

文章编号: 1001-1498(2010)03-0362-06

长白山过伐云冷杉恢复林分主要 树种径阶生长与枯损模拟

龚直文^{1,2}, 亢新刚^{2*}, 顾丽², 杨华²

(1. 北京林业大学经济管理学院农林经济管理博士后流动站, 北京 100083;

2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 以长白山过伐林区金沟岭林场的云冷杉林 4 个局级固定样地连续 12 年的观测数据为研究对象, 利用固定样地内主要针叶树种红松、冷杉和云杉, 从 1978 年到 1984 年 6 年内的胸径与定期平均生长量对应值数据, 建立林木径阶生长转移概率模型, 预估林木径阶平均生长量, 并利用 1990 年观测数据进行检验, 结果表明: 所建概率模型实际应用误差较小, 精度较高; 同时还分析了 1978 年至 1990 年 12 年间云冷杉林的枯损林木株数分布特征, 通过模型模拟和检验, 表明 Weibull 分布函数适用于异龄混交林的枯损株数分布模拟。

关键词: 长白山径阶转移模型; 转移概率; Weibull 分布; 枯损模型; 云冷杉林; 生长与收获预估

中图分类号: S758.5

文献标识码: A

Growth and Mortality of Size-class Model for Spruce-Fir Mixed Forests in Over-cutting Forest Area of Changbai Mountains, Northeast China

GONG Zhi-wen^{1,2}, KANG Xin-gang², GU Li², YANG Hua²

(1. Post-Doctoral Science Research Station of Agricultural and Forestry Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The authors studied the data of 4 permanent observation plots of spruce-fir forests in over-cutting forest area of Changbai Mountains, northeast China. These plots were continuously observed for 12 years from 1978 to 1990. In this paper, using the diameter and periodic annual increment data of main coniferous species, i. e. *Pinus koraiensis*, *Abies nephrolepic* and *Picea koraiensis*, the transition probability model is established, and the average increment of diameter grade is predicted. Evaluated with the data of 1990, it is found that the practical application error of probabilistic model is small and the precision is high. The authors analyzed the mortality distribution of each species among 12 years from 1978 to 1990, the results show that Weibull function is suitable for modeling uneven-aged spruce-fir forests.

Key words: Changbai Mountains; transition model of diameter grade; transition probability; Weibull function; mortality model; spruce-fir forests; growth and yield prediction model

森林是长期动态变化的生态系统, 林分蓄积量的增长是林分生长与枯损综合作用的结果^[1]。人们常常根据林分的直径分布变化规律来模拟、预测森林的

动态变化过程^[2], 其中, 利用矩阵模型模拟动态变化过程是非常有效的方法^[3]。矩阵模型首先由国外的 Usher^[4] 应用于异龄林的动态分析中, 随后在对森林

收稿日期: 2009-02-24

基金项目: 国家自然科学基金(30671667), 国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD03A08)

作者简介: 龚直文, 男, 博士, 从事天然林可持续经营和森林植被恢复研究. E-mail: gozewe@126.com

* 通讯作者: 亢新刚, 男, 教授, 博士生导师, 从事森林可持续经营研究. E-mail: xingangk@163.com

资源动态模拟及分析的过程中得到应用及改进,引出了种群径阶转移模型及对转移概率的讨论。许多林业工作者开展了基于矩阵模型的森林动态模拟与经营理论研究^[5]。邵国凡等^[6]、王飞等^[7]利用矩阵转移模型对阔叶红松林的径阶变化过程及不同采伐方案森林变化进行了模拟,铃木太七^[8]研究和分析了林分直径分布的转移概率理论,Kolbe等^[9]在研究中发现转移概率取决于林分与其最初始状态的距离。Tonres等^[10]研究了径阶转移模型中径阶宽度对种群生长率的影响。林分直径结构分布随时间变化的原因除了直径生长,另一个方面为林木枯损^[11]。林分的枯损是由林分的密度竞争引起的,枯损强度实质上是林分密度估计问题^[12]。在考虑林分起初胸径、竞争指数、林分密度、多样性指数和立地因子等树木枯损因子的条件下,正态分布、二项式分布、Poisson分布函数常用来拟合枯损株数按径阶的分布^[13],如向玮等^[14]在近天然落叶松(*Larix olgensis* Henry)云冷杉林中建立了5个树种(组)的单木枯损模型,利用林分株数分布函数或林木生长模型预估林分直径枯损分布,具有结构合理、适用性强及预测精度高等特征,成为预估林分枯损的最佳模型之一^[15]。

