

韦布尔分布及其参数估计*

方子兴

摘要 本文分别以计算机模拟数据和杉木标准地数据比较了最大似然法、矩法、百分位法和回归法等四种韦布尔参数估计方法。对于计算机模拟数据,回归法估计效果最好。对于杉木标准地资料,回归法拟合效果最差,其它三种估计方法的结果比较接近,估计的参数值和拟合优度均无显著差异,但从机时费考虑,百分位法最经济,值得推崇。

关键词 直径分布、韦布尔分布、参数估计、计算机模拟

自从 Bailey 和 Dell (1973) 将其作为林木直径的分布函数引入林业,韦布尔分布 (Weibull distribution) 以其灵活性大、适应性强、积分形式简单等优点,在森林生长收获预估中得到了广泛的应用。三参数韦布尔分布的密度函数为:

$$f(D) = \begin{cases} c/b[(D-a)/b]^{c-1} \cdot \exp\{-[(D-a)/b]^c\} & \text{当 } D \geq a, a \geq 0, b > 0, c > 0 \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

其中, D 为林木的胸高直径 (DBH); a 为位置参数; b 为尺度参数; c 为形状参数。

由某一林分测定的立木直径系列 D_1, D_2, \dots, D_n , 来估计参数 a, b, c 的过程叫参数估计,它是应用韦布尔分布的难点。在林业应用中,位置参数 a 一般取林分的最小直径,该值可以通过森林调查获得。因此韦布尔分布参数估计就是要估计参数 b 和 c 。估计的常见方法有:最大似然法 (MLE), 矩法,百分位法 (PCT), 回归法。这些方法都人用过^[1,3,4,5],但系统地比较各方法的实际应用效果,则报道很少。

本文分别以计算机模拟数据和福建杉木标准地资料,对韦布尔分布的几种常见参数估计方法进行了分析比较。整个计算通过 BASIC 语言和 C 语言完成,计算程序将另行说明。

1 韦布尔分布参数估计

1.1 最大似然法^[6]

首先将三参数化为两参数韦布尔分布,即:

令 $X_i = D_i - a$, 其中 D_i 为第 i 株林木胸径, a 为林分最小直径。

则最大似然方程为:

$$1/c + 1/n \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \left[\left(\sum_{i=1}^n x_i^c \cdot \ln x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n x_i^c \right) \right] = 0 \quad (1)$$

1993—01—03收稿。

方子兴研究实习员(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091)。

*国家科委自然科学基金项目“我国主要人工用材林生长模型、经营模型及优化控制”部分研究内容。

$$b = (1/n \sum_{i=1}^n x_i^a)^{1/a} \quad (2)$$

根据(1)式迭代求出 c 的值, 然后将其代入(2)式求出参数 b 。

1.2 矩法^[7]

对于三参数韦布尔分布, 用林木胸径的前三阶矩 V_1, V_2, V_3 估计参数 a, b, c 的方程为: $V_1 = b\Gamma_1 + a$; $V_2 = b^2\Gamma_2 + 2ab\Gamma_1 + a^2$; $V_3 = b^3\Gamma_3 + 3ab^2\Gamma_2 + 3a^2b\Gamma_1 + a^3$ 。

其中, Γ 为 γ 函数, $\Gamma_k = \Gamma(1+k/c)$ $k=1, 2, 3$

当参数 a 已知时(譬如取林分最小直径为 a 的值), 韦布尔分布的矩解方程为:

$$V_2\Gamma_1^2 - (V_1 - a)^2\Gamma_2 - a(2V_1 - a)\Gamma_1^2 = 0 \quad (3)$$

$$b = (V_1 - a)/\Gamma_1 \quad (4)$$

给出参数 c 的两个初始值, 例如[1.0, 5.0], 由(3)式采用快速弦切法迭代求出参数 c , 再由(4)式计算出参数 b 。

1.3 百分位法^[8]

将林木由小到大排序, D_i 表示排序后的第 i 株林木的胸径, 则 PCT 的估计方程为:

$$a = \begin{cases} (D_1 D_n - D_1^2)/(D_1 + D_n - 2D_2) & \text{当 } (D_2 - D_1) < (D_n - D_1) \text{ 时} \\ D_1 & \text{当 } (D_2 - D_1) > (D_n - D_1) \end{cases}$$

n 为样地林木株数, D_n 即为最大直径, D_1 为最小直径, 若 $a < 0$, 则令 $a = D_1$

$$b = -a + D_{[0.63n]}$$

$$c = \ln\left(\frac{\ln(1-p_i)}{\ln(1-p_j)}\right) / \ln\left(\frac{D_{[np_i]} - a}{D_{[np_j]} - a}\right)$$

