

林分枯损模型的研究*

胡 晓 龙

摘要 线性回归模型和分布函数在预估直径生长、径阶株数分布方面已经得到了广泛的应用。本文利用回归模型和分布函数构成叠加模型预估辽宁资源连续清查数据的林分株数枯损分布,结果表明其具有结构合理、实用性强及预测精度高等特征。

关键词 枯损模型、森林资源连续清查、枯损分布

随着林业集约经营水平的提高和发展,及时而准确地估测森林资源的数量,客观科学地评价森林资源的质量,乃至进一步开发利用森林资源,充分发挥森林的多功能效益,是林学领域永恒的课题。

林分蓄积量的增长是林分生长与枯损综合作用的结果,林分枯损率(量)的估测,将为林分蓄积量的增长和消耗提供科学方法和手段,是林业宏观决策和发展规划的基础,对于林业生产实践亦有重要的现实意义。

1 国内外研究动态

目前,国内外林分生长量的积累和发展规律的研究,无论是在基础理论领域,还是在实用技术方法均已经取得丰硕的成果^[1-3]。林分枯损方面的研究与探索,其科学理论和技术方法也具有一定的规模。60年代中期,以铃木太七^[4]为代表的日本林学家,曾经运用随机过程理论,研究和分析了林分直径分布的转移概率理论。进入80年代末期龙原哲和箕轮光博^[5]根据概率论,描述了林分各径阶生长与枯损的转移过程。美国林学家在建立国家森林资源连续清查体系的同时,利用林木直径生长率的特性建立了估测林木枯损率的直径枯损模型。

综合林分枯损率(量)的估测方法,可大致划分为两种,即固定样地法和收获表法。迄今为止,国外常用的森林枯损率(量)的估测方法不外乎采用如下技术手段:(1)线性或外线性回归分析;(2)林分直径分布模型;(3)利用理论生长曲线模拟枯损量;(4)以差分微分方程直接估测枯损量;(5)利用马尔柯夫链模型估计枯损量;(6)利用竞争指数及直径自变量估计枯损量;(7)建立存活率预估模型间接估测枯损量。我国林分枯损估测技术的研究与探索,尚在初期阶段。本研究只是在此领域所做的尝试。

2 研究方法

本文研究资料均来源于辽宁省森林资源连续清查的固定样地体系。共收集了1978年至1995年期间4次清查固定样地48块,其中人工林6块,天然次生林42块,计算木5000余株。

1996—04—22 收稿。

胡晓龙工程师(辽宁省森林资源监测中心 沈阳 110122)。

* 本文系国家“八五”攻关课题“长白山南部森林立地分类、评价及适地适树研究”的组成部分。

利用上述资料,分别样地和树种计算平均直径、直径方差及直径生长率等标志值,其具体方法和过程分述如下。

2.1 直径生长率的计算

运用普雷斯勒公式(Pressler 1857),计算各样木 5 a 间直径生长率,并且将直径生长率划分成若干等级。

$$P_D(\%) = (D_a - D_{a-n}) / (D_a + D_{a-n}) \times (200/5) \% \quad (1)$$

2.2 建立直径回归模型

以各年度直径数据,分别样地模拟,构成不同年度之间的一元回归模型。

$$y = ax + b \quad (2) \quad \text{式中: } y \text{ 为 } n \text{ 年时直径值, } x \text{ 为 } n \text{ 年前直径值。}$$

2.3 平均直径、方差及条件方差的计算

根据方差定理计算(2)式的条件方差,其计算公式表示如下:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y|x}^2 + a^2 \sigma_x^2 \quad (3) \quad \sigma_{y|x}^2 = (\sigma_y^2 - \sigma_x^2) / \sigma_x^2 \quad (4)$$

3 林分枯损模型的建立

本研究选择直径为标志值,分别样地、树种,建立林分枯损模型。

3.1 株数枯损模型

林木株数枯损及其按径级分布的规律,必须符合以下 3 种假定:

(1) 令 t 时刻直径为 x , $t + \Delta t$ 时刻直径为 y , 则下式成立。

$$y_i = f(X_i) + e_i \quad (5) \quad \text{式中: } f(X_i) \text{ 为单木生长式; } e_i \text{ 为随机误差项。}$$

