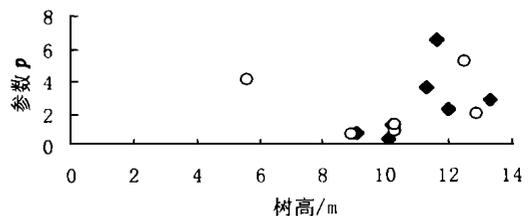
样地号	样株号	立地指数/m	年龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	林分直径/cm	带皮胸径/cm	去皮胸径/cm	树高/m
1	1	16	19	3 220	14.4	13.6	11.7	13.7
1	2	16	19	3 220	14.4	10.4	9.0	11.7
1	3	16	19	3 220	14.4	17.2	15.2	15.4
2	4	16	8	2 500	12.0	8.3	7.2	8.1
2	5	16	8	2 500	12.0	12.5	11.3	10.2
2	6	16	8	2 500	12.0	15.3	13.7	9.6
3	7	14	8	2 160	10.4	7.4	6.7	7.5
3	8	14	8	2 160	10.4	16.7	15.4	10.9
3	9	14	8	2 160	10.4	11.9	10.7	9.25
4	10	14	8	2 040	11.2	7.7	6.9	6.56
4	11	14	8	2 040	11.2	11.5	10.2	8.65
4	12	14	8	2 040	11.2	15.9	14.6	10.4
5	13	16	8	2 440	11.6	7.5	6.5	7.2
5	14	16	8	2 440	11.6	15.3	13.7	8.5
5	15	16	8	2 440	11.6	12.7	11.4	8.4
6	16	16	16	1 980	16.8	14.0	12.5	12.1
6	17	16	16	1 980	16.8	17.6	16.3	13.1
6	18	16	16	1 980	16.8	21.2	19.6	15.8
7	19	16	16	2 120	16.4	21.5	19.6	15.6
7	20	16	16	2 120	16.4	13.9	13.0	12.6
7	21	16	16	2 120	16.4	17.2	15.7	14.6
8	22	14	16	1 900	15.7	12.6	11.6	9.7
8	23	14	16	1 900	15.7	16.0	14.9	13.4
8	24	14	16	1 900	15.7	19.4	17.8	15.8
9	25	14	16	2 900	14.8	15.7	14.2	12.6
9	26	14	16	2 900	14.8	11.7	10.6	11.4
9	27	14	16	2 900	14.8	19.1	17.1	13.4
10	28	16	23	1 460	19.3	16.2	14.5	15.9
10	29	16	23	1 460	19.3	23.3	21.2	18.1
10	30	16	23	1 460	19.3	20.1	18.5	15.6
11	31	16	23	1 980	16.2	14.2	12.6	13.9
11	32	16	23	1 980	16.2	18.0	15.6	16.1
11	33	16	23	1 980	16.2	21.3	18.9	16.8
12	34	14	23	1 740	17.0	13.4	11.5	13.65
12	35	14	23	1 740	17.0	17.5	16.0	14.4
12	36	14	23	1 740	17.0	21.2	18.7	16.4
13	37	14	23	1 900	17.4	21.6	19.4	16.2
13	38	14	23	1 900	17.4	17.9	15.6	15.4
13	39	14	23	1 900	17.4	14.5	12.8	14.15
14	40	16	19	5 833	10.9	8.3	7.5	10.1
14	41	16	19	5 833	10.9	12.1	10.8	11.6
14	42	16	19	5 833	10.9	6.2	5.3	9.1
14	43	16	19	5 833	10.9	9.7	8.3	10.2
14	44	16	19	5 833	10.9	15.9	14.5	12.0
14	45	16	19	5 833	10.9	14.0	12.5	11.3
14	46	16	19	5 833	10.9	17.3	15.5	13.3
15	47	16	19	5 067	10.2	8.3	7.1	10.3
15	48	16	19	5 067	10.2	9.7	8.5	8.95
15	49	16	19	5 067	10.2	12.0	10.4	10.3
15	50	16	19	5 067	10.2	6.2	5.4	5.6
15	51	16	19	5 067	10.2	13.9	12.4	12.5
15	52	16	19	5 067	10.2	15.9	14.2	12.9

