

冀北山地落叶松四种典型林分生长发育比较研究

张 宁¹, 郭宾良², 张 楠³, 肖志军³, 张宝祥³, 张建华³, 谷建才¹

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 保定市林业局,
河北 保定 071000; 3. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北 承德 068450)

摘 要: 为了比较落叶松 4 种林分的生长发育的优劣, 对冀北山地落叶松 4 种典型林分生长过程和各类型林分生长过程比较分析, 结果表明: (1) 在林分 A-D 中落叶松生长状况为林分 D>林分 C>林分 B>林分 A; 白桦的生长状况为林分 D>林分 C≈林分 B; 山杨生长状况为林分 D>林分 C; (2) 同一林分中年龄相近的林分, 林分 B 中的白桦好于落叶松的生长状况, 林分 C 中的白桦和山杨好于落叶松, 林分 D 中的白桦前期长势最好, 其次落叶松和山杨, 云杉由于刚刚进入中龄林, 生长力相对较弱, 并逐渐加强, 最终成为优势树种。

关键词: 冀北山地; 落叶松; 白桦; 生长发育

中图分类号: S758.5⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0269-07

Comparative Study on Growth and Development of Four Typical Larch Stands in Mountain Area of Northern Hebei

ZHANG Ning¹, GUO Binliang², ZHANG Nan³, XIAO Zhijun³,
ZHANG Baoxiang³, ZHANG Jianhua³, GU Jiancai¹

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Forestry Bureau of Baoding, Hebei 071000, China; 3. Mulan-Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Chengde, Hebei 068450, China)

Abstract: In order to compare the growth and development of the merits of the four stands of larch, growth processes of four typical different types of larch stand and various types of the other stands in mountain area of northern Hebei were comparatively analyzed. The results show that: (1) in the stands of A-D, the order of the larch growth condition is stand D>stand C>stand B>stand A; the order of birch growth conditions is stand D>stand C or stand B; the order of aspen growth conditions is stand D>stand C; (2) the same stand in similar age stand, in stand B the larch growth is better than the white birch, in stand C the birch and aspen are better than larch, the birch of stand D grow is the best at early stage, followed by larch and aspen, due to the spruce just entering middle age, relative weak growth, gradually strengthening, spruce eventually became the dominant species.

Keywords: mountain area of north Hebei; larch; birch; growth and development

冀北山地生态交错带现有华北落叶松人工林主要是 20 世纪 60 年代以来营造的, 自 20 世纪 90 年代以来, 由于政策、规程等原因, 天然林蓄积消耗受到诸多限制, 对这些混交林只采取了以封育为主的经营措施, 这些落桦混交林已经形成了高密度、高分化、低生产力的混交林^[1]。华北落叶松目的树种严重被压乃至枯死, 上层白桦、山杨等阔叶树林相残破, 大部分林木个体生长量下降, 低效残次林增加, 林分生态效能低, 严重影响了资源培育和可持续发展步伐^[2]。还有

一部分林分也是针阔混交, 但上层林针叶树种除了华北落叶松外, 还有表现优良的云杉, 经过 2~3 次择伐后, 在近二十几年的时间里形成的林分结构较好, 林分的生长状况也比较好, 林分株数分布以小径木为多。这样的林分兼顾了保护和利用, 实现了森林多种效益的共赢, 应该是森林经营的方向^[3]。

本研究针对这些问题, 以该地区落叶松纯林、落桦混交林、落阔混交林、杉落针阔混交林作为研究对象。根据研究的内容情况, 以下研究中: A 代表华北落叶松

纯林;B 代表着华北落叶松和白桦混交林;C 代表着落叶松和阔叶混交林;D 代表着华北落叶松和云杉以及阔叶树种的针阔混交林。以 4 个林分典型的落叶松林分作为研究对象,对 4 个林分的生长发育状况进行分析,通过比较分析得出生长发育比较好的林分,解决围场低效林分的面积,以期为木兰围场生态交错带杉落针阔混交林经营提供理论依据和技术支撑^[4]。