(2) 随机误差项 e_i 遵从某一概率分布。

(3) 根据转移概率密度函数定义,在数值上,令 $(t, t + \Delta t)$ 期间内,当 $y < x$ 时林木为枯死木。其枯死概率计算如下:

$$m(t, t + \Delta t, x) = \int_0^x p(y|x) dy \quad (6)$$

式中: $m(t, t + \Delta t, x)$ 为林木枯死概率; $P(Y/x)$ 为林木现实直径转移概率。

令 t 及 $t + \Delta t$ 时刻的直径分布概率可用 $\Phi(x)$ 、 $\Phi(y)$ 描述,根据转移概率密度函数定义:

$$\Phi(y) = \int_0^y \Phi(x) P(y|x) dx \quad (7)$$

若令 t 时刻直径为 x 的林木在 $t + \Delta t$ 时刻枯死的株数为 $M(t, t + \Delta t, x)$, 林分总株数为 $N_m(t, t)$, 则得:

$$M(t, t + \Delta t) = N \Phi(x) m(t, t + \Delta t, x) \quad (8) \quad N_m(t, t + \Delta t) = \int_0^x M(t, t + \Delta t, x) dx \quad (9)$$

式中: n 为林木初期立木株数; $N_m(t, t + \Delta t)$ 为林分总株数。

3.1.1 生长式与枯损分布 林木不同时期的直径 $(t, t + \Delta t)$ 、 $(t + \Delta t, y)$ 之间,根据 Prodam、大隅真一等人的研究多呈直线关系。其直径生长式表示如下: $y = ax + b$ (10)

直径生长式的误差变动,根据实测资料,利用(10)式检验证明遵从正态分布,因此,直径转移概率函数表示如下:

$$P(y|x) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y|x}^2} \cdot \exp\left[-\frac{(y - ax - b)^2}{2\sigma_{y|x}^2}\right] \quad (11)$$

故其枯损概率 $m(t+ t, x)$ 则为:

$$M(t, t, x) = \int_0^x P(y|x) dy = \Phi[(y - ax - b) / \sigma_{y|x}] \quad (12)$$

3.1.2 直径分布与枯损分布 若假定林木初期直径分布 $\Phi(x)$ 的概率密度为正态分布, 则分布函数得:

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_x^2} \cdot \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (13)$$

根据(11)式和(13)式, 得到末期直径分布的概率密度函数:

$$\Phi(y) = \int_0^y \Phi(x) P(y|x) dx = \frac{1}{2\pi(\sigma_{y|x}^2 + a^2\sigma_x^2)} \cdot \exp\left[-\frac{(y - ax - b)^2}{2(\sigma_{y|x}^2 + a^2\sigma_x^2)}\right] \quad (14)$$

在已知 $t+ t$ 时刻直径为 y 的林木, 作 t 以前直径 x 的概率, 根据条件概率定义可得:

$$P(x|y) = P(y|x) \cdot \Phi(x) / \Phi(y) \quad (15)$$

将(4)式和(14)式代入(15)式可得:

$$P(x|y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y|x}^2} \cdot \exp\left[-\frac{x - \frac{\sigma_{y|x}^2 \cdot \bar{y} + a^2\sigma_x^2 \cdot y}{a\sigma_y^2} + \frac{b}{a}}{\sigma_{y|x}^2}\right] \quad (16)$$

若设 $(t, t+ t)$ 期间林木枯死的概率为 $m(y)$, 生存概率为 $S(y)$, 根据假定可得:

$$S(y) = \int_0^y P(x|y) dx = \frac{y - \frac{\sigma_{y|x}^2 \cdot \bar{y} + a^2\sigma_x^2 \cdot y}{a\sigma_y^2} + \frac{b}{a}}{\sigma_{y|x}} \quad (17)$$

$$m(y) = \int_y P(x|y) dx = 1 - S(y) \quad (18)$$

故末期直径分布为:

$$\Phi(y) = N \Phi(y) S(y) \quad (19)$$

式中 $\Phi(y)$ 为末期直径分布; N 为初期立木株数。

3.1.3 株数枯损模型的建立 利用(17)、(18)式, 按径阶求出相应株数枯损率, 分别拟合如下模型:

$$R = \{1 + \exp(a + bD_{1.3})^a\}^{-1} \quad (20); \quad R = \{1 + \exp(a + bD_{1.3})^c\}^{-1} + d \quad (21)$$

$$R = \{1 + \exp(a + bD_{1.3})\}^{-1} + c \quad (22); \quad R = \{1 + \exp(a + bD_{1.3})\}^{-1} \quad (23)$$