表 2 样木带皮与去皮干形曲线参数模拟值

样地号	样株号	带皮胸径 cm	去皮胸径 cm	树高 m	带皮参数 i	带皮参数 p	带皮参数 q	带皮模拟 R^2	带皮模拟 MSE	去皮参数 i	去皮参数 p	去皮参数 q	去皮模拟 R^2	去皮模拟 MSE
1	1	13.6	11.7	13.7	6.794 6	4.800 0	0.196 5	0.996 4	0.029	5.848 6	5.829 5	0.230 4	0.996 8	0.019
1	2	10.4	9.0	11.7	5.199 8	7.000 0	0.211 8	0.991 6	0.034	4.499 9	7.300 0	0.219 3	0.990 8	0.030
1	3	17.2	15.2	15.4	8.574 1	3.400 0	0.102 0	0.997 6	0.029	7.531 2	2.734 7	0.101 9	0.999 5	0.005
2	4	8.3	7.2	8.1	3.580 3	0.830 8	0.257 1	0.994 9	0.017	3.551 5	1.982 9	0.138 1	0.998 4	0.004
2	5	12.5	11.3	10.2	6.249 8	6.303 2	0.091 7	0.999 8	0.001	5.650 0	8.800 0	0.077 2	0.999 3	0.004
2	6	15.3	13.7	9.6	7.650 0	10.300 0	0.059 6	0.999 5	0.005	6.778 9	0.587 0	0.021 8	0.990 8	0.075
3	7	7.4	6.7	7.5	3.530 1	1.334 7	0.190 3	0.997 0	0.008	3.346 9	4.198 7	0.147 6	0.997 5	0.005
3	8	16.7	15.4	10.9	8.112 4	1.583 8	0.065 5	0.998 5	0.020	7.662 3	2.633 8	0.019 7	0.999 0	0.012
3	9	11.9	10.7	9.3	5.935 9	3.404 5	0.085 7	0.999 7	0.002	5.347 4	4.567 0	0.065 7	0.998 9	0.006
4	10	7.7	6.9	6.6	3.848 9	4.638 4	0.115 5	0.999 3	0.002	3.738 1	0.315 7	0.070 2	0.989 6	0.020
4	11	11.5	10.2	8.7	5.750 0	10.200 0	0.127 2	0.999 2	0.004	5.099 2	4.629 0	0.100 4	0.997 1	0.012
4	12	15.9	14.6	10.4	7.947 3	4.932 6	0.032 2	0.998 8	0.015	7.275 0	3.000 0	0.006 7	0.998 1	0.020
5	13	7.5	6.5	7.2	3.477 5	0.989 9	0.253 8	0.999 4	0.002	3.226 1	2.205 7	0.196 4	0.997 9	0.004
5	14	15.3	13.7	8.5	7.650 0	7.224 0	0.146 6	0.999 6	0.003	6.850 0	8.400 1	0.137 3	0.999 7	0.002
5	15	12.7	11.4	8.4	6.349 1	5.711 6	0.062 3	0.998 0	0.016	5.693 6	3.800 0	0.033 2	0.999 3	0.005
6	16	14.0	12.5	12.1	6.642 0	1.509 8	0.164 1	0.996 8	0.029	6.185 3	2.686 4	0.119 9	0.995 2	0.036
6	17	17.6	16.3	13.1	8.574 6	1.655 0	0.196 6	0.999 1	0.011	7.999 4	1.382 4	0.178 0	0.999 7	0.003
6	18	21.2	19.6	15.8	10.582 0	4.100 0	0.096 1	0.998 0	0.041	9.793 9	4.991 1	0.084 9	0.998 1	0.036
7	19	21.5	19.6	15.6	10.671 0	2.870 3	0.091 0	0.999 5	0.011	9.780 9	3.991 0	0.073 6	0.999 0	0.018
7	20	13.9	13.0	12.6	6.876 3	2.349 1	0.280 0	0.993 4	0.045	6.485 9	3.407 4	0.214 3	0.998 3	0.010
7	21	17.2	15.7	14.6	8.527 8	2.779 4	0.101 0	0.996 4	0.050	7.772 5	2.610 2	0.091 3	0.994 1	0.068
8	22	12.6	11.6	9.7	6.299 2	5.300 0	0.131 0	0.999 0	0.006	5.791 6	3.000 0	0.122 0	0.997 1	0.015
8	23	16.0	14.9	13.4	7.832 7	2.267 8	0.107 1	0.998 6	0.019	7.379 1	2.634 7	0.071 2	0.999 6	0.005
8	24	19.4	17.8	15.8	9.669 9	3.788 8	0.095 8	0.999 1	0.017	8.874 3	3.631 4	0.076 7	0.999 4	0.009
9	25	15.7	14.2	12.6	7.786 6	2.330 3	0.202 4	0.998 4	0.014	6.993 5	1.835 3	0.199 3	0.999 5	0.004
9	26	11.7	10.6	11.4	5.830 7	3.356 7	0.196 5	1.000 0	0.001	5.293 0	3.922 4	0.181 6	0.999 8	0.001