1 研究区概况

本次调查是在承德木兰围场的北沟林场进行,木兰围场坐落于河北省东北部,地处滦河上游,41°47′—42°06′N,116°51′—117°45′E。东与内蒙古赤峰市接壤,南及西南与隆化、丰宁两县连接,北与内蒙古浑善达克沙地毗邻。位于阴山山脉与大兴安岭山脉余脉的交汇处,是连接坝上高原和冀北山地的丘陵山地地带。木兰围场所处的地理位置决定了其必然要担负起护卫京津生态安全这一重任。

因其地处滦河上游,对下游地区的树木生长和水源涵养影响甚重;又因其卡在浑善达克沙地和北京中间地带,像一道天然的绿色屏障,阻挡着浑善达克沙地向北京进军的风沙。在京津地区生态环境安全方面,木兰围场起着重大作用,因此对木兰围场的森林植被进行恢复与保护势在必行。木兰围场林管局共有 10 个林场,北沟林场属于其一,北沟林场自 1956 年开始建立,林场总经营面积 5 730 hm²,森林主要乔木树种有白桦、山榆、华北落叶松、山杨、蒙古栎、五角枫、榆树等;灌木种类较多,且量较大,丰富多样,以绣线菊灌丛、照山白最为常见;林分类型主要包含:天然林(常见树种有杨树、桦树、落叶松等)、人工林(常见树种有山榆、落叶松、杨树等)、针阔混交林,林分面积分别为 1 485.6,1 180.5,1 560.9 hm²。活立木的蓄积总量和森林覆盖率达到 284 104 m³,88%,年采伐蓄积 5 000 m³ 左右,表 1 为 4 种林分 2012 年的概况^[5-6]。

表 1 样地基本情况

样地	林分类型	主要树种	树高/m		胸径/cm		林龄/ a	土壤	坡向	坡度/ (°)	海拔/ m	郁闭度
			均值	标准差	均值	标准差						
A	落叶松纯林	落叶松	13.4	4.97	18.6	5.06	25~35	山地棕壤	阴坡	19	1283	0.88
B	落桦混交林	落叶松	10.8	5.31	18.4	5.97	25~35	山地棕壤	阴坡	20	1294	0.79
		白桦	16.2	4.85	21.5	7.74						
		落叶松	14.3	4.16	17.7	9.03						
C	落阔混交林	白桦	15.0	3.67	20.7	20.20	25~35	山地棕壤	阴坡	19	1284	0.82
		山杨	15.2	4.60	25.1	5.38						
		云杉	14.4	3.03	24.7	11.40						
D	落杉针阔混交林	落叶松	13.3	2.98	18.3	6.01	25~35	山地棕壤	阴坡	20	1296	0.85
		白桦	12.7	4.70	20.2	8.24						

2 研究内容和方法

2.1 研究目标

本文设置的样地为冀北山地生态交错带最为常见的落叶松林,选取落叶松纯林、落桦、落阔、杉落针阔这些具有代表性的林分,详细的调查不同林型内的林木情况,分析不同类型落叶松林林分的生长状况^[7-8],系统研究不同林分同一树种的生长和同一林分各树种生长的区别,并进行比较,为试验区落叶松的健康经营提供一定的理论依据^[9-10]。

2.2 研究方法

2.2.1 样地调查及布设 经过全方位勘察,在 1994 年、2000 年、2009 年进行了 3 次采伐并从中获取相关的数据,采伐的强度依次为 30%,20%,20%,要求必须严格遵守生长量大于采伐量,采伐方式具体为卫生伐、生长伐、定向目标伐和大强度抚育^[11]。并于 2005 年、2013 年的夏天在河北省承德围场县的北沟林场实际调查标准地情况,在西色树沟阴坡设置天然落叶