径阶转移概率模型能很好的模拟异龄林的生长与收获预估^[16]。用种群径阶转移模型来模拟种群动态变化过程时,其计算径阶转移概率的方法有多种,国内外研究表明,林木大小和林分密度的函数^[17]、林木断面积^[18]及林木年龄和径级^[19]等均可用来计算径阶转移概率,但在实际的应用过程中各有利弊。本文利用所观测样地的2次间隔6年的数据,在不考虑林分环境因子等因素的条件下,利用林木的直径转移概率有效的模拟及检验长白山过伐林区云冷杉林主要树种的径级生长动态。它把数学的规划方法与直径转移的矩阵模型结合起来,可解决许多林学与生态学的优化控制问题,这显示出直径转移模拟方法的最大优越性^[6];同时,本文利用林分枯损函数来模拟和预测林分内径阶枯损株数,为及时而准确地预估森林资源的数量、客观科学地评价森林资源的质量提供科学方法和手段,对于长白山过伐林区云冷杉林的经营与管理具有一定的理论指导和实际应用价值。

1 试验区自然概况与研究方法

1.1 样地概况及调查

试验研究地区位于吉林省汪清林业局境内东北

部金沟岭林场,属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉,经营面积16 286 hm²,详细自然概况见参考文献[20]。试验区中所设置的4个固定样地主要是云冷杉林群落,是原始林型经过2~3次较大强度的择伐(30%~50%)后,经过十几或二十几年的恢复形成的林分,林分蓄积量在100~200 m³·hm⁻²(原始林为350~400 m³·hm⁻²),林分株数分布以小径木为多^[21]。固定样地设置于1978年,每个样地大小均为50 m×50 m,面积0.25 hm²。测量各样地每株树木的胸径、树高、第1枝下高、冠幅等因子,此后每隔2年复测1次。在标准地的中心和四角各设置1个5 m×5 m小样方,调查小样方内所有乔木幼苗幼树的树种、高度、株数、地径、胸径(树高超过1.5 m的测胸径,树高小于1.5 m的只测地径)。在5 m×5 m小样方内,再设置1个2 m×2 m样方,调查灌木的名称、数量(1丛计1株)、高度、盖度等。在2 m×2 m样方中,再设置1个1 m×1 m样方,用同样的方法调查草本,记录草本植物种类、数量、高度、盖度。最近1次调查在2008年7月,林分郁闭度已经由设置初的0.7,增加到0.9。

1.2 研究方法

本文利用森林种群径阶转移模型中的转移概率预测林木径阶平均生长量,同时利用Weibull分布函数来模拟和预测长白山云冷杉林的林分直径枯损状况,模拟结果分别用²检验法进行检验,并预估其模拟精度。

1.2.1 径阶转移概率的估算 利用转移矩阵表示和模拟种群径阶结构的动态变化^[22],其计算公式如下^[2]:

$$T_k = \frac{(b+1)^2 + 4c(D_0 + kh - a) - (b+1)}{4c} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n)$$

若 $T_k, T_{k+1} \in [D_i, D_{i+1}]$, 则

$$\begin{aligned} (1) \text{ 当 } M = (G_{T_k} + T_k - D_{i+1}) \Delta h = 0 \text{ 时, 令} \\ a_i(t) = (T_k - D_i) \Delta h, \quad b_i(t) = (T_{k+1} - T_k) \Delta h, \\ c_i(t) = (D_{i+1} - T_{k+1}) \Delta h \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} (2) \text{ 当 } M = (G_{T_k} + T_k - D_{i+1}) \Delta h = 0 \text{ 时, 令} \\ b_i(t) = (T_k - D_i) \Delta h, \quad c_i(t) = (T_{k+1} - T_k) \Delta h, \\ d_i(t) = (D_{i+1} - T_{k+1}) \Delta h \end{aligned} \quad (2)$$

若 $T_k, T_{k+1} \in [D_i, D_{i+1}]$

$$\begin{aligned} \text{当 } G_{D_i} < h \text{ 时, } a_i(t) = 1; \text{ 当 } h < G_{D_i} < 2h \text{ 时,} \\ b_i(t) = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

