

文章编号: 1001-1498(2009)03-0379-06

# 长白山杨桦次生林生长过程与演替动向分析

龚直文, 亢新刚\*, 顾丽, 杨华

(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:**以长白山金沟岭林场的杨桦次生林为研究对象, 根据山杨、白桦解析木资料, 利用 Richards 方程拟合了白桦和山杨的胸径、树高和材积的生长方程, 分别编制了二者的生长过程表; 同时根据径阶组划分标准, 统计各树种在不同径阶组中的株数及其所占的比例, 从而对林分内各乔木树种的演替动向进行分析。研究结果表明: 山杨和白桦作为林分内的先锋树种, 处于衰退趋势; 红松、冷杉与云杉为地带性顶级树种, 将在地带性顶级群落中占据为优势树种; 其他树种在演替过程中变化不明显。

**关键词:**杨桦次生林; 生长过程; 次生演替; Richards 生长方程; 径阶组

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

## Growth Process and Succession Trend of Polar-Birch Secondary Forests in Changbai Mountain, Northeast China

GONG Zhi-wen, KANG Xin-gang\*, GU Li, YANG Hua

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

**Abstract:** Permanent plots in the polar-birch secondary forests in Changbai Mountain, Northeast China, were established. According to the data of the analytic trees, i.e. the species of *Betula platyphylla* Suk and *Populus davidiana* Dode, the authors fitted the Richards equation using the diameter at breast height, tree height and volume of the growth equation, and compiled the growth process tables. Based on the standard of arbor species diameter grade, the authors made the statistics of the number and proportion in every grade, and the succession trend was analyzed. The results show that the *Betula platyphylla* Suk and *Populus davidiana* Dode, as the pioneer tree species, are declining, while *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Abies* Mill and *Picea asperata* Mast are the zonal climax species, and will be the dominant species in the zonal climax communities. The other species change little during the process of succession.

**Key words:** polar-birch secondary forests; growth process; secondary succession; Richards growth model; diameter class group

次生林是因人为破坏性或异常自然干扰使原始林林的林分结构、建群物种组成或基本功能发生了显著变化, 经过天然更新或人工诱导天然更新恢复形成的林分<sup>[1]</sup>。它既保持着原始森林的物种成分与生境, 又与原始森林在结构组成、林木生长、生产力、林

分环境和生态功能等诸多方面有着显著的不同。次生林可以理解为是原始森林生态系统的一种退化<sup>[2]</sup>。Connell<sup>[3]</sup>在“中间干扰假说”中提出: 次生林在演替的中间阶段比起成熟林生长阶段具有较高的物种多样性, 因为次生林包含先锋树种和顶级耐荫

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(2006BAD03A08-04)

作者简介: 龚直文, 男, 博士研究生, 从事天然林可持续经营和森林植被恢复研究。

\*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。

性物种。在中国,次生林面积已占全国森林面积的近一半<sup>[4]</sup>,成为中国森林资源的主体。杨桦林是以山杨 (*Populus davidiana* Dode)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk) 及枫桦 (*B. costata* Trautv.) 为优势树种的林分<sup>[5]</sup>,在小兴安岭林区,杨桦次生林是在阔叶红松 (*Pinus koraiensis* Sieb et Zucc.) 林被破坏后(火烧、皆伐、撂荒等)的次生裸地上首先发生的先锋群落,是阔叶红松林自然恢复演替规律的重要过渡阶段之一。目前,国内针对杨桦次生林的研究主要是对采伐林隙幼苗更新动态研究<sup>[6]</sup>;次生杨桦混交林的土壤呼吸作用<sup>[7]</sup>;白桦与山杨混交林凋落物的分解率实验<sup>[8]</sup>;杨桦林经营密度效应研究<sup>[9]</sup>以及于振良等<sup>[10]</sup>利用改进的 ZELIG CBA 模型模拟了长白山杨桦林的动态变化过程,预测山杨、白桦退出林分时间的早晚。这些研究有助于了解杨桦次生林的群落结构、林下更新演替及与周围环境的关系;但迄今为止,对于杨桦次生林林分内主要树种的生长过程研究较少。本文研究了杨桦次生林的生长过程和演替动向,为掌握杨桦次生林的生长动态,制定有效的经营措施及合理经营和调控本地区的次生林分结构,使之趋于理想结构状态提供生长过程方面的依据。