9	27	19.1	17.1	13.4	9.532 1	3.643 8	0.097 5	0.999 7	0.004	8.522 4	3.240 6	0.100 8	0.999 6	0.005
10	28	16.2	14.5	15.9	7.935 4	1.934 5	0.074 3	0.997 9	0.025	7.208 4	2.828 3	0.060 9	0.997 7	0.021
10	29	23.3	21.2	18.1	11.643 0	4.827 0	0.087 2	0.998 9	0.026	10.568 0	3.284 9	0.084 8	0.999 6	0.008
10	30	20.1	18.5	15.6	9.944 8	2.567 0	0.121 9	0.999 0	0.017	9.216 4	3.335 2	0.109 3	0.999 6	0.006
11	31	14.2	12.6	13.9	7.091 4	4.074 3	0.119 7	0.999 2	0.006	6.298 2	4.942 3	0.125 6	0.999 5	0.003
11	32	18.0	15.6	16.1	8.853 4	2.308 6	0.123 1	0.997 7	0.032	7.719 8	2.685 1	0.125 0	0.997 4	0.027
11	33	21.3	18.9	16.8	10.643 0	5.119 1	0.103 3	0.995 0	0.117	9.273 9	2.353 2	0.118 3	0.993 8	0.107
12	34	13.4	11.5	13.7	6.674 2	2.990 4	0.137 4	0.994 1	0.039	5.738 5	3.717 7	0.158 2	0.996 3	0.019
12	35	17.5	16.0	14.4	8.589 9	2.355 8	0.152 3	0.998 0	0.028	7.895 3	2.631 8	0.127 9	0.997 2	0.035
12	36	21.2	18.7	16.4	10.467 0	2.549 9	0.072 6	0.995 9	0.090	8.611 3	1.261 7	0.109 5	0.998 0	0.034
13	37	21.6	19.4	16.2	10.658 0	2.645 3	0.111 3	0.996 4	0.080	9.696 7	5.551 4	0.087 7	0.994 9	0.095
13	38	17.9	15.6	15.4	8.939 4	4.169 8	0.092 2	0.998 4	0.022	7.700 1	2.242 8	0.107 8	0.998 2	0.018
13	39	14.5	12.8	14.2	7.223 9	3.125 3	0.147 8	0.999 0	0.008	6.349 8	2.549 9	0.133 5	0.996 4	0.023
14	40	8.3	7.5	10.1	3.290 6	0.424 6	0.144 4	0.997 6	0.006	2.830 5	0.352 5	0.439 1	0.996 5	0.007
14	41	12.1	10.8	11.6	6.049 8	6.564 2	0.154 3	0.998 9	0.006	5.396 3	3.762 5	0.137 7	0.998 4	0.007
14	42	6.2	5.3	9.1	2.795 9	0.807 9	0.365 2	0.999 5	0.001	2.583 1	1.636 2	0.343 4	0.998 9	0.001
14	43	9.7	8.3	10.2	4.591 5	1.258 5	0.308 8	0.998 4	0.006	4.039 0	1.645 5	0.305 3	0.997 2	0.007
14	44	15.9	14.5	12.0	7.805 7	2.275 5	0.207 7	0.999 9	0.001	7.194 3	2.905 7	0.175 4	0.999 0	0.009
14	45	14.0	12.5	11.3	6.971 7	3.591 1	0.169 6	0.996 3	0.035	6.236 9	4.028 9	0.136 5	0.997 8	0.016
14	46	17.3	15.5	13.3	8.616 6	2.795 4	0.159 7	0.997 4	0.028	7.716 4	2.635 3	0.149 9	0.998 6	0.012
15	47	8.3	7.1	10.3	3.693 6	0.861 9	0.466 9	0.996 4	0.009	3.446 7	1.731 8	0.291 5	0.997 7	0.005
15	48	9.7	8.5	9.0	4.124 6	0.685 9	0.352 4	0.997 2	0.011	4.229 8	2.924 9	0.181 1	0.997 0	0.009
15	49	12.0	10.4	10.3	5.676 7	1.293 6	0.295 8	0.998 6	0.008	5.060 3	1.704 7	0.238 3	0.998 8	0.005
15	50	6.2	5.4	5.6	3.095 6	4.086 0	0.434 0	0.997 7	0.004	2.685 0	3.004 2	0.432 8	0.998 4	0.002
15	51	13.9	12.4	12.5	6.948 4	5.159 3	0.127 0	0.999 9	0.001	6.199 5	5.790 4	0.119 7	0.999 7	0.002
15	52	15.9	14.2	12.9	7.790 1	1.949 8	0.145 3	0.996 8	0.034	7.052 9	2.344 0	0.125 8	0.999 0	0.008