松的标准固定样地,选取 4 块面积 100 m×100 m 的样地。在做样地植被调查工作之前,对样地的一些基本情况进行了解,如海拔、地形、地理位置、样地的坡位以及林分郁闭度等。这 3 年的试验数据中,本文以 2012 年为主。

在适当的位置设置样地的原点,然后辅助设备(罗盘仪、全站仪)划定样地边界,每条边界长为 100 m,接着将每条边界五等分,画出节点,并用玻璃绳连接,因此就将样地划分成了 25 个小的样方,每个样方大小相等,即 20 m×20 m,逐次编号,最后将边界用铁丝网、水泥桩固定。

2.2.2 主要研究方法 生长率是树木生长的指标,是树木某项调查因子在某一段时期的生长量与总量之比的百分数。按调查因子可分:胸高断面积连年(定期)生长率、胸径连年(定期)生长率、形数连年(定期)生长率、树高连年(定期)生长率等。生长率的大小表示林木在某一阶段生长力旺盛的程度。一般用以比较不同树种或同一树种在不同条件下的生长速

度,以及预估未来的生长量。林木幼年时期因总生长量小而生长率达到最高。在树木不断生长加粗的后期,虽然生长量不变或略有增加,生长率也会因为总生长量的增大而降低。

本文以材积为例,计算各种生长量及生长率。令 t 为调查时的树龄; n 为间隔年限; V_t 为 t 年时的树干材积; V_{t-n} 为 n 年前的树干材积。总生长量是树木最基本的材积生长量,就是以调查日期为截止,以栽植之日为起始的时间段内树木生长的总材积量。设 t 年时树木的材积为 V_t ,则 V_t 就是 t 年的总生长量。定期生长量习惯用 Z_n ,它代表树木在一个时间段(n)内的材积增长量。设树木目前的材积为 V_t , n 年前的材积为 V_{t-n} ,则在 n 年间的材积定期生长量为:

$$Z_n=V_t-V_{t-n} \tag{1}$$

连年生长量用 Z 来表示,它反映了树木在一整年内所生长的材积总和,即

$$Z=V_t-V_{t-1} \tag{2}$$

连年生长量数值一般很小,较难测定,通常用定期平均生长量代替。定期平均生长量就是在定期时间段内树木每年的平均生长量,也就是定期生长量除以年数,以 θ_n 表示,即

$$\theta_n=\frac{V_t-V_{t-n}}{n} \tag{3}$$

材积生长率是树木材积的连年生长量与其总生长量的百分比,即

$$P(t)=\frac{Z(t)}{y(t)}\times 100\% \tag{4}$$

式中: $y(t)$ ——树木的总生长方程; $P(t)$ ——树木在年龄 t 时的生长率。

3 结果与分析

3.1 主要林分的生长过程分析

3.1.1 落叶松纯林 对落叶松纯林进行解析木采集和分析。从图 1 可以看出,落叶松纯林中落叶松采伐后生长趋势明显加快,在 1994—1998 年呈上升趋势,1998 年达到最大值生长率 11.79%,之后迅速下降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年树木生长较慢,2005 年的生长率最大值为 8.19%,2009 年出现最小生长量(3.65%);在 2009 年采伐后,出现快速生长,2010—2012 年生长率依次为 6.84%,9.12%,6.10%,其百分比比较 2009 年提高 1.87,2.5,1.67 倍,说明其生长速度随生长空间增大而加快。

3.1.2 落桦混交林 对落桦混交林进行解析木采集和分析。从图 2 中可以看出,落桦混交林中落叶松采伐后生长趋势明显加快,在 1994—1998 年呈上升趋势,1998 年达到最大值生长率 13.64%,之后迅速下

降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年由于天气等原因树木生长较慢,2005 年的生长率最大值为 8.25%,2007 年出现最小生长量(4.82%);在 2009 年采伐后,出现快速生长,2010—2012 年生长率依次为 8.40%,10.47%,9.55%,其百分比比较 2009 年分别提高 1.40,1.74,1.59 倍,说明其生长速度随生长空间增大而加快。