## 1 试验地自然概况

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 hm<sup>2</sup>。场部位于 130°10' E, 43°22' N, 林场地貌为低山丘陵,海拔 300~1 200 m,坡度 5~25°,个别陡坡在 35°以上。该区属季风型气候,全年平均气温 3.9℃左右,10℃的积温为 2 144 h;1

月份气温最低,平均 -32℃左右;7月份气温最高,平均 22℃左右。年降水量 600~700 mm,且多集中在 7月份;早霜从 9月中旬开始,晚霜延至翌年 5月末,生长期为 120 d;积雪平均厚达 50 cm。本区属低山灰化土灰棕壤区,母岩为玄武岩。在海拔 800~1 000 m 为针叶林灰棕壤土,沟谷是草甸土、泥炭土、沼泽土或冲积土,结构一般为黏壤土类,粒状结构,湿松,根系多,平均厚度 40 cm 左右。主要树种有白桦、山杨、枫桦、色木槭 (*Acer mono* Maxim.)、椴木 (*Tilia* L.)、核桃楸 (*Juglans mandshurica* Maxim.)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、山槐 (*Sophora* L.)、蒙古栎 (*Quercus mongolica* Fisch.)、春榆 (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.)、鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* Carr.)、红皮云杉 (*P. koraiensis* Nakai) 和臭冷杉 (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)、红松等,主要下木有忍冬 (*Lonicera japonica* Thunb.)、暴马丁香 (*Syringa amurensis* Rupr.)、卫矛 (*Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb.)、榛子 (*Corylus heterophylla* Fisch.) 等。主要地被物为禾本科草类及少数灌木,如珍珠梅 (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.)、柳叶绣线菊 (*Spiraea salicifolia* L.) 等。

## 2 材料与方法

### 2.1 资料收集

2007年与 2008年 8月,在吉林省汪清县金沟岭林场内设置 12块能反应白桦次生林森林生态系统典型特征及演替阶段的固定标准地,各标准地大小为 40 m × 50 m;样地林木株数为 274~474株,密度为 1 370~2 420株 · hm<sup>-2</sup>(表 1)。在样地四角及中心分别设置 5个 2 m × 2 m 的灌木样方和 1 m ×

表 1 标准地的基本概况

标准地号	样地株数/株	密度/(株 · hm <sup>-2</sup> )	最大胸径/cm	平均胸径/cm	断面积/(m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> )	蓄积/(m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	直径标准差/cm	偏度	郁闭度	树种组成
A1	346	1 730	52.3	13.9	26.9	188.8	7.42	2.14	0.9	3椴 2桦 1枫 1水 1红 1落 1色 - 云 - 杂 - 冷
A2	327	1 655	46.1	13.2	22.5	154.7	6.89	1.94	0.8	2白 2椴 1枫 1云 1红 1水 1榆 1色 + 冷 + 杂
B1	347	1 735	45.9	13.0	23.0	159.7	6.44	2.20	0.8	5白 1色 1椴 1榆 1水 1杂 + 云 + 冷
B2	289	1 445	54.4	13.7	21.4	154.7	7.69	2.23	0.9	5白 2水 1榆 1杨 1色 + 杂 - 椴 - 红
C1	411	2 055	44.8	11.5	21.6	141.8	5.21	2.35	0.8	3白 2杨 1落 1色 1红 1云 1椴 + 杂 - 黄 - 枫
C2	484	2 420	28.4	11.2	23.8	150.7	4.57	1.34	0.9	5杨 2白 2椴 1色 - 榆 - 黄
D1	334	1 670	49.5	15.3	31.1	226.1	8.38	1.77	0.9	2枫 2落 1色 1白 1椴 1冷 1榆 1云 + 杂 + 杨
D2	274	1 370	37.6	14.8	23.5	164.3	6.41	0.87	0.9	3色 2枫 1杨 1白 1椴 1红 + 水 + 榆
E1	223	1 115	41.1	16.3	23.2	149.5	9.13	1.11	0.8	2白 2枫 2色 1杨 1红 1云 1椴 + 杂 - 黄
E2	283	1 415	44.9	16.9	31.6	260.2	9.78	1.09	0.9	3枫 1杨 1白 1色 1红 1云 1椴 1杂 - 黄
F1	232	1 933	41.8	8.8	11.8	68.5	3.35	2.22	0.8	4椴 1色 1白 1杨 1榆 1水 1杂 - 红 + 冷
F2	220	1 833	34.7	10.7	18.8	89.7	4.73	2.30	0.8	3椴 2白 1色 1杨 1榆 - 红 - 云