其中, $p_i = 0.16731$, $p_j = 0.97366$ 。下标[]中为取整后的值。

1.4 回归法^[8]

韦布尔分布的分布函数为: $P(\xi \leq D) = 1 - \exp\{-[(D-a)/b]^c\}$ (5)

由(5)式容易得到: $c \ln(D-a) - c \ln b = \ln\{-\ln[P(\xi > D)]\}$ (6)

任意给定 D 的值, 等号左边的 $\ln(D-a)$ 及等号右边都可以计算出来, 给定一序列的 D_1, D_2, \dots, D_n , (6)式变为求参数 $c, c \ln b$ 的问题。即:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \exp[(c\bar{x} - \bar{y})/c]$$

其中, $x_i = \ln(D_i - a)$, $\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n$, $y = \ln\{-\ln[P(\xi > D)]\}$, $\bar{y} = (\sum_{i=1}^n y_i)/n$, n 为样本数。

2 参数估计效果的评价指标

反映参数估计效果的常用指标有: 样本偏差(SB), 样本方差(SV)以及均方差(MSE)。样本偏差是指估计均值与参数真值之差, 即:

$$SB(\alpha) = (\sum_{i=1}^n \alpha_i) / n - \alpha$$

式中 α 为待估参数真值, α_i 为第 i 次参数估计值 ($i=1, \dots, n$)。样本偏差可以反映估计值与参数真值的绝对差别, 正偏说明估计值大于真值, 负偏说明估计值小于真值。

样本方差是反映估计值离散程度的指标, 它可以作为估计精度的指标, 但不能反映估计值与真值的偏差。其计算式为:

$$SV(\alpha) = \{ \sum_{i=1}^n [\alpha_i - (\sum_{i=1}^n \alpha_i) / n]^2 \} / (n-1)$$

均方差既能反映估计的偏差, 又能反映其方差。其算式为:

$$MSE(\alpha) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha)^2 / (n-1) = SV(\alpha) + [B(\alpha)]^2$$

评价韦布尔分布函数对现实林分直径分布的适应程度, 比较各参数估计方法的优劣, 可以对每块标准地的林木按(5)式计算累积概率 p_{ij} , 将其与林木实际分布概率 P_j 比较, 以 $\Delta_{ij} = |p_j - p_{ij}|$ 反映理论分布与实际直径分布的差异程度(其中 p_{ij} 为第 i 种参数估计方法第 j 径阶的理论累积频率, p_j 为第 j 径阶的实际累积频率, $i=1, \dots, 4, j=1, 2, \dots, n$)。对于每一标准地可以采用: $\Delta_i = \sup \Delta_{ij} = \sup |p_j - p_{ij}|$, 即以 Δ_i 中的最大者作为不同参数估计方法拟合优劣的评价指标。 Δ_i 小者, 拟合较优。

此外, 还可以通过各方法拟合同一标准地材料的不同卡方值, 粗略反映估计方法的优劣。

即:
$$\lambda^2_{ij} = \sum_{i=1}^k [(f_j - np_{ij})^2 / np_{ij}]$$

其中, λ^2_{ij} 为第 i 个估计方法的卡方值, f_j 为第 j 径阶实际频数, np_{ij} 为第 j 径阶 i 估计方法的理论频数, n 为样本数, k 为径阶数。

计算卡方值须注意的是, 理论频数 np_{ij} 一般不应小于 5, 否则应对径阶拼组。一般卡方值小者为优。

3 韦布尔分布模拟及实际数据拟合

3.1 韦布尔分布的计算机模拟

根据韦布尔分布三参数 a, b, c 的不同取值, 可以得到韦布尔分布函数簇。给定参数 b, c 的理论值, 通过计算机模拟生成韦布尔分布的模拟数据, 然后以前述四种方法估计参数 b, c , 将其与理论值比较, 从而判断出各方法利用模拟数据估计的优劣。

计算机模拟数据的生成函数为^[4]: $x = a + b[-\ln(1-R)]^{1/c}$

R 为 $[0, 1]$ 之间的随机数, 表示 x_1, x_2, \dots, x_n 的累分布概率 (n 为样本量)。根据样本量的不同, R 有不同的取值。对应 x_1, x_2, \dots, x_n , R 分别取 $1/n, 2/n, \dots, 1$ 。