3.2 林分干形曲线的模拟

据 Gadow 等人^[10]研究证实, 方程(2)中的参数 i 随胸径的增加而增加, 参数 q 随树高的增加而减少。Steingass^[11]的研究证实, 参数 P 与树高和胸径的大小无关。根据 52 株样木的单株干曲线参数的模拟值作散点图分析, 杉木人工林干形曲线参数 i 与胸径相关, 随胸径的增加而增加(图 1), 参数 q 随树高的增加而减少(图 2), 参数 p 与树高和胸径的大小无关(图 3、图 4), 证实了 Gadow 与 Steingass 等人的研究结果。据散点图分析, 在同一样地, 也表现出同样的结果, 如图 5、图 6、图 7、图 8 所示。在这一点上带皮与去皮的模拟结果是一致的。据此, 可以假

图1 参数 i 与胸径的关系图2 参数 q 与树高的关系图3 参数 p 与胸径的关系图4 参数 p 与树高的关系图5 参数 i 与胸径的关系图6 参数 q 与树高的关系图7 参数 p 与胸径的关系图8 参数 p 与树高的关系

设:

$$i = k_1 D^{k_2}, q = k_3 H^{k_4} \quad D \text{——胸径}, H \text{——树高}, k_1, k_2, k_3, k_4 \text{——参数}$$

将上述两式引入方程(2), 便可获得林分干曲线模型。

3.3 广义干曲线方程的建立

3.3.1 参数 i 、 p 、 q 与立地的关系 为探明干曲线参数 i 、 p 、 q 与立地因子的关系, 分别两种立地指数 14 和 16 作散点图分析, 如以下各图(图中黑色菱形表示 14 指数立地, 空心圆圈表示 16 指数立地)。从图 9、图 10 均可看出参数 i 与胸径 d 、树高 h 的关系, 在立地之间没有明显差异, 与立地条件无关。图 13、图 14 表明参数 q 与胸径、树高的关系, 在立地之间表现出明显差异, 即立地条件越好, 立地指数越高, 参数 q 值越大, 立地指数低时, q 值也小。参数 p 与胸径、树高无关, 与立地无关, 如图 11、图 12 所示。据研究, 带皮与去皮干曲线参数表现出一致的结果, 不再赘述。

3.3.2 参数 i 、 p 、 q 与密度的关系 干曲线参数 i 、 p 、 q 与密度因子之间的关系, 可通过散点图获知。如图 15、图 16、图 17 所示, 随密度 N 的增大, 参数 i 、 p 均表现出略微下降的趋势, 而参数 q 则相反, 随 N 的增大而增加。