式(1)~(3)中: k 为间隔期; $a_i(t)$ 、 $b_i(t)$ 、 $c_i(t)$ 、 $d_i(t)$ 分别为第*i*径阶在间隔期*k*后仍留在本径阶、进级1个径阶、进级2个径阶、进级3个径阶的

转移概率; G_D 表示胸径定期平均生长量; D 表示种群胸径; a, b, c 为方程种群生长模型 $G_D = a + bD + cD^2$ 的拟合参数; D_0 为起测胸径; h 为径阶组的宽度; T_k 与 T_{k+1} 分别表示在径阶范围内的交点数值, D_i 和 D_{i+1} 分别表示第 i 和第 $i+1$ 径阶的下限; G_{T_k} 表示交点为 T_k 值时的胸径生长量; G_{D_i} 表示为 D_i 值时的胸径生长量。

1.2.2 林木枯损模型 本文选择 Weibull 分布模型来模拟云冷杉林的枯损株数分布, 拟合结果用 χ^2 检验法进行检验, 并预估其模拟精度。威布尔分布函数的数学公式、生物学含义、分布检验与预估精度方法详见参考文献[23]。

1.3 数据处理

采用统计软件 SPSS for Windows 13.0 和 ForStat

2.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 林木种群直径定期平均生长量与转移概率

2.1.1 林木种群胸径生长方程的拟合 针对长白山地区云冷杉林主要的针叶树种红松 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、臭冷杉 (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) 和鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* Carr.), 利用其 1978 年和 1984 年相隔 6 年的胸径与定期平均生长量对应值数据, 进行回归模型拟合, 结果见表 1, 其中, 用于研究的红松 127 株, 云杉 208 株, 冷杉 285 株。

表 1 种群定期平均生长量 (G_D) 与胸径 (D) 的回归模型及拟合结果

树种	相关模型	拟合参数			相关系数	标准差	F 值	$F_{(0.05)}$
		a	b	c				
红松	$G_D = a + bD + cD^2$	0.285 2	0.031 0	-0.000 1	0.783	0.186	98.2	3.06
冷杉		0.251 2	0.025 6	-0.000 2	0.846	0.146	79.3	3.03
云杉		0.174 2	0.025 5	-0.000 5	0.851	0.232	98.5	3.03

表 1 表明: 胸径与定期平均生长量回归模型 $G_D = a + bD + cD^2$ 中, 其相关系数在 0.783 ~ 0.851 间, 回归方程经 F 检验, $F > F_{0.05}$; 所以, 长白山云冷杉林的红松、冷杉和云杉的胸径与定期平均生长量的二次抛物线回归方程拟合相关性显著。

2.1.2 自然状态下林木种群的径阶转移概率 根

据转移概率的估算方法, 分别统计红松、冷杉和云杉的径阶内交点数值 (T_k)、枯损株数 (M)、第 i 径阶在间隔期 k 后仍留在本径阶的转移概率 $a_i(t)$ 、进级 1 个径阶转移概率 $b_i(t)$ 与进级 2 个径阶的转移概率 $c_i(t)$ 的数值, 其结果见表 2 ~ 4, 其中 D_i 和 D_{i+1} 分别表示第 i 和第 $i+1$ 径阶。

表 2 红松 6 年间径阶与转移概率的关系

D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$	D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$
5	7	6.517	0	0.759	0.241	0	41	43	41.598	0	0.299	0.701	0
7	9	8.460	0	0.730	0.270	0	43	45	43.554	0	0.277	0.723	0
9	11	10.403	0	0.702	0.298	0	45	47	45.511	0	0.256	0.744	0
11	13	12.347	0	0.674	0.326	0	47	49	47.469	0	0.234	0.766	0
13	15	14.292	0	0.646	0.354	0	49	51	49.427	0	0.213	0.787	0
15	17	16.238	0	0.619	0.381	0	51	53	51.386	0	0.193	0.807	0
17	19	18.184	0	0.592	0.408	0	53	55	53.346	0	0.173	0.827	0
19	21	20.131	0	0.566	0.434	0	55	57	55.306	0	0.153	0.847	0
21	23	22.079	0	0.540	0.460	0	57	59	57.267	0	0.134	0.866	0
23	25	24.028	0	0.514	0.486	0	59	61	59.229	0	0.115	0.885	0
25	27	25.977	0	0.488	0.512	0	61	63	61.192	0	0.096	0.904	0
27	29	27.927	0	0.464	0.536	0	63	65	63.156	0	0.078	0.922	0
29	31	29.878	0	0.439	0.561	0	65	67	65.120	0	0.060	0.940	0
31	33	31.829	0	0.415	0.585	0	67	69	67.085	0	0.043	0.957	0
33	35	33.782	0	0.391	0.609	0	69	71	69.051	0	0.026	0.974	0
35	37	35.735	0	0.367	0.633	0	71	73	71.018	0	0.009	0.984	0.008
37	39	37.688	0	0.344	0.656	0	-	-	72.985	-	-	-	-
39	41	39.643	0	0.322	0.678	0	73	75	74.953	1	-	0.977	0.023