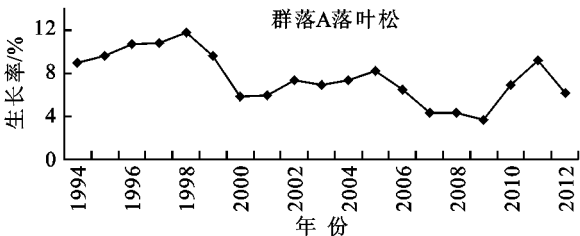


图 1 1994—2012 年落叶松生长过程曲线

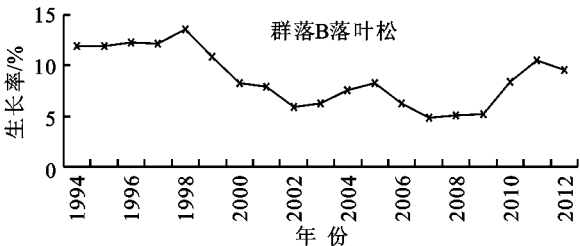


图 2 1994—2012 年落叶松生长过程曲线

由图 3 可以看出,落桦混交林中白桦采伐后生长趋势不太明显,在 1995—1998 年呈较慢的上升趋势,1998 年达到最大值生长率 18.61%,之后迅速下降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年由于天气等原因树木生长较慢,2005 年的生长率最大值为 12.82%,2008 年出现最小生长量(7.27%);在 2009 年采伐后,出现快速生长,2010—2012 年生长率增加较小,其百分比依次为 8.30%,7.00%,7.40%,其百分比比较 2009 年分别提高 1.09,0.92,0.97 倍,说明其生长速度随生长空间增大而加快,但是增长缓慢。

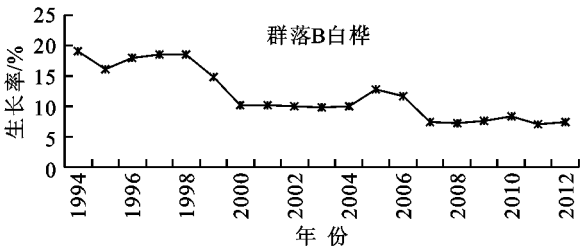


图 3 1994—2012 年白桦生长过程曲线

3.1.3 落阔混交林 对落阔混交林进行解析木采集和分析。从图 4 中可以看出,落阔混交林中落叶松采伐后生长趋势明显加快,在 1994—1998 年呈上升趋势,1996 年达到最大值生长率 17.75%,1998 年之后迅速下降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年由于天气等原因树木生长较慢,2005 年的生长率最大值为 10.94%,2008 年出现最小生长量(5.47%);

在2009年采伐后,出现快速生长,2010—2012年生长率依次为8.40%,11.15%,10.18%,其百分比比较2009年分别提高1.14,1.52,1.39倍,说明其生长速度随着生长空间增大而加快。

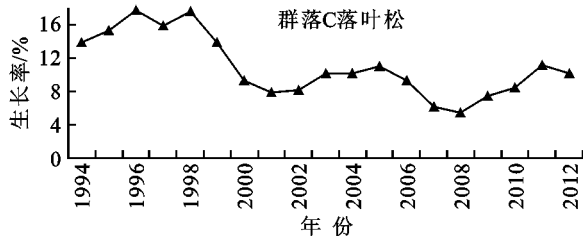


图4 1994—2012年落叶松生长过程曲线

从图5中可以看出,落阔混交林中白桦采伐后生长下降趋势明显,可能是由于白桦的树龄较小(34 a),在1995—1999年呈较慢的先下降后上升的趋势,1995年达到最大值生长率19.91%,之后突然迅速下降再缓慢上升;在2000年进行采伐,但是2000—2009年由于天气等原因树木生长较慢,2001年出现略微上升,且生长率最大值为15.95%,2009年出现最小生长量(6.46%);在2009年采伐后,出现快速生长,2010—2012年生长率先略微有所减小后又有较小的增加,其百分比依次为7.60%,8.40%,8.70%,为2009年百分比的1.18,1.30,1.35倍,说明白桦生长速度由于生长空间增大而生长速度略有变化,2009年后白桦有所增长。