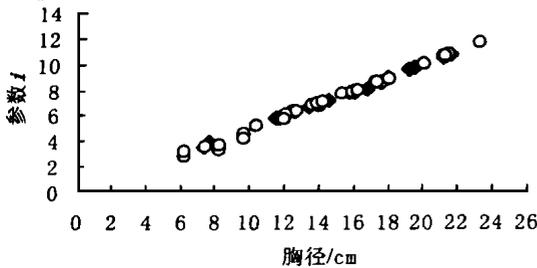


图9 参数 i 与胸径的关系

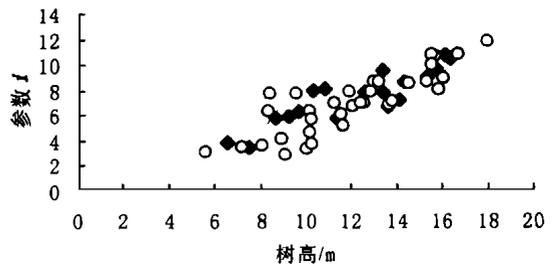


图10 参数 i 与树高的关系

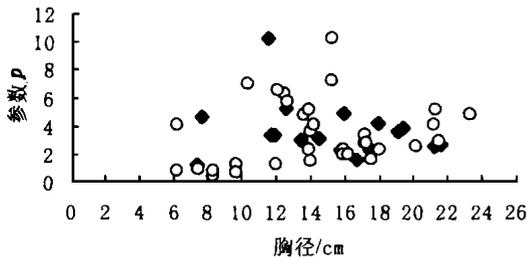


图11 参数 p 与胸径的关系

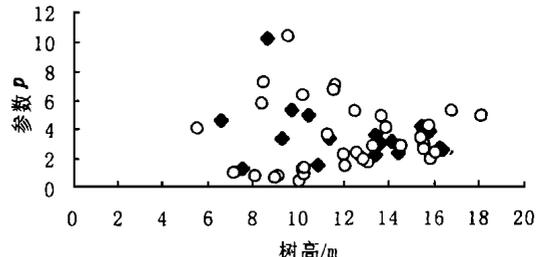


图12 参数 p 与树高的关系

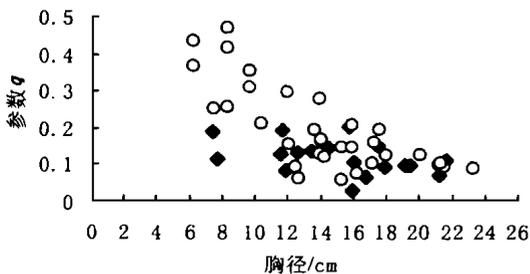


图13 参数 q 与胸径的关系

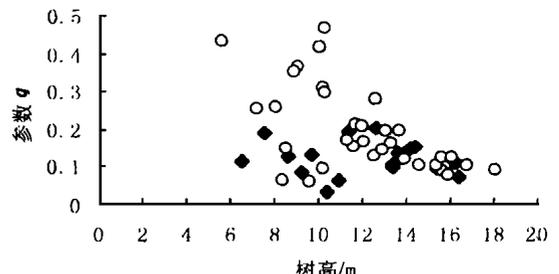


图14 参数 q 与树高的关系

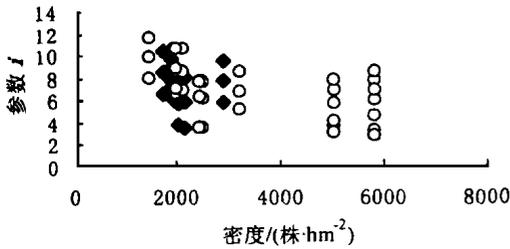


图15 参数 i 与密度的关系

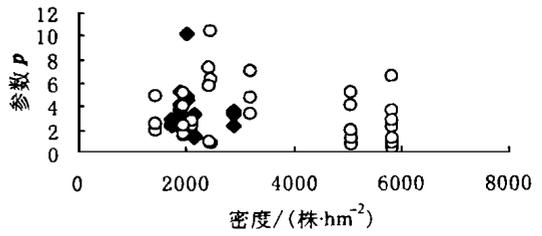


图16 参数 p 与密度的关系

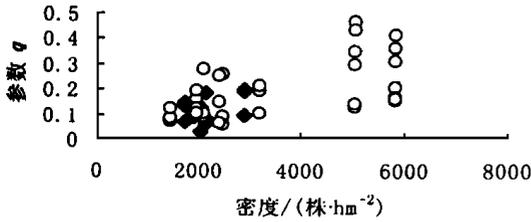


图 17 参数 q 与密度的关系

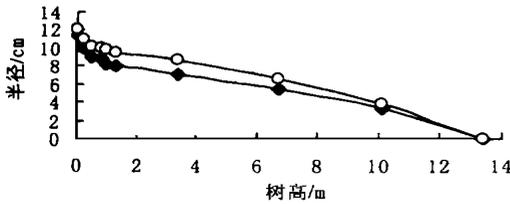


图 18 树高相同密度不同时的干形比较

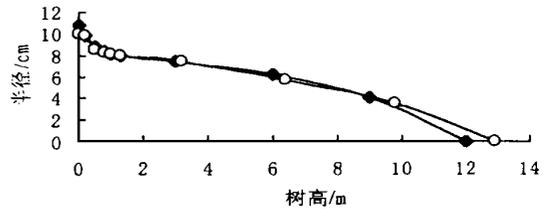


图 19 胸径相同密度不同时的干形比较

为了剔除立地、年龄等因素的效应,选择相同年龄,相同立地,不同密度,树高相同的两株样木作干曲线图进行比较,如图 18(树高相同,图中黑色菱形表示低密度,空心圆圈表示高密度)所示,密度大时, q 值也大,表现为树干上部曲线下落急剧,密度小时,则比较疏缓。年龄、立地、胸径相同,密度不同时,也表现出同样的结果,如图 19(胸径相同,图中黑色菱形表示高密