式中: R 为径阶株数枯损率; $D_{1.3}$ 为径阶中值; a 、 b 、 c 、 d 为待估参数。各样地、树种的拟合结果详见表 1。

表 1 株数枯损模型参数汇总

序号	样地号	优势树种	模型	参 数					
				a	b	c	d	R	S
1	942	柞树	20	1.461 3	0.032 5	1.350 0		0.999 4	0.069 8
2	1236	油松	20	0.009 1	0.009 1	1.455 0		0.996 5	0.318 9
3	1153	花曲柳	20	0.501 8	0.102 1	1.471 0		0.998 8	0.146 0
4	851	柞树	20	0.252 9	0.225 4	1.357 0		0.996 9	0.252 7
5	708	桦树	20	0.202 2	0.090 3	1.414 0		0.999 2	0.062 4
6	876	椴树	20	1.330 2	0.036 9	1.638 0		0.998 8	0.136 6
7	871	核桃楸	20	4.392 7	0.038 0	1.463 0		0.999 3	0.086 4

(续表)

序号	样地号	优势树种	模型	参 数					
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i>	<i>S</i>
8	870	柞树	20	1.058 8	0.045 9	1.526 0		0.999 5	0.087 8
9	1000	色树	20	0.860 9	0.637 0	1.390 0		0.999 1	0.107 3
10	707	柞树	20	2.712 1	0.108 6	1.348 0		0.997 9	0.147 1
11	943	色树	20	4.6×10^{-4}	6.6×10^{-2}	1.570 3		0.999 8	0.110 5
12	982	花曲柳	21	1.0×10^{-4}	0.114 9	1.423 3	2.4×10^{-4}	0.998 9	0.029 3
13	873	柞树	21	9.0×10^{-4}	0.081 1	1.126 4	1.0×10^{-4}	0.997 4	0.050 1
14	1020	桦树	21	5.0×10^{-4}	0.262 2	1.035 2	1.0×10^{-4}	0.994 7	0.051 5
15	705	长白落叶松	21	9.0×10^{-4}	0.114 1	1.035 2	1.0×10^{-4}	0.997 7	0.043 9
16	807	椴树	21	5.0×10^{-4}	0.345 5	0.816 2	1.0×10^{-4}	0.987 7	0.074 2
17	921	山杨	21	2.0×10^{-4}	0.051 5	1.562 8	1.0×10^{-4}	0.999 8	0.017 0
18	1040	核桃楸	21	1.609 5	0.003 1	2.548 0	4.7×10^{-5}	0.976 2	0.656 0
19	884	桦树	21	3.011 7	0.009 2	2.530 0	8.7×10^{-5}	0.991 6	0.485 7
20	1002	色树	21	0.693 4	0.092 2	1.530 0	5.6×10^{-5}	0.999 4	0.114 2
21	967	柞树	21	1.907 0	0.020 1	1.855 0	3.7×10^{-5}	0.998 2	0.171 3
22	963	核桃楸	21	4.277 6	0.021 7	1.855 0	4.3×10^{-5}	0.997 8	0.177 5
23	929	柞树	21	1.833 7	0.037 1	1.740 0	4.5×10^{-5}	0.999 6	0.083 1
24	927	柞树	21	2.910 2	0.018 2	1.852 0	5.7×10^{-5}	0.999 0	0.107 4
25	926	柞树	21	1.042 2	0.012 9	1.982 0	6.3×10^{-5}	0.995 5	0.301 9
26	1243	日本落叶松	21	0.030 0	0.043 2	1.834 0	5.3×10^{-5}	0.992 9	0.504 3
27	1326	日本落叶松	21	0.192 5	0.022 5	1.851 0	4.9×10^{-5}	0.987 8	0.556 3
28	1075	色树	21	2.644 1	0.009 7	1.894 0	6.4×10^{-5}	0.995 8	0.253 0
29	1077	柞树	21	0.076 7	0.234 9	1.440 0	5.5×10^{-5}	0.998 1	0.250 7
30	879	色树	21	0.227 3	0.095 2	1.367 0	6.5×10^{-4}	0.999 1	0.115 4
31	888	椴树	21	0.773 2	0.220 9	1.200 0	1.3×10^{-4}	0.995 9	0.222 9
32	1117	怀槐	22	0.097 2	0.560 8	5.7×10^{-5}		0.979 3	0.618 6
33	903	柞树	22	0.074 9	0.427 0	6.1×10^{-5}		0.988 8	0.487 7
34	940	柞树	22	0.694 8	0.271 0	7.5×10^{-5}		0.986 0	0.451 8
35	976	柞树	22	0.348 1	0.244 4	6.8×10^{-5}		0.980 9	0.533 0
36	1120	柞树	22	0.056 8	0.551 3	5.4×10^{-5}		0.989 3	0.476 2
37	1122	柞树	22	2.395 4	0.085 4	8.2×10^{-5}		0.997 3	0.085 9
38	1043	柞树	22	0.279 1	0.321 0	7.5×10^{-5}		0.976 1	0.621 9
39	1118	柞树	22	0.082 2	0.486 8	7.6×10^{-5}		0.976 2	0.695 2
40	1196	榆树	22	0.005 1	2.711 9	2.5×10^{-6}		0.931 8	0.665 5
41	947	核桃楸	22	0.004 7	3.349 3	3.0×10^{-6}		0.941 6	0.712 7
42	906	柞树	23	0.524 1	0.300 2			0.995 6	0.235 3
43	905	柞树	23	3.496 1	0.073 1			0.998 3	0.057 4
44	837	柞树	23	1.612 2	0.063 8			0.998 6	0.045 7
45	911	椴树	23	2.782 2	0.061 7			0.998 7	0.043 0
46	1195	柞树	23	0.185 1	0.295 3			0.994 4	0.298 7
47	1073	柞树	23	2.435 4	0.137 6			0.998 7	0.053 8
48	1022	榆树	23	2.063 8	0.114 1			0.995 6	0.170 7
49	1074	色树	23	4.094 6	0.205 5			0.994 8	0.200 1
50	910	日本落叶松	23	0.010 5	0.868 9			0.994 7	0.374 2