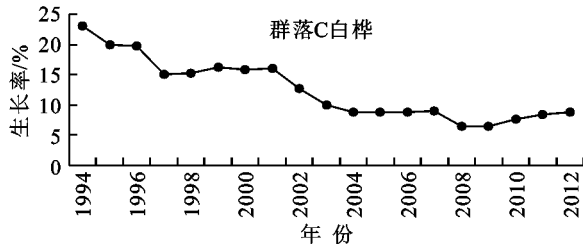


图5 1994—2012年白桦生长过程曲线

从图6中可以看出,落阔混交中山杨采伐后生长下降趋势较明显,采伐的杨树为37 a,根据河北省商品林林龄组划分表确定采伐时为近熟林,在1995—1999年呈较慢的下降趋势,1995年达到生长率最大值15.58%,之后缓慢下降;在2000年进行采伐,但是2000—2009年由于天气等原因使树木生长较慢,2001年出现略微上升,且生长率最大值为14.88%,2009年出现最小生长量(5.20%);在2009年采伐后生长较快,2010—2012年生长率有较小的增加,其百分比依次为6.40%,6.00%,7.90%,是2009年百分比的1.23,1.15,1.52倍,说明山杨由于生长空间增大而生长速度加快,在2009年后山杨增长明显。

3.1.4 杉落针阔混交林 对杉落针阔混交林进行解析木采集和分析。从图7中可以看出,杉落针阔混交

林中落叶松3次采伐后整体表现出明显加快的生长趋势,在1995—1999年生长趋势略有所上升,在1998年达到最大值生长率17.20%,1999年之后迅速下降;在2000年进行采伐,但是2000—2009年由于天气等原因使树木生长先较慢增加后又下降,2003年的生长率最大值为13.17%,2007年出现最小生长量(7.60%);在2009年采伐后,出现快速生长,2010—2012年生长率依次为9.04%,11.60%,11.60%,其百分比比较2009年提高1.15,1.47,1.47倍,说明其生长速度由于生长空间增大而加快。

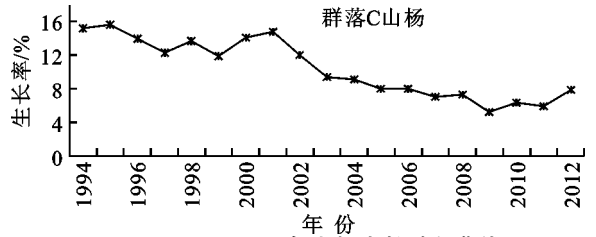


图6 1994—2012年山杨生长过程曲线

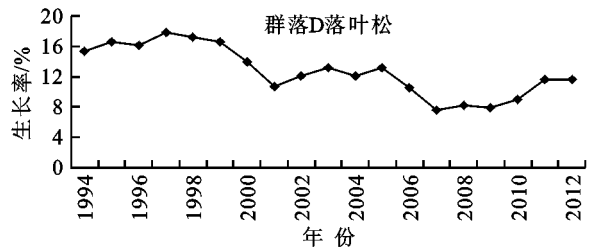


图7 1994—2012年落叶松生长过程曲线

从图8中可以看出,杉落针阔混交林中白桦前两次采伐后生长下降趋势明显,在2009年采伐后生长量有所上升,在1995—1999年呈较慢的先下降后上升的趋势,1995年达到最大值生长率23.10%,之后生长趋势先下降再上升再下降;在2000年进行采伐,但是2000—2009年由于天气等原因使树木生长较慢,2001年出现略微下降,2001—2005年之间生长率变化范围为10.90%~12.60%,变化范围较小表现出良好的长势,且2004年生长率最大值为12.60%,2006年出现最小生长量(6.00%);在2009年采伐后,出现快速生长,2010—2012年生长率有较小增加,其百分比依次为12.60%,10.73%,11.90%,是2009年百分比的1.29,1.10,1.21倍,说明白桦的生长速度由于生长空间增大而略有变化。