度,空心圆圈表示低密度)所示。带皮与去皮的研究结果也是一致的。

3.3.3 参数 i 、 p 、 q 与年龄的关系 参数 i 、 p 、 q 与年龄之间的关系,可由下列散点图表示。从图 20、图 21、图 22 可看出参数 i 、 p 、 q 与年龄的关系不密切。图 23、图 24、图 25 分别表示两种立地情况下,参数 i 、 p 、 q 与年龄的关系(图中黑色菱形表示 14 指数立地,空心圆圈表示 16 指数立地),从图中可看出参数 i 、 p 、 q 与年龄的关系在立地之间没有差异。

据以上分析,可以提出下列关系式:

$$i = k_1 D^{k_2}, p = k_5 (N/1000)^{k_7}, q = k_3 H^{(k_4 S^{k_6})} (N/1000)^{k_8}$$

其中, $k_4 < 0, k_6 < 0$ 。将关系式引入林分干曲线方程即可建立广义干曲线模型。对 52 株样木的带皮、去皮材料分别进行模拟,结果如表 3 所示。

表 3 广义干曲线方程模拟结果

项目	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	n	R^2	MSE
带皮	0.502 1	0.996 9	0.459 8	- 2.171 3	0.9	- 0.467	- 0.017 8	0.289 8	520	0.991 0	0.103 98
去皮	0.464 8	0.945 7	0.473 2	- 1.495	0.793 4	- 0.448 3	0.035 2	0.165 1	520	0.983 2	0.160 47