表 3 冷杉 6 年间径阶与转移概率的关系

D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$	D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$
5	7	6.585	0	0.792	0.208	0	39	41	39.887	0	0.443	0.557	0
7	9	8.538	0	0.769	0.231	0	41	43	41.853	0	0.426	0.574	0
9	11	10.491	0	0.746	0.254	0	43	45	43.819	0	0.410	0.590	0
11	13	12.446	0	0.723	0.277	0	45	47	45.786	0	0.393	0.607	0
13	15	14.401	0	0.700	0.300	0	47	49	47.754	0	0.377	0.623	0
15	17	16.357	0	0.678	0.322	0	49	51	49.723	0	0.362	0.638	0
17	19	18.314	0	0.657	0.343	0	51	53	51.693	0	0.346	0.654	0
19	21	20.271	0	0.635	0.365	0	53	55	53.663	0	0.331	0.669	0
21	23	22.229	0	0.615	0.385	0	55	57	55.634	0	0.317	0.683	0
23	25	24.188	0	0.594	0.406	0	57	59	57.606	1	0.303	0.697	0
25	27	26.148	0	0.574	0.426	0	59	61	59.579	1	0.289	0.711	0
27	29	28.108	0	0.554	0.446	0	61	63	61.552	1	0.276	0.724	0
29	31	30.069	0	0.535	0.465	0	63	65	63.526	1	0.263	0.737	0
31	33	32.031	0	0.516	0.484	0	65	67	65.501	1	0.251	0.749	0
33	35	33.994	0	0.497	0.503	0	67	69	67.477	1	0.238	0.762	0
35	37	35.958	0	0.479	0.521	0	69	71	69.453	1	0.227	0.773	0
37	39	37.922	0	0.461	0.539	0	71	73	71.430	1	0.215	0.785	0

表 4 云杉 6 年间径阶与转移概率的关系

D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$	D_i	D_{i+1}	T_k	M	$a_i(t)$	$b_i(t)$	$c_i(t)$
5	7	6.665	0	0.832	0.168	0	39	41	40.125	0	0.562	0.438	0
7	9	8.621	0	0.810	0.190	0	41	43	42.107	0	0.553	0.447	0
9	11	10.578	0	0.789	0.211	0	43	45	44.090	0	0.545	0.455	0
11	13	12.538	0	0.769	0.231	0	45	47	46.075	0	0.538	0.462	0
13	15	14.498	0	0.749	0.251	0	47	49	48.062	0	0.531	0.469	0
15	17	16.460	0	0.730	0.270	0	49	51	50.051	0	0.525	0.475	0
17	19	18.424	0	0.712	0.288	0	51	53	52.040	0	0.520	0.480	0
19	21	20.389	0	0.695	0.305	0	53	55	54.032	0	0.516	0.484	0
21	23	22.356	0	0.678	0.322	0	55	57	56.025	0	0.512	0.488	0
23	25	24.324	0	0.662	0.338	0	57	59	58.020	0	0.510	0.490	0
25	27	26.294	0	0.647	0.353	0	59	61	60.016	0	0.508	0.492	0
27	29	28.265	0	0.632	0.368	0	61	63	62.014	0	0.507	0.493	0
29	31	30.238	0	0.619	0.381	0	63	65	64.013	0	0.507	0.493	0
31	33	32.212	0	0.606	0.394	0	65	67	66.014	0	0.507	0.493	0
33	35	34.188	0	0.594	0.406	0	67	69	68.017	0	0.508	0.492	0
35	37	36.165	0	0.583	0.417	0	69	71	70.021	0	0.510	0.490	0
37	39	38.144	0	0.572	0.428	0	71	73	72.027	0	0.513	0.487	0