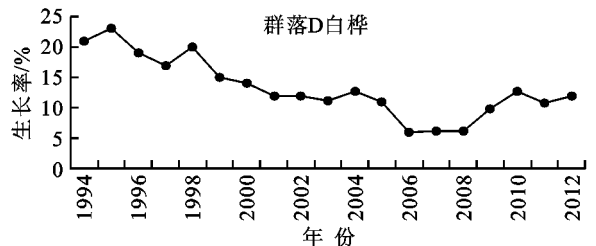


图8 1994—2012年白桦生长过程曲线

从图 9 中可以看出,杉落针阔混交林中山杨采伐后生长下降趋势较明显,3 次采伐后都有明显的生长率升高趋势,采伐时杨树树龄 37 a,为近熟林,在 1995—1999 年呈较慢的下降趋势,1995 年达到最大值生长率 19.74%,之后缓慢下降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年由于天气等原因树木生长较慢,2001 年出现略微上升,且生长率最大值为 11.53%,2007 年出现最小生长量(5.62%);2009 年采伐后生长较快,2010—2012 年生长率增加较小,其百分比依次为 7.25%,7.49%,7.87%,分别为 2009 年百分比的 1.19,1.31,1.30 倍,说明山杨生长速度由于生长空间增大而加快,采伐后山杨均增长比较明显,尤其是 2009 年采伐后。

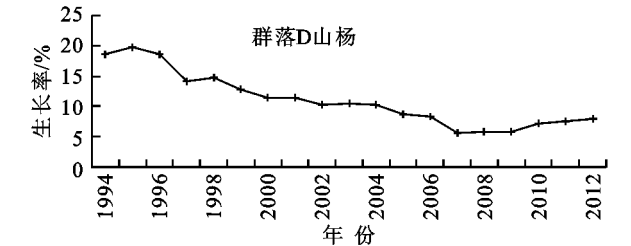


图 9 1994—2012 年山杨生长过程曲线

从图 10 中可以看出,杉落针阔混交林中云杉采伐后生长下降趋势较明显,3 次采伐后都有明显的生长率升高趋势。采伐时云杉的树龄为 45 a,为中龄林,在 1995—1999 年呈较慢下降趋势,1995 年达到生长率最大值 17.71%,之后缓慢下降;在 2000 年进行采伐,但是 2000—2009 年由于天气等原因树木生长较慢,2001 年出现略微下降,且生长率最大值为 12.13%,2004 年出现最小生长量(5.30%);在 2009 年采伐后生长较快,2010—2012 年生长率增加较小,其百分比依次为 5.20%,6.37%,6.33%,分别是 2009 年百分比的 1.21,1.48,1.47 倍,说明山杨生长速度由于生长空间增大而加快,采伐后云杉均增长比较明显,尤其是 1994 年和 2009 年采伐后生长率增长明显。

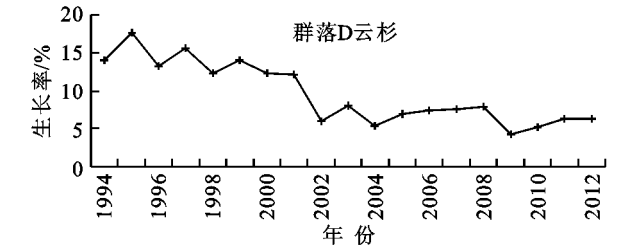


图 10 1994—2012 年云杉生长过程曲线

3.2 主要林分生长过程比较分析

3.2.1 各林分同一树种生长过程比较 根据各林分中相同树种进行比较,分别对各林分中落叶松、白桦、山杨 1994—2012 年的生长过程进行比较。各树种在各林分生长过程曲线见图 11。