与 Zarnoch 和 Dell 的结论相同, 参数 a 的不同取值不影响参数 b, c 的估计误差, 因此, 四种方法估计 b, c 时, 参数 a 均取其理论值, 即化韦布尔三参数为两参数。

四种方法的估计结果除了表现出参数 a 不影响参数 b, c 的估计精度外, 还表现出参数的估计误差随样本量的增大而减小。对于最大似然法、矩法和百分位法, 随着参数 c 的增大, 参数 b 的估计误差和均方差减小, 参数 c 的估计误差和均方差增大(见表 1); 随着参数 b 的

表1 各方法的估计误差随参数 c 的变化(样本量 = 100)

c值	最大似然法				矩法				百分位法			
	c的误差		b的误差		c的误差		b的误差		c的误差		b的误差	
	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差
1.5	0.011	0.0013	-0.055	0.0350	0.027	0.0075	0.019	0.0091	-0.003	0.00007	0.0044	0.00020
2	0.014	0.0020	-0.043	0.0212	0.026	0.0067	-0.014	0.0022	-0.004	0.00014	0.0032	0.00011
3	0.018	0.0030	-0.031	0.0110	0.029	0.0083	-0.011	0.0014	-0.007	0.00031	0.0021	0.00005
4	0.020	0.0040	-0.025	0.0071	0.039	0.0151	-0.08	0.0007	-0.007	0.00054	0.0015	0.00003
5	0.019	0.0041	-0.021	0.0053	0.057	0.0332	-0.007	0.0005	-0.009	0.00085	0.0012	0.00002
6	0.017	0.0034	-0.019	0.0042	0.084	0.0712	-0.006	0.0004	-0.011	0.00123	0.0010	0.00001

注: b 从4.0循环到18.0, 步长为0.5, 表中的误差是指29次重复的误差均值。

增大, 参数 c 的估计误差和均方差减小, 参数 b 的估计误差和均方差增大(见表2); 对最大似然法和矩法, c 的估计为正偏, b 的估计为负偏, 而百分位法正好相反, c 值出现负偏, b 为正偏。百分位法参数 c 的估计误差不随参数 b 的变化而改变。回归法的估计误差几乎为0, 参数 b 和 c 的估计误差都在0值附近震荡。估计误差的优劣顺序为: 回归法, 百分位法, 最大似然法, 矩法。但对于参数 b , 矩法的估计均方差小于最大似然法。

3.2 标准地资料拟合

数据资料取自福建林学院西芹教学林场12块杉木标准地, 标准地大小为0.05hm², 1988、1992年各测量一次。

实际标准地数据拟合与计算机模拟数据拟合的结果差别很大(见表3, 表4)。杉木标准地的韦布尔拟合的结果表明, 回归法最差, 其它几种方法比较接近。但矩法略优于最大似然法和百分位法, 从卡方值看最大似然法略优于百分位法, 从 Δ 值看百分位法略优于最大似然法。各方法间的 t 检验表明, 四种方法对参数 b 的估计值, 最大似然法、矩法、百分位法对参数 c 的估计值以及三种方法的拟合优度均无显著差异(显著水平 $\alpha = 0.10$); 回归法对参数 c 的估计值及其韦布尔分布拟合优度均在不同的显著水平上与其它三种估计方法存在显著差别(见表5)。

4 分析和结论

(1) 由于回归法估计参数的计算式与计算机模拟数据生成函数都源于同一函数式, 即韦布尔分布函数, 所以, 利用计算机模拟数据估计韦布尔分布参数, 回归法最优。但对福建杉木标准地数据验证表明, 回归法误差较大, 拟合优度远远不如其它三种方法。

(2) 最大似然法、矩法和百分位法的拟合效果非常接近。但从机时费考虑, 百分位法最优, 因为最大似然法和矩法都须进行迭代运算, 耗机时较多。三种方法计算速度快慢顺序是: 百分位法, 矩法, 最大似然法。最大似然法和矩法在迭代计算时还存在选择参数初值的问题。初值选择不当, 最大似然法迭代可能发散, 矩法也可能出现无效迭代, 使参数估计归于失败。所以, 综合考虑, 百分位法值得推崇。