1 m 的草本样方。记录乔木层胸径  $\geq 5.0$  cm 的所有树种名称、胸径、树高、第一枝下高、冠幅;灌木层植物名称、株数、高度;草本层(包括幼苗)中植物种类、数量、盖度、高度;同时对地形因子、土壤因子、枯落物分解率等进行调查。在每块标准地选择有代表性的 1 株或几株平均木进行树干解析,共解析了白桦 21 株,山杨 10 株,二者都按 2 m 区分段进行树干解析,即在树干基径、胸径,和其他每隔 2 m 处锯取树干解析圆盘,梢头不足 1 m 时舍弃,梢头  $> 1$  m 时在 1 m 处取样。用直尺按南北、东西方向量取树干解析圆盘的带皮直径、去皮直径、各年轮直径等测定指标。

2.2 研究方法

2.2.1 山杨、白桦胸径、树高与材积最优方程的确定 利用所测解析木资料(按年龄统计),根据相关系数最大、剩余方差最小的原则,利用 Richards 生长

方程拟合出白桦、山杨的胸径、树高及材积的最优方程(表 2)。

表 2 山杨、白桦胸径、树高与材积的最优方程

树种	生长因子	最优方程	R
山杨	胸径	$D = 47.2445 \times (1 - e^{-0.02164A})^{1.5476}$	0.985
	树高	$H = 21.8895 \times (1 - e^{-0.03684A})^{1.1535}$	0.965
	材积	$V = 1.18120 \times (1 - e^{-0.02544A})^{3.9399}$	0.952
白桦	胸径	$D = 55.1723 \times (1 - e^{-0.01184A})^{1.3455}$	0.981
	树高	$H = 21.6915 \times (1 - e^{-0.032184A})^{1.0479}$	0.953
	材积	$V = 2.0073 \times (1 - e^{-0.01604A})^{3.5598}$	0.946

注: A 为树木的年龄。

2.2.2 白桦和山杨生长过程表 以 5 年为一个龄阶,根据白桦和山杨解析木的树高(H)、胸径(D)和材积(V)的最优生长方程,将各龄阶年龄代入各方程,计算出白桦和山杨各龄阶树高、胸径和材积的总生长量、平均生长量和连年生长量<sup>[11]</sup>(表 3、4)。