由表 2 ~ 4 可以看出: 这种估算林木种群的径阶生长转移概率的方法, 其实际应用误差较小, 精度较高, 具有较强的实用性。可以用来研究林木在某一生长间隔内, 一个径阶有 2 个及 2 个以上进级生长类型的种群。

2.1.3 林木径阶平均生长量的预估与检验 各径阶林木的平均直径生长量是利用林木种群的平均转移概率矩阵来计算的, 其在数量上等于平均转移步长这一因子, 表 5 为长白山云冷杉林各径阶林木的平均直径生长量, 其计算公式如下:

$$S = P_{ij} \times h + P_{ij} \times 2h + P_{ij} \times 3h; Z_d = S \times h \quad (8)$$

式(8)中: P_{ij} —径阶转移概率; S —平均转移步长; h —径阶距; Z_d —直径生长量。

利用 1990 年云冷杉林固定标准地每木检尺的数据做林木径阶生长量预估模型检验, 其检验结果

与预估精度见表 6。查表得知本文所研究的 3 个种群的 $\chi^2_{0.05}$ 值为 43.773, 经卡方检验, 红松、冷杉与云杉的径阶直径生长量均在误差允许范围内, 预估平均误差均在 5% 以下。因此, 在自然状态下, 估算林木种群径阶转移概率的方法是适用的, 实际应用误差较小, 精度较高。

2.2 种群直径枯损分布模型与研究

2.2.1 直径分布枯损模型 目前, 直径分布模型在预估各径阶株数方面已经广泛应用, 利用林分枯损模型与林分株数分布模型联合构成林分生长预估模型, 有利于及时掌握林分株数生长的动态变化。根据 1978 年到 1990 年间云冷杉林固定样地中 12 年间的径阶枯损株数, 以威布尔(Weibull) 分布函数建立直径枯损模型, 拟合模型的参数估计结果见表 7。

表 5 不同径阶不同树种的平均直径生长量

径阶/cm	平均直径生长量/cm			径阶/cm	平均直径生长量/cm			径阶/cm	平均直径生长量/cm		
	红松	冷杉	云杉		红松	冷杉	云杉		红松	冷杉	云杉
6	4.966	4.831	4.671	28	6.146	5.784	5.470	50	7.146	6.554	5.899
8	5.081	4.925	4.758	30	6.244	5.861	5.525	52	7.228	6.615	5.919
10	5.194	5.018	4.843	32	6.341	5.937	5.576	54	7.309	6.674	5.936
12	5.305	5.109	4.925	34	6.437	6.012	5.624	56	7.388	6.732	5.950
14	5.416	5.198	5.004	36	6.531	6.085	5.670	58	7.465	6.788	5.961
16	5.524	5.286	5.079	38	6.623	6.156	5.712	60	7.541	6.843	5.968
18	5.632	5.373	5.152	40	6.714	6.226	5.751	62	7.615	6.896	5.973
20	5.737	5.458	5.222	42	6.803	6.295	5.787	64	7.688	6.948	5.974
22	5.842	5.542	5.289	44	6.891	6.362	5.819	66	7.760	6.998	5.972
24	5.945	5.624	5.352	46	6.978	6.427	5.849	68	7.830	7.047	5.967
26	6.046	5.704	5.413	48	7.063	6.491	5.876	70	7.898	7.094	5.958

表 6 不同树种径阶生长量结果检验与预估精度

树种	径阶生长量	
	χ^2 检验	预估精度/%
红松	25.72	96.21
冷杉	35.99	96.09
云杉	30.48	95.99

表 7 各林木种群直径枯损分布模型参数

树种	预估参数			R	χ^2	$\chi^2_{0.05}$	预估精度
	a	b	c				
红松	5.0	22.235 7	2.019 1	0.992	5.13	26.30	95.74
冷杉	5.0	21.236 2	1.971 7	0.994	3.66	26.30	96.25
云杉	5.0	23.903 7	1.999 4	0.989	7.68	26.30	95.92