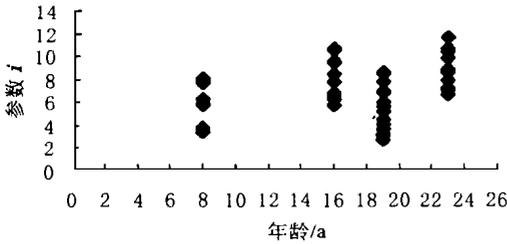


图20 参数 i 与年龄的关系

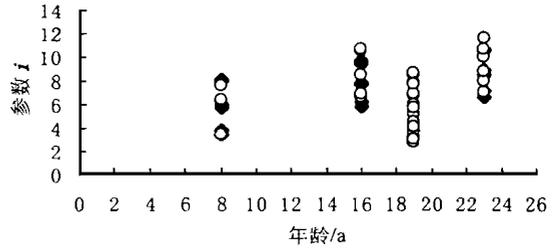


图23 不同立地时参数 i 与年龄的关系

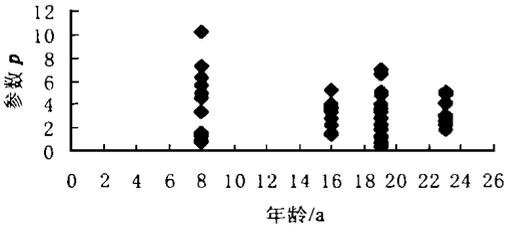


图21 参数 p 与年龄的关系

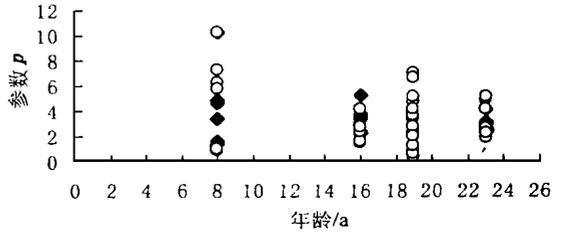


图24 不同立地时参数 p 与年龄的关系

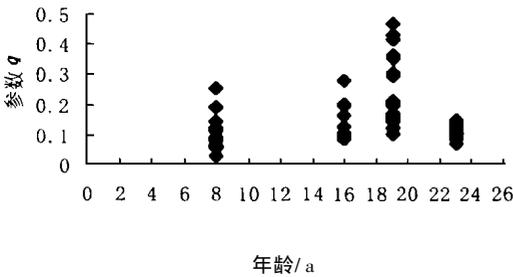


图 22 参数 q 与年龄的关系

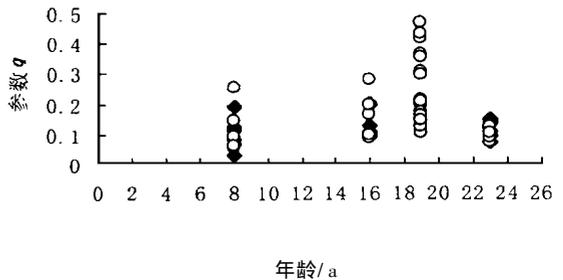


图 25 不同立地时参数 q 与年龄的关系

为验证模拟效果,用单株干曲线方程分别带皮与去皮进行模拟,将模拟干形与实测干形作图。图 26、图 27 分别为带皮与模拟、去皮与模拟的效果图,可以看出无论是带皮与否,模拟干形均与实测干形高度一致。图 28 为模拟带皮干形与模拟去皮干形的对比效果。图 29 为实测的带皮与去皮干形对比图。从图 28、图 29 来看,模拟干形与实测干形非常一致。以上 4 个图均以 16 号样木资料($SI = 16, N = 1\ 980$ 株 \cdot $hm^{-2}, A = 16$ 年生, $D_g = 16.8$ cm, $D_{带皮} = 14$ cm, $D_{去皮} = 12.5$ cm, $H = 12.1$ m) 绘制,图中黑色菱形表示带皮干形,空心圆圈表示去皮干形。

表 3 分别给出了带皮与去皮广义干曲线模型的各项参数。为比较两者的模拟效果,分别以 17 号和 16 号样木资料为例绘制散点图。图 30(以 17 号样木为例)为带皮与去皮广义干曲线模型模拟的去皮干形比较图(图中黑色菱形表示去皮广义干曲线模型模拟的去皮干形,空心圆圈表示带皮广义干曲线模型模拟的去皮干形),两者差异较大。图 31(以 16 号样木为例)为带皮与去皮广义干曲线模型模拟的带皮干形比较图(图中黑色菱形表示带皮广义干曲线模型模拟的带皮干形,空心圆圈表示去皮广义干曲线模型模拟的带皮干形),两者差异也很大。从以上两图可看出,带皮广义干曲线模型与去皮广义干曲线模型的模拟效果还是有差异的。说明在模拟干形时,带皮广义干曲线模型与去皮广义干曲线模型需要分别模拟,不适合相互替代,即带皮广义干曲线模型模拟带皮干形,去皮广义干曲线模型模拟去皮干形。

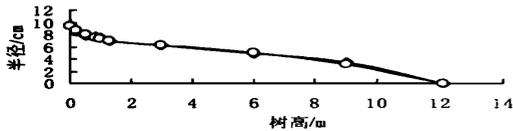


图26 带皮干形与模拟干形的比较

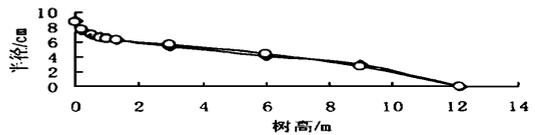


图27 去皮干形与模拟干形的比较

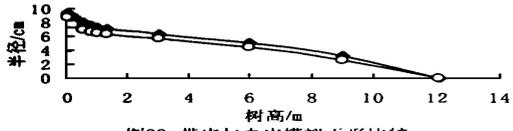


图28 带皮与去皮模拟干形比较

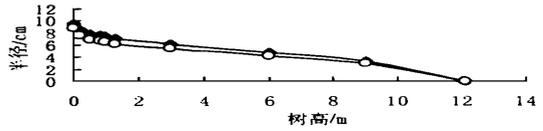


图29 带皮与去皮实测干形比较

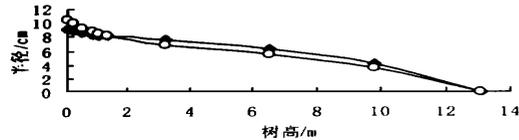


图30 带皮与去皮广义干曲线模型模拟的去皮干形比较

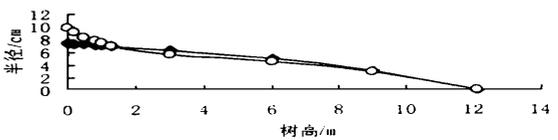


图31 带皮与去皮广义干曲线模型模拟的带皮干形比较

4 结论与讨论

(1) 用 Brink 函数修正式建立杉木人工林广义干曲线方程是完全可行的, 可以很好地模拟不同立地、不同密度、不同年龄的林木树干任意高度直径随树干高度的变化进程。