表 3 山杨各龄阶树高、胸径和材积的总生长量、平均生长量和连年生长量

年龄/a	总生长量			平均生长量			连年生长量		
	胸径/cm	树高/m	材积/m <sup>3</sup>	胸径/cm	树高/m	材积/m <sup>3</sup>	胸径/cm	树高/m	材积/m <sup>3</sup>
5	1.39	2.80	0.0003	0.2790	0.5596	0.0001	0.2790	0.5596	0.0001
10	3.76	5.62	0.0033	0.3759	0.5625	0.0003	0.4727	0.5654	0.0006
15	6.50	8.14	0.0128	0.4332	0.5427	0.0009	0.5479	0.5032	0.0019
20	9.38	10.32	0.0314	0.4688	0.5159	0.0016	0.5756	0.4355	0.0037
25	12.26	12.18	0.0603	0.4904	0.4871	0.0024	0.5770	0.3720	0.0058
30	15.07	13.76	0.0992	0.5025	0.4585	0.0033	0.5627	0.3154	0.0078
35	17.77	15.09	0.1467	0.5077	0.4310	0.0042	0.5390	0.2662	0.0095
40	20.32	16.21	0.2010	0.5080	0.4051	0.0050	0.5098	0.2238	0.0109
45	22.71	17.14	0.2602	0.5046	0.3810	0.0058	0.4776	0.1878	0.0118
50	24.93	17.93	0.3223	0.4986	0.3586	0.0064	0.4444	0.1573	0.0124
55	26.98	18.59	0.3856	0.4906	0.3380	0.0070	0.4111	0.1316	0.0127
60	28.88	19.14	0.4487	0.4813	0.3190	0.0075	0.3786	0.1099	0.0126
65	30.61	19.60	0.5103	0.4710	0.3015	0.0079	0.3473	0.0918	0.0123
70	32.20	19.98	0.5697	0.4600	0.2854	0.0081	0.3177	0.0766	0.0119
75	33.65	20.30	0.6261	0.4487	0.2707	0.0083	0.2899	0.0639	0.0113
80	34.97	20.57	0.6791	0.4371	0.2571	0.0085	0.2640	0.0532	0.0106
85	36.17	20.79	0.7285	0.4255	0.2446	0.0086	0.2399	0.0443	0.0099
90	37.26	20.97	0.7742	0.4140	0.2330	0.0086	0.2177	0.0369	0.0091
95	38.25	21.13	0.8162	0.4026	0.2224	0.0086	0.1973	0.0308	0.0084
100	39.14	21.25	0.8546	0.3914	0.2125	0.0085	0.1786	0.0256	0.0077

2.2.3 树种径阶组的划分标准 将软阔叶树及萌生硬阔叶树种 10 年定为 1 个龄级,实生硬阔叶树及针叶树种 20 年定为 1 龄级,根据树干解析求出各类树种各龄级极限年龄的胸径平均值,然后,利用上限排外法将它们划入某一径阶,并以此径阶之上限作

为该径阶组的上限,这样获得各类树种径阶组划分的标准<sup>[12]</sup>,见表 5。

2.3 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。

表 4 白桦各龄阶树高、胸径和材积的总生长量、平均生长量和连年生长量

年龄 /a	总生长量			平均生长量			连年生长量		
	胸径 /cm	树高 /m	材积 /m <sup>3</sup>	胸径 /cm	树高 /m	材积 /m <sup>3</sup>	胸径 /cm	树高 /m	材积 /m <sup>3</sup>
5	1.18	2.94	0.0002	0.2361	0.5889	0.0000	0.2361	0.5889	0.0000
10	2.89	5.61	0.0022	0.2885	0.5614	0.0002	0.3409	0.5339	0.0004
15	4.79	7.94	0.0082	0.3193	0.5291	0.0005	0.3808	0.4644	0.0012
20	6.79	9.94	0.0200	0.3393	0.4969	0.0010	0.3996	0.4005	0.0024
25	8.82	11.66	0.0387	0.3529	0.4663	0.0015	0.4069	0.3439	0.0037
30	10.86	13.13	0.0650	0.3619	0.4377	0.0022	0.4072	0.2946	0.0052
35	12.87	14.39	0.0987	0.3678	0.4112	0.0028	0.4028	0.2520	0.0068
40	14.85	15.47	0.1397	0.3712	0.3867	0.0035	0.3952	0.2153	0.0082
45	16.77	16.39	0.1872	0.3728	0.3642	0.0042	0.3853	0.1839	0.0095
50	18.64	17.17	0.2405	0.3729	0.3434	0.0048	0.3740	0.1569	0.0107
55	20.45	17.84	0.2986	0.3719	0.3244	0.0054	0.3615	0.1338	0.0116
60	22.19	18.41	0.3607	0.3699	0.3068	0.0060	0.3485	0.1141	0.0124
65	23.87	18.90	0.4257	0.3672	0.2907	0.0065	0.3350	0.0973	0.0130
70	25.48	19.31	0.4929	0.3640	0.2759	0.0070	0.3214	0.0829	0.0134
75	27.02	19.66	0.5614	0.3602	0.2622	0.0075	0.3078	0.0706	0.0137
80	28.49	19.97	0.6304	0.3561	0.2496	0.0079	0.2943	0.0602	0.0138
85	29.89	20.22	0.6994	0.3517	0.2379	0.0082	0.2811	0.0513	0.0138
90	31.23	20.44	0.7677	0.3470	0.2271	0.0085	0.2681	0.0437	0.0137
95	32.51	20.63	0.8349	0.3422	0.2171	0.0088	0.2554	0.0372	0.0134
100	33.73	20.78	0.9006	0.3373	0.2078	0.0090	0.2431	0.0317	0.0131