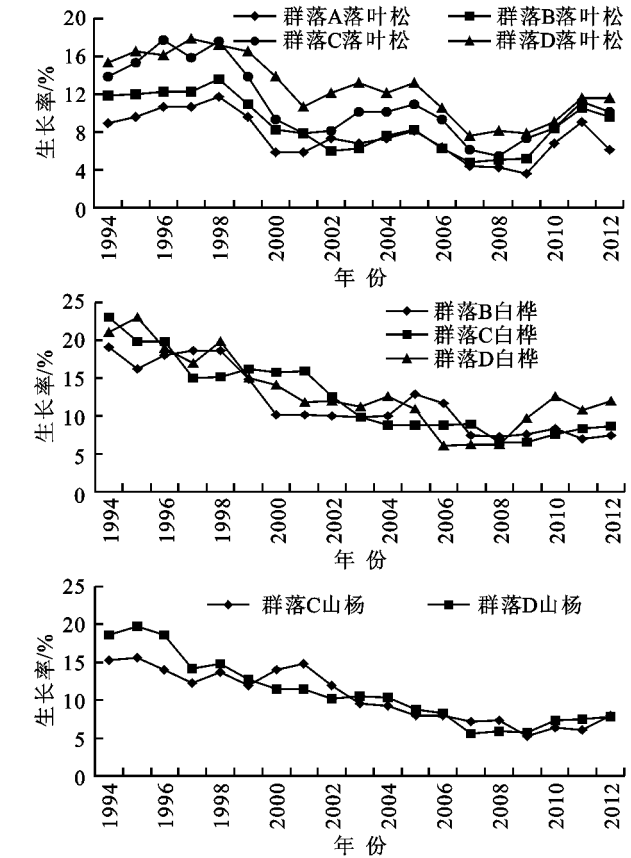


图 11 1994—2012 年各林分落叶松生长过程曲线

由图 11 可以看出,林分 D 的落叶松生长趋势明显,1994—2012 年的生长曲线都好于林分 A—C 的落叶松。其次是林分 C 的落叶松生长过程好于林分 A—B 的落叶松生长过程。而林分 B 的落叶松生长过程部分好于林分 A 的落叶松生长,2003—2006 年出现重合和缓慢现象。

在 1994—1999 年时,经过 1994 年的间伐后,生长率都有所上升,1995—1999 年平均生长率依次为林分 D>林分 C>林分 B>林分 A,其生长率差别明显;2000 年进行第二次采伐,其生长率也有所上升,但由于气候和生长规律等因素影响,在 2001—2008 年平均生长率依次为林分 D>林分 C>林分 B>林分 A,其生长率差别较明显;2009 年进行第三次采伐,生长率比第二次采伐所上升,在 2010—2012 年平均生长率依次为林分 D>林分 C>林分 B>林分 A,其生长率差别较明显,混交林林分 B—D 的树木生长较快,纯林林分 A 的树木生长比混交林分 B—D 慢。

由图 11 可以看出,林分 B—D 的白桦生长过程都处于相互交错的状态,在 1994—2008 年的生长曲线林分 B—D 的白桦生长过程中林分 B 略显弱势。林分 B 和林分 C 的白桦生长过程相似,相互交错。2009—2012 年时,出现了生长率曲线的差距,其排序为林分 D>林分 C≈林分 B。