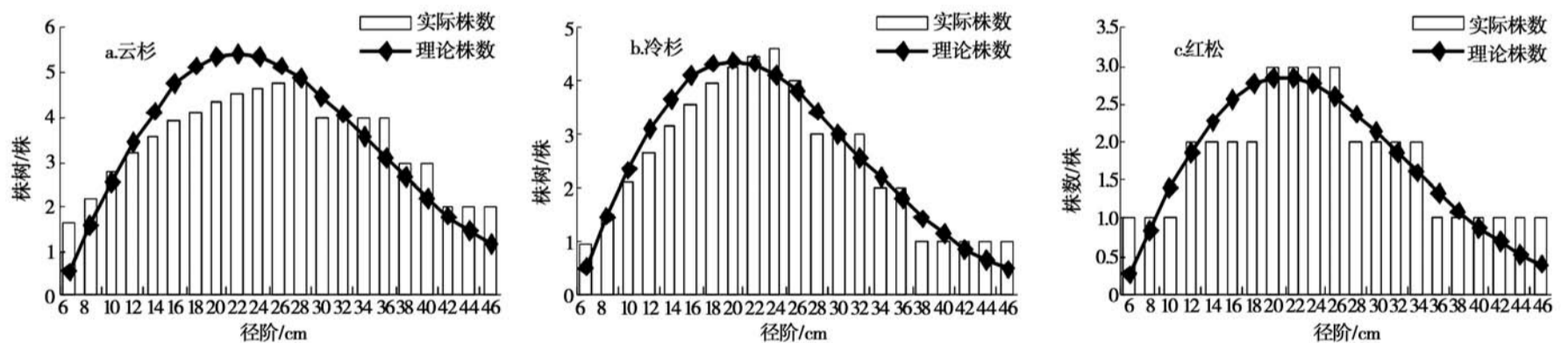


图 1 不同树种 Weibull 分布模型的不同径阶株数的观测值和估计值

从图 1 中可以看出: 威布尔分布模型模拟效果与实际值均较为接近, 在小径级阶段, 其模拟株数与实际值相比均存在相差偏大或偏小的情况; 但随着径阶的增大, 各径阶的模拟株数与实际值差异逐渐缩小, 整个径阶范围与观测值较吻合, 均表现为一条平滑的曲线。总趋势为中径阶枯损株数较多, 这是由于中间径阶林木株数较多, 相互之间竞争比较激烈; 大径阶枯损株数少而且比较稳定, 这也与实际状况株数枯死情况相符。

3 结论与讨论

本文利用长白山云冷杉林的 2 次样地观测数

经卡方检验, $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$, 本文所分析的云冷杉林的 3 个主要针叶树种的种群直径枯损模型均服从威布尔分布, 预估平均误差均在 5% 以下。从 χ^2 检验和预测精度结果看, 本文所模拟的种群直径枯损结构是适用的。这说明, 威布尔分布可被选择为该区云冷杉林林分各林木种群直径枯损结构株数分布预测函数。

2.2.2 分布拟合 根据样本观测数据资料, 本文所研究的 3 个树种的各径阶枯损实际株数与威布尔模型模拟的理论株数见图 1。

据, 在自然状态下估算林木种群的径阶转移概率。这种通过直径转移模拟计算直径分布的变化来预测林分结构的变化, 具有线性、易检验和易与优化模型结合等优点, 因此更易面向经营; 但直径转移模型是经验模型, 需要大量样地的定期生长收获调查, 利用的是环境条件不变时生物本身的特性历史材料, 其关键是生长和进界参数的确定^[24]。因此, 未来期望能向可变参数和混合模型方向发展。

本研究通过直径分布枯损模型中的 Weibull 分布函数来模拟和预测长白山云冷杉林径阶枯损株数, 经卡方检验和预测精度分析, 红松、冷杉与云杉的 χ^2 值均小于 $\chi^2_{0.05}$, 预估平均误差均在 5% 以下, 实

际应用误差较小, 精度较高, 说明此方法有较强的实用性, 可以用在其他生物种群生长规律的预估研究中。从²检验和预测精度结果来看, Weibull 分布函数适合于异龄混交林的枯损株数分布模拟。郎奎建等^[11]通过对落叶松、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 与桉树(*Eucalyptus* spp.) 固定标准地的定株观测资料, 认为林木的径阶枯损函数比较稳定。李生英等^[15]认为, 直径分布枯损模型的预测精度和实用性能均优于收获表枯损模型、存活率预估模型和断面积枯损模型。因此, 在以后的科学研究中, Weibull 分布函数可以被选择为该区云冷杉林林分各林木种群直径枯损结构株数的分布预测函数, 在林业经营和资源管理方面可以得到普及和应用。