### 3 结果与分析

#### 3.1 树种生长过程分析

由图 1 可以看出:解析木在整个生长期内的生长过程符合树木生长的一般规律,即胸径平均生长量的最大值比连年生长量的最大值出现的晚,而且在峰值后平均生长量总是大于连年生长量。山杨在树龄 10~40 a 间的胸径平均生长量小于连年生长量,在树龄 40 a 时,胸径平均生长量与连年生长量相等,胸径平均生长量达到了生长高峰,为 0.508 0

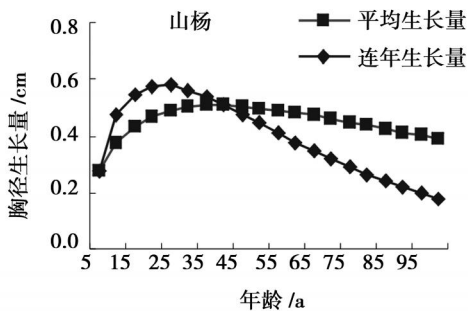


表 5 各类树种径阶组划分的标准

树种	径阶组 /cm				
	0~6	8~10	12~16	18~22	24以上
实生硬阔及针叶树	0~6	8~10	12~16	18~22	24以上
萌生硬阔叶树及软阔叶树	0~4	6~8	10~14	16~18	20以上

cm,此后连年生长量小于平均生长量,此时可以作为山杨间伐的分界点。相对于山杨树种,白桦树种胸径平均生长量出现峰值的年龄稍晚,在林龄 50 a,此时白桦胸径的年平均生长量最大值为 0.372 9 cm,且与胸径的平均生长量相等。

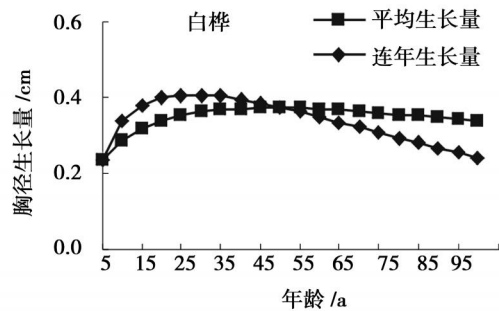


图 1 山杨与白桦的胸径生长量

从图 2 可以看出:山杨和白桦的材积连年生长量与平均生长量在早期生长缓慢,且它们的峰值出现较胸径的晚。在树龄 55 a 时,山杨的材积连年生长量达到峰值(0.0127 m<sup>3</sup>);在树龄 95 a 左右,山杨材积的连年生长量与平均生长量相交,山杨树种达

到了数量成熟龄,可以结合当地生产经营目标进行适当的主伐。白桦的材积连年生长量在树龄 80 a 时达到最大值(0.0138 m<sup>3</sup>),但是材积平均生长量和连年生长量尚未相交,即白桦树种的数量成熟龄在 100 a 之后。