1994—1999年时,经过1994年的间伐后,生长率表现不稳定,起伏比较大,1995—1999年平均生长率依次为林分D>林分C>林分B,其生长率差别不太明显;2000年进行第二次采伐,其生长率也有所上升且上升不明显,但由于气候和生长规律等因素影响,在2001—2008年平均生长率依次为林分D>林分B>林分C,其生长率差别不明显;2009年进行第三次采伐,生长率比第二次采伐有所上升,在2010—2012年平均生长率依次为林分D>林分C>林分B,其生长率差别较明显。混交林林分B—D的白桦树木生长出现交错现象,各阶段生长率的平均值都为林分D>林分C>林分B。

从图11可以看出,林分C—D的山杨生长过程曲线都处于相互交错的状态,在1994—1999年的生长曲线,林分C比林分D的山杨生长过程高于林分C,且优势明显。在2000—2008年,林分C和林分D的山杨生长过程处于相互交错的状态,林分C山杨的生长率高于林分D山杨的生长率。2009—2012年时,生长率曲线差距明显,其排序为林分D>林分C。

1994—1999年,经过1994年的间伐后,其生长率呈先上升后下降,1995—1999年平均生长率依次为林分D(15.85)>林分C(13.55),其生长率差别比较明显;2000年进行第二次采伐,其生长率也有所上升且上升不明显之后下降,但由于气候和生长规律等因素影响,2001—2008年平均生长率依次为林分D(8.70)>林分B(9.30),其生长率差别不明显;2009年进行第三次采伐,生长率比第二次采伐有所上升,2010—2012年平均生长率依次为林分D(7.69)>林分C(6.77),其生长率差别较明显。混交林林分C—D的白桦树木生长出现交错现象,从各阶段平均值比较可以看出各林分的生长过程次序依次为D>林分C。

3.2.2 同一林分中各树种生长过程比较 分别以林分A—D为单位,比较该林分内树种生长情况,对1994—2012年林分B中落叶松、白桦;林分C中落叶松、白桦、山杨;林分D中的云杉、落叶松、白桦、山杨的生长过程进行比较。林分A—D中不同树种之间的生长过程曲线见图12。

林分B中主要有白桦(36 a)和落叶松(37 a)两个树种,从图12中可以看出落叶松的生长曲线低于同时期白桦的生长曲线,2011年、2012年的落叶松生长率高白桦,这符合白桦和落叶松的生长规律,白桦作为先锋树种,前期生长速度快,而落叶松属于慢生树种,在该林龄中落叶松的生长率要低于白桦。

林分C中主要有落叶松(45 a)、白桦(40 a)和山

杨(37 a)3个树种,从图12中可以看出落叶松的生长曲线在1994年采伐后增长迅速,出现一个高峰期,之后迅速下降。林分C的白桦与林分B中的白桦生长过程相似,作为先锋树种表现出很强的生长力,白桦的生长率在2002年之前一直都是在12%以上。作为另一种先锋树种的杨树,在混交林中也保持着很强的生长力,其生长率在2002年之前一直都是在11%以上,经2009年采伐后,出现小范围快速生长。林分C的白桦和杨树作为先锋树种,前期生长迅速,且生长率高于同时期落叶松,而落叶松进入中龄林后生长迅速,逐渐超过白桦和杨树。

林分D中主要有云杉(45 a)、落叶松(36 a)、白桦(35 a)和山杨(37 a)4个树种,从图12中可以看出落叶松的生长曲线在1994年采伐后增长迅速,出现一个高峰期,之后迅速下降。林分D的白桦与林分B、C中的白桦生长过程相似,作为先锋树种依然表现出很强的生长力,除2006—2008年,其他年份白桦的生长率一直都是在10%以上。作为另一种先锋树种的杨树,在混交林中也保持着很强的生长力,其生长曲线在2007年时达到最低(5.62%),经2009年采伐后,出现一小范围的快速生长。林分D中的云杉生长过程弱于其他3种树,这是由于云杉生长较慢,刚刚从幼龄林进入中龄林,生长开始逐渐加快。