云冷杉林是北方长白山东部地区的典型代表林分, 总体上各种群均径阶株数近似呈倒“J”型曲线分布^[25]。红松、云杉与冷杉等耐荫性树种是林分未来演替的顶级树种, 此云冷杉林最终向地带性稳定的顶级群落方向演替^[20]; 但是由于长期的激烈竞争与采伐利用, 使绝大部分种群个体产生大量的枯死或消失, 成为过伐林或转变成次生林。要对其进行改造和经营, 必须了解与把握其现状以及它们的生长变化规律。本研究对于该地区的森林经营有一定的参考价值。文章通过对长白山过伐林区云冷杉林主要树种的径阶转移概率、枯损株数及进界量的预估与分析, 对该地区的林木生长量和消耗量的数量与质量有了更明确的估测与评价; 同时拟为该地区森林资源的经营提供参考依据, 为该林区森林生态系统的经营与实施、规划与决策提供可靠的信息。

参考文献:

- [1] 胡晓龙. 林分枯损模型的研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(5): 525 - 529
- [2] 曲智林, 胡海清. 森林种群径阶转移模型中转移概率的估算方法[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2307 - 2310
- [3] 曲智林, 曲松, 唐翠. 基于矩阵模型的森林动态模拟与经营[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(6): 28 - 30
- [4] Usher M B. A matrix approach to management of renewable resources: With special reference to selection forests[J]. J Appl Ecol, 1966, 3: 355 - 367
- [5] 曲智林, 赵惠勋, 王虹. 森林生态系统经营的森林种群模拟及

- 分析[J]. 东北林业大学学报, 2000, 28(1): 8 - 12
- [6] 邵国凡, 赵士洞, 舒噶特. 森林动态模拟[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995
- [7] 王飞, 代力民, 邵国凡, 等. 非线性状态方程模拟异龄林径阶动态—以长白山阔叶红松林为例[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 101 - 105
- [8] 铃木太七. 森林经理学[M]. 日本: 朝会书店, 1982: 116 - 122
- [9] Kolbe A E, Buongiorno J, Vasievich M. Geographic extension of an un-aged multi-species matrix growth model for northern hard wood forests[J]. Ecology Modelling, 1999, 121: 235 - 253
- [10] Torres I L, Belda C F, Perez S F O, et al. Choosing *Fagus sylvatica* L. matrix model dimension by sensitivity analysis of the population growth rate with respect to the width of the diameter classes [J]. Ecology Modelling, 2008, 218: 307 - 314
- [11] 郎奎建, 胡光, 郝锦莹, 等. 人工林枯损动态模型及其规律分析[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 66 - 72
- [12] 唐守正, 李希菲. 同龄纯林自然稀疏规律研究[J]. 林业科学, 1993, 29(3): 234 - 241
- [13] Lee Y. Predicting mortality for even-aged stands of Lodgepole pine [J]. Canada Forestry Chronicle, 1971, 47: 29 - 32
- [14] 向玮, 雷相东, 刘刚, 等. 近天然落叶松云冷杉林单木枯损模型研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(6): 90 - 98
- [15] 李生英, 喻利华, 王秀芬. 林分直径枯损模型分析与研究[J]. 辽宁林业科技, 1999(3): 11 - 13
- [16] Peng C H. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 132(2): 259 - 279
- [17] Solomon D S, Hosmer R A, Hayslett H T. A two-stage matrix model for predicting growth of forest stand in the Northeast [J]. Can For Res, 1986, 16: 521 - 528
- [18] 侯向阳, 韩进轩, 阳含熙. 长白山红松阔叶林林冠木竞争生长及林冠空隙动态研究[J]. 生态学报, 2000, 8(3): 211 - 219
- [19] 李荣伟. 动态马尔科夫直径生长模型的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(4): 338 - 345
- [20] 龚直文, 亢新刚, 顾丽, 等. 长白山杨桦次生林生长过程与演替分析[J]. 林业科学研究, 2009, 22(3): 379 - 384
- [21] 亢新刚, 罗菊春, 孙向阳, 等. 森林可持续经营的一种模式[J]. 林业资源管理, 1998(特刊): 51 - 59
- [22] 葛剑平. 森林生态学建模与仿真[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1996: 83 - 240
- [23] 龚直文, 亢新刚, 杨华, 等. 长白山杨桦次生林直径结构研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 1 - 6
- [24] 雷相东, 唐守正. 森林经营对群落多样性影响的研究进展[J]. 生态学杂志, 2000, 19(3): 46 - 51
- [25] 惠刚盈, 盛炜彤. 林分直径结构模型的研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(2): 127 - 131