表 2 各方法的估计误差随参数 b 的变化(样本量 = 100)

b 值	最大似然法				矩法				百分位法			
	c 的误差		b 的误差		c 的误差		b 的误差		c 的误差		b 的误差	
	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差	偏差	均方差
4	0.0083	0.00218	-0.0034	0.00038	0.0202	0.01641	-0.0007	0.00003	-0.0024	0.00019	0.0002	0.000002
5	0.0078	0.00187	-0.0043	0.00062	0.0160	0.00998	-0.0012	0.00005	-0.0024	0.00019	0.0003	0.000003
6	0.0073	0.00164	-0.0053	0.00092	0.0147	0.00747	-0.0016	0.00008	-0.0024	0.00019	0.0003	0.000005
7	0.0069	0.00146	-0.0063	0.00129	0.0147	0.00747	-0.0018	0.00011	-0.0024	0.00019	0.0004	0.000007
8	0.0066	0.00131	-0.0072	0.00172	0.0147	0.00747	-0.0021	0.00015	-0.0024	0.00019	0.0005	0.000008
9	0.0063	0.00118	-0.0082	0.00222	0.0147	0.00747	-0.0023	0.00019	-0.0024	0.00019	0.0005	0.000011
10	0.0060	0.00108	-0.0092	0.00279	0.0147	0.00747	-0.0026	0.00023	-0.0024	0.00019	0.0006	0.000014
11	0.0057	0.00099	-0.0103	0.00344	0.0147	0.00747	-0.0028	0.00028	-0.0024	0.00019	0.0007	0.000017
12	0.0055	0.00092	-0.0113	0.00415	0.0147	0.00747	-0.0031	0.00033	-0.0024	0.00019	0.0007	0.000020
13	0.0053	0.00085	-0.0123	0.00494	0.0147	0.00747	-0.0033	0.00039	-0.0024	0.00019	0.0008	0.000024
14	0.0051	0.00079	-0.0133	0.00580	0.0147	0.00747	-0.0036	0.00045	-0.0024	0.00019	0.0008	0.000028
15	0.0049	0.00074	-0.0144	0.00673	0.0147	0.00747	-0.0038	0.00052	-0.0024	0.00019	0.0009	0.000032
16	0.0048	0.00069	-0.0154	0.00774	0.0147	0.00747	-0.0041	0.00059	-0.0024	0.00019	0.0010	0.000036
17	0.0046	0.00065	-0.0165	0.00883	0.0147	0.00747	-0.0043	0.00067	-0.0024	0.00019	0.0010	0.000041
18	0.0045	0.00062	-0.0175	0.00999	0.0147	0.00747	-0.0046	0.00077	-0.0024	0.00019	0.0011	0.000046