### 3.2 杨桦次生林近期演替动向的分析

利用长白山杨桦次生林固定样地每木检尺的数据资料,根据研究方法中表 5 径阶组的划分标准,将

林分中各树种株数分别纳入各龄阶组,各树种在不同径阶组中的株数及其所占的比例见表 6。

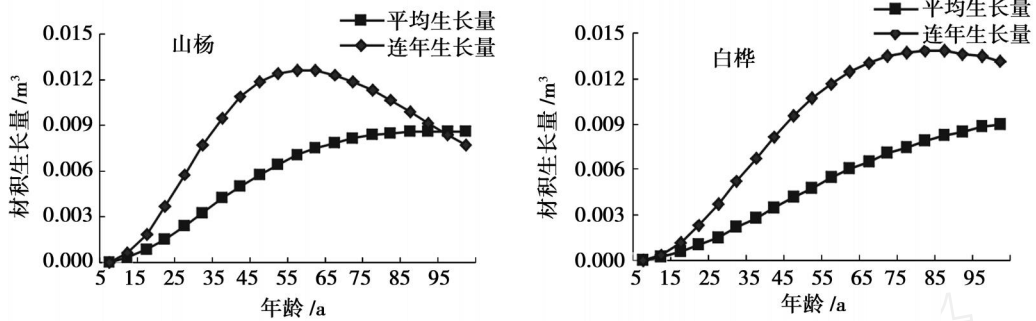


图 2 山杨与白桦的材积生长量

表 6 杨桦次生林演替动向

树种	林分中各树种在不同径阶组中的株数及其百分比										
	株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	%	株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	%	株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	%	株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	%	株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	%	合计 株数 / (株 · hm <sup>-2</sup> )
白桦	2	0.51	13	2.95	30	9.49	48	22.75	74	37.00	167
山杨	0	0.00	12	2.73	38	12.03	60	28.44	80	40.00	190
红松	43	10.86	41	9.32	34	10.76	10	4.74	6	3.00	134
冷杉	106	26.77	60	13.64	19	6.01	5	2.37	3	1.50	193
云杉	70	17.68	58	13.18	30	9.49	13	6.16	5	2.50	176
椴树	54	13.64	50	11.36	38	12.03	8	3.79	3	1.50	153
枫桦	12	3.03	33	7.50	32	10.13	23	10.90	8	4.00	108
榆树	43	10.86	34	7.73	25	7.91	10	4.74	5	2.50	117
槭树	12	3.03	31	7.05	11	3.48	0	0.00	0	0.00	54
色木	46	11.62	35	7.95	33	10.44	13	6.16	3	1.50	130
落叶松	0	0.00	4	0.91	4	1.27	8	3.79	7	3.50	23
水曲柳	8	2.02	69	15.68	22	6.96	13	6.16	6	3.00	118
总计	396	100	440	100	316	100	211	100	200	100	1 563

从表 6 可以看出:在杨桦次生林中,白桦与山杨为衰退树种,它们所占比重有随径阶组的增大而增大的趋势,小径阶所占的株数比例微乎其微,同时二者属于阳性先锋树种,随着林分内小径阶组所占比例比较大的树种的更新与生长,在未来的几十年会慢慢的淡退出该林分;红松、冷杉与云杉在小径阶中占有的比重比较大,它们是耐阴性的地带性顶极树种,将发展为顶极群落,将是杨桦次生林演替末期的主林层树种;椴树、榆树、枫桦、水曲柳和色木在林分中也占有一定的比重,但它们的径阶组分配不是很明显,在杨桦次生林演替的整体过程中都均能较好的生长,属于伴生树种;杨桦次生林中还出现的槭树、落叶松以及表 6 中没有统计出的黄菠萝、花楸等树种,在该林分中也有零星的分布,因为株数占整个林分株数的比重很小,在未来的杨桦次生林演替中