表内树种学名:

柞树(*Quercus liaotungensis* Koidz.)油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)花曲柳(*Fraxinus rhychnophylla* Hemsl.)桦树(*Betula platyphylla* Suk.)椴树(*Tilia mandshurica* Rupr. et Maxim.)核桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)色树(*Acer mono* Maxim.)长白落叶松(*Larix olgensis* Henry)山杨(*Populus davidiana* Dode)日本落叶松(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)怀槐(*Maackia amurensis* Pupr. et Maxim.)榆树(*Ulmus pumila* L.)

4 结论与分析

本文还用直径、断面积及收获表方法拟合了同一组数据, 比较结果株数枯损模型的预测精度和实用性能均优于另外的 5 种模型, 而且具有参数估测简单, 应用方便的特点。

在株数枯损模型(20) ~ (23) 中, (21) 式的拟合精度和实用性, 明显地优于其它模型。由于模型中引进指数参数(c), 提高了模型的灵活性。并且可进一步全面地描述从无生长林木到速生林木枯损估测值, 背景枯损(d) 将提供速生林木的偶然采伐, 参数 a 和 d 可精确地预测林木生长缓慢的枯损率。尽管(21) 式具有上述优点, 能够适应大多数树种, 但仍存在缺陷与不足。所以, 枯损模型的确定必须根据各树种枯损情况, 在众多的模型中择选比较, 以便确定能够反映实际枯损的最佳模型。

参 考 文 献

- 1 郭德友, 穆信芳. 森林多资源清查和生长预测. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- 2 于政中. 森林生长论. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- 3 骆其邦. 森林生长量测定方法. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- 4 铃木太七. 确率过程 ρ 林分迁移(). 日林志, 1966, 48.
- 5 龙原哲, 箕轮光博. 人工林 ρ 直径分布 ρ 推移理论 ρ 研究. 演习林(东大), 1988, 80: 203 ~ 255.

Study on the Mortality Model of Ferest Stand

H u Xiaolong

Abstract A mortality model was developed by the use of regression analysis combined with distribution function to estimate the forest mortality. The model was tested by the data of continuous forest inventory in Liaoning Province, and it showed that the model run very well with high accurancy and simple operation.

Key words mortality model, continuous forest inventory, mortality distribution