注: c 从 1.0 循环到 6.0, 步长为 0.5。表中的误差是指 11 次重复的误差均值。

表3 杉木标准地不同参数估计方法的韦布尔拟合结果

样地号	方法	1988年						1992年					
		<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	λ^2	Δ	<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	λ^2	Δ
1-1-1	ML	142	4.6	12.19	3.364	8.51	0.076	133	4.69	13.03	3.421	8.90	0.075
	ME		4.6	12.25	3.507	7.59	0.078		4.69	13.06	3.502	8.21	0.078
	PCT		4.6	12.10	3.458	8.03	0.073		4.69	12.60	3.422	9.77	0.091
	RE		4.6	12.85	2.378	41.62	0.172		4.69	13.24	2.963	18.11	0.110
1-1-2	ML	123	7.9	9.22	1.758	12.55	0.060	100	10.8	8.38	1.532	4.37	0.091
	ME		7.9	9.24	1.787	12.65	0.065		10.8	8.38	1.543	4.30	0.077
	PCT		7.9	9.50	1.803	12.56	0.043		10.8	8.40	1.366	6.73	0.121
	RE		7.9	9.25	1.516	15.17	0.897		10.8	8.45	1.260	10.18	0.885
1-1-3	ML	143	5.4	10.17	2.496	7.48	0.055	131	7.1	9.90	2.069	14.80	0.071
	ME		5.4	10.18	2.481	7.40	0.055		7.1	9.90	2.068	14.81	0.067
	PCT		5.4	10.40	2.280	8.17	0.059		7.1	9.79	1.946	16.90	0.079
	RE		5.4	10.18	2.217	9.19	0.976		7.1	9.80	1.953	17.10	0.978
1-1-4	ML	89	10.8	8.56	2.344	11.10	0.060	90	11.2	9.58	2.262	3.17	0.077
	ME		10.8	8.59	2.354	11.13	0.069		11.2	9.58	2.268	3.13	0.088
	PCT		10.8	8.49	2.333	11.13	0.078		11.2	9.20	2.499	4.03	0.075
	RE		10.8	8.73	1.788	16.23	0.834		11.2	9.49	2.078	6.52	0.879
1-1-5	ML	80	10.3	8.08	3.270	3.20	0.192	80	10.4	9.16	3.291	1.62	0.279
	ME		10.3	8.08	3.354	2.79	0.098		10.4	9.17	3.359	1.24	0.105
	PCT		10.3	8.09	3.381	2.70	0.086		10.4	8.89	3.340	1.37	0.090
	RE		10.3	7.96	3.530	2.46	0.984		10.4	9.04	3.423	0.89	0.980
1-1-6	ML	134	7.2	10.26	2.296	10.93	0.083	124	10.0	8.10	1.823	6.73	0.084
	ME		7.2	10.30	2.356	10.47	0.079		10.0	8.18	1.908	5.57	0.085
	PCT		7.2	10.00	2.467	11.68	0.070		10.0	8.20	1.920	5.55	0.076
	RE		7.2	10.60	1.816	25.71	0.797		10.0	8.58	1.318	23.07	0.870
1-1-7	ML	119	5.7	12.38	2.290	7.70	0.058	99	6.0	14.23	2.562	9.52	0.086
	ME		5.7	12.39	2.291	7.68	0.058		6.0	14.23	2.571	9.53	0.090
	PCT		5.7	12.40	2.211	7.66	0.057		6.0	13.60	2.612	9.31	0.081
	RE		5.7	12.40	2.056	9.18	0.848		6.0	14.10	2.569	9.88	0.800
1-1-8	ML	225	4.1	9.94	2.058	6.46	0.044	171	4.4	12.33	2.386	5.70	0.066
	ME		4.1	9.95	2.065	6.42	0.041		4.4	12.32	2.386	5.70	0.067
	PCT		4.1	10.20	2.155	6.68	0.055		4.4	11.90	2.440	7.11	0.057
	RE		4.1	9.95	1.862	9.88	0.963		4.4	12.15	2.458	5.80	0.953
1-1-9	ML	93	8.8	11.59	2.712	3.37	0.054	93	8.9	13.06	2.538	8.66	0.076
	ME		8.8	11.63	2.714	3.33	0.061		8.9	13.07	2.555	6.70	0.073
	PCT		8.8	12.10	2.632	4.34	0.074		8.9	13.30	2.452	9.43	0.075
	RE		8.8	11.85	2.175	10.99	0.750		8.9	12.96	2.492	7.52	0.758
1-1-10	ML	120	7.1	11.17	2.599	10.25	0.072	114	8.39	11.07	2.274	10.75	0.067
	ME		7.1	11.16	2.571	10.25	0.077		8.39	11.05	2.244	10.76	0.073
	PCT		7.1	11.40	2.663	10.13	0.084		8.39	11.40	2.331	10.34	0.084
	RE		7.1	11.06	2.496	10.89	0.982		8.39	10.90	2.167	11.66	0.973
1-1-11	ML	207	4.4	10.29	2.024	6.55	0.039	162	5.7	11.22	2.069	13.35	0.071
	ME		4.4	10.31	2.044	6.86	0.036		5.7	11.24	2.087	13.41	0.073
	PCT		4.4	10.60	2.114	8.25	0.048		5.7	11.40	2.259	15.93	0.076
	RE		4.4	10.42	1.743	7.78	0.979		5.7	11.38	1.783	19.95	0.981

续表

样地号	方法	1988年						1992年					
		<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	λ^2	Δ	<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	λ^2	Δ
1-1-12	ML	170	4.6	9.55	1.940	20.85	0.052	113	9.2	8.10	2.002	4.09	0.039
	ME		4.6	9.64	2.041	23.99	0.050		9.2	8.12	2.032	3.98	0.046
	PCT		4.6	10.50	2.038	12.58	0.065		9.2	8.59	1.914	4.65	0.055
	RE		4.6	10.12	1.339	34.93	0.963		9.2	8.21	1.621	9.82	0.986