也不会占据很大的比重。由此可以推断,此杨桦次生林将逐渐演替为云、冷杉针阔混交林,其中阔叶树主要是椴树、色木和榆树。

## 4 结论和讨论

利用里查德 (Richards) 单木生长模型,预估杨桦次生林的胸径、树高及材积,模拟杨桦次生林的生长规律,其相关性较好,精度较高,有良好的实际应用效果。杨桦次生林内演替的先锋树种山杨及白桦的单木生长过程表明,山杨胸径平均生长量在树龄 40 a 时与胸径连年生长量相等,达到了最大值,此时可以作为山杨间伐的指标;在林龄为 95 a 时,山杨的材积连年生长量达到峰值 0.0127 m<sup>3</sup>,与连年生长量相等,可以结合当地生产经营目标进行主伐。白桦在树龄 50 a 时,胸径平均生长量达到最大值,

此时连年生长量等于平均生长量,可以作为白桦间伐的指标;材积连年生长量在 80 a 的时候达到最大值  $0.0138 \text{ m}^3$ ,在 100 a 范围内,白桦的材积平均生长量和连年生长量尚未相等,此结论与吉林森林<sup>[13]</sup>中关于白桦的生长规律中的研究相符。

杨桦次生林处于向顶极演替的过渡阶段,整个林分最终会朝着最优的顶极林分结构方向发展。现阶段杨桦次生林的演替动向为先锋树种山杨及白桦正慢慢处于衰退趋势,而红松、云杉和冷杉等阴性树种是未来林分顶极优势树种,林分内椴树、枫桦及榆树等伴生树种正在朝稳定的方向发展。目前长白山杨桦次生林正在逐步演替为云、冷杉针阔混交林,此过程为演替到原始顶级林型的一个过渡阶段。因此,根据森林次生林演替规律,分树种来制定采伐方案,并用人工促进天然乡土树种更新,从而加速杨桦次生林向原生植被的恢复进程,使大面积次生林在人为干预下尽快恢复成地带性顶极群落,从而达到长白山地区森林生态系统的平衡,以此调节树种组成和防止逆行演替,使其向更稳定的顶极森林生态系统方向发展。

#### 参考文献:

- [1] 朱教君,刘世荣. 次生林概念与生态干扰度 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1085 - 1093
- [2] Grau H R, Arturi M F, Brown A D, *et al* Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in argentinean subtropical montane forests [J]. *For Ecol Manag*, 1997, 95: 161 - 171
- [3] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. *Science*, 1978, 199: 1302 - 1310
- [4] 李国猷. 北方次生林经营 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 1 - 5
- [5] 刘传照,李兆全. 杨桦林下的生境条件与红松天然更新的研究 [J]. 东北林业大学学报, 1987, 15 (4): 22 - 28
- [6] 宋新章,张智婷,肖文发,等. 长白山杨桦次生林采伐林隙幼苗更新动态 [J]. 林业科学, 2008, 44 (3): 13 - 20
- [7] 王旭,周广胜,蒋延玲. 山杨白桦混交次生林与原始阔叶红松林土壤呼吸作用比较 [J]. 植物生态学报, 2007, 31 (3): 348 - 354
- [8] 李雪峰,张岩,牛丽君,等. 长白山白桦 (*Betula platyphlla*) 纯林和白桦山杨 (*Populus davidiana*) 混交林凋落物的分解 [J]. 生态学报, 2007, 27 (5): 1782 - 1790
- [9] 兰士波. 天然杨桦林密度效应的研究 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31 (2): 83 - 87
- [10] 于振良,赵士洞,王庆礼,等. 长白山阔叶红松林带内杨桦林动态模拟 [J]. 应用生态学报, 1997, 8 (5): 455 - 458
- [11] 孟宪宇. 测树学 (第 3 版) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005
- [12] 张颂云. 长白山地区次生林演替规律的研究 [C] // 中国科学院长白山森林生态系统定位站. 森林生态系统研究. 北京: 中国林业出版社, 1983 (3): 44 - 54
- [13] 《吉林森林》编辑委员会. 吉林森林 [M]. 吉林: 吉林科学技术出版社, 中国林业出版社, 1988: 231 - 245