(2) 广义干曲线方程参数 i 与胸径相关, 随胸径的增大而增加; 参数 q 与树高相关, 随树高的增加而减小, 验证了 Gadow 等人^[10]的研究结论; 参数 p 与树高、胸径均无关, 证实了 Steingass^[11]的研究结果。另外, 参数 p 与密度呈负向弱相关, 随密度的增加而略有减小; 参数 q 则相反, 与密度呈正向弱相关, 随密度的增加而略有增大; 参数 q 还与立地有关, 立地指数高时, 参数 q 也大。参数 i 、 p 、 q 与年龄的关系不密切且在立地之间没有差异。

(3) 在模拟干形时, 带皮广义干曲线模型与去皮广义干曲线模型需要分别模拟, 不适合相互替代, 即带皮广义干曲线模型模拟带皮干形, 去皮广义干曲线模型模拟去皮干形。

参考文献:

- [1] 谢哲根, 唐正良, 翁卫松, 等. 干曲线动态参数模型研究[J]. 中南林业调查规划, 1996, 15(4): 1~4, 7.
- [2] 惠刚盈. 广义干曲线方程及其应用[C]. 森林经理论文集. 1999.
- [3] Sloboda B. Bestandesindividuelles biometrisches Schaftformmodell zur Darstellung und zum Vergleich von Formigkeit und Sortimentausbeute sowie Inventur[M]. Tagungsbericht d. Sektion Ertragskunde, Neustadt. 1984.
- [4] Hradetzky J. Spline-Funktionen und ihre Anwendung in der Forstlichen Forschung[J]. Forstwiss. Centralblatt, 1981, (1): 45~59.
- [5] 克劳斯·冯佳多, 惠刚盈. 森林生长与干扰模型[M]. Germany: Cuvillier Verlag, Goettingen, 1998. 87~93.
- [6] Hui G Y, Gadow K v. Entwicklung und Erprobung eines Einheitschaftmodells fuer die Baumart *Cunninghamia lanceolata*[J]. Forstw Cbl, 1997, 116(6): 315~321.
- [7] Hui G Y. Wuchsmodelle fuer die Baumart *Cunninghamia lanceolata*[M]. Germany: Cuvillier Verlag, Goettingen, 1998. 71~77.
- [8] Brink C, Gadow K v. On the use of growth and decay functions for modelling stem profiles[J]. EDV in Medizin u. Biologie, 1986, 17(1/2): 20~27.
- [9] Riemer T, Gadow K v, Sloboda B. Ein Modell zur Beschreibung von Baumshaeften[J]. Allg Forst u J-Ztg, 1995, 166

(7): 144 ~ 147.

- [10] Gadow K v, Heydecke H, Riemer T. Zur Beschreibung der Schaftprofile stehender Waldbaeume[C]. Festschrift A Akca, 1996, 31 ~ 44.
- [11] Steingass F. Beschreibung der Schaftprofile von Douglasien[D]. Goettingen: Univ Goettingen. 1996.

A Generalized Stem Form Model for Chinese Fir Plantation

TONG Jin-quan, SHENG Wei-tong

(The Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, Chian)

Abstract: Based on the Brink revised formula, a generalized stem form model was established, by which the changes of tree stem of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation can be well described at different sites, densities and ages. Of the generalized stem form model, parameter i is correlated to diameter breast-high (DBH) and the value will be larger when the DBH increases; while parameter q is correlated to tree height (H) and the value will be smaller when the H decrease, which verified the conclusion by Gadow, et al. Parameter p is unrelated to both H and DBH and verified the research results by Steingass. Parameter p is weak-negatively correlated to density, while parameter q is weak-positively correlated to density. Parameter q is correlated to site and the value will be larger with site index, too. When simulating stem form, the generalized stem form models with bark and without bark should be used respectively.

Key words: Chinese fir plantation; stem form; stand form curve; generalized stem curve