注: 方法 ML, ME, PCT, RE 分别指最大似然法, 矩法, 百分位法和回归法; *N* 为样本数; *a*, *b*, *c* 为韦布尔三参数; λ^2 为卡方值; Δ 即为前述柯尔莫哥洛夫统计量。

表 4 各方法估计参数的平均结果

方法	参数 <i>b</i>		参数 <i>c</i>		卡方值		Δ 值		接收率 (%)
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	
ML	10.48	1.754	2.391	0.515 8	8.36	4.379	0.081	0.051 5	87.5
ME	10.51	1.750	2.421	0.534 4	8.25	4.880	0.071	0.017 2	87.5
PCT	10.55	1.669	2.419	0.537 2	8.45	3.884	0.074	0.016 8	87.5
RE	10.57	1.742	2.126	0.598 4	13.94	9.632	0.846	0.230 7	62.5

注: 表中的接收率为韦布尔分布卡方检验的接收率, 样本量均为 24。

表 5 各方法估计结果之间的显著性检验 (*t* 检验^[2])

方 法	参 数 <i>b</i>	参 数 <i>c</i>	卡 方 值	Δ 值
ML与ME	0.041 0	0.195 5	0.083 8	0.898 3
ML与PCT	0.122 5	0.180 5	0.154 5	0.650 3
ML与RE	0.178 4	1.647 4 *	2.582 8 **	15.862 ***
ME与PCT	0.039 8	0.14 2	0.233 3	0.564 8
ME与RE	0.137 5	1.803 2 *	2.581 8 **	16.418 ***
PCT与RE	0.059 9	1.785 6 *	2.548 4 **	16.362 ***

注: 上标*, **, ***分别表示当显著性水平 $\alpha = 0.10, 0.05, 0.01$ 时表现出差异显著; 样本量 = 24。

参 考 文 献

- 1 李荣伟. 韦布尔函数模拟同龄林分直径分布的研究. 四川林业科技, 1986, 7(4): 1~10.
- 2 符伍儒. 数理统计. 北京, 中国林业出版社, 1979.
- 3 Zanakis S H. A simulation study of some simple estimators for the three-parameter Weibull distribution. J Stat Comput Simulation, 1979, 9: 101~116.
- 4 Zarnoch S J, Dell T R. An evaluation of percentile and maximum likelihood estimators of Weibull distribution parameters. For. Sci., 1985, 31(1): 260~268.
- 5 Barry D S. Sample sizes and estimation methods for the Weibull distribution for unthinned Slash pine plantation diameter distribution. For. Sci., 1988, 34(3): 809~814.
- 6 Cohen A C, Maximun J R. Likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and censored samples. Technometrics, 1965, 7: 579~588.
- 7 Burke T E, Newberry J D. A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. For. Sci., 1984, 30(2): 329~332.
- 8 White J S. The moments of log-weibull order statistics. Technometrics, 1969, 11: 373~386.

*Weibull Distribution and the Methods of Its
Parameter Estimation*

Fang Zixing

Abstract Four methods of estimating the three-parameter Weibull distribution were evaluated by computer simulation and field data comparison. Through computer simulation, regression Estimator is the best method. However, The simulation result of Chinese fir plot data is not so good. Other three methods, maximum likelihood estimator, moments estimator and percentile estimator almost give the same results as estimate parameter b and c of Weibull distribution by the field data. Considering that computer calculation will take a lot of time, the percentile estimator is the best one.

Key words diameter distribution, weibull distribution, parameter estimation, computer simulation

Fang Zixing, Assistant Engineer (The Research Institute of Forest Resources Information Technique, CAF Beijing 100091).

《新疆林业》杂志1994年征订启事

《新疆林业》是新疆林业厅主办的省级林业综合性科技期刊，立足新疆，面向全国，面向基层，面向生产，宣传林业政策，报道林业新成就、新成果、新产品，传播最新技术信息和致富门路，普及林业科技知识，开展精神文明建设教育。它集政策性、知识性、资料性、趣味性为一体，内容丰富，理论联系实际，具有西域大漠边塞特色。

《新疆林业》为双月刊，每期定价1.20元，全年7.20元，在全国自办发行，自10月开始办理直接订阅手续。地址：新疆乌鲁木齐市黑龙江路12号，新疆林业编辑部发行组，邮编：830000

读者对象：林业科技人员、林业干部、林业推广和林业站人员、院校师生、农林职工及绿化工作者及有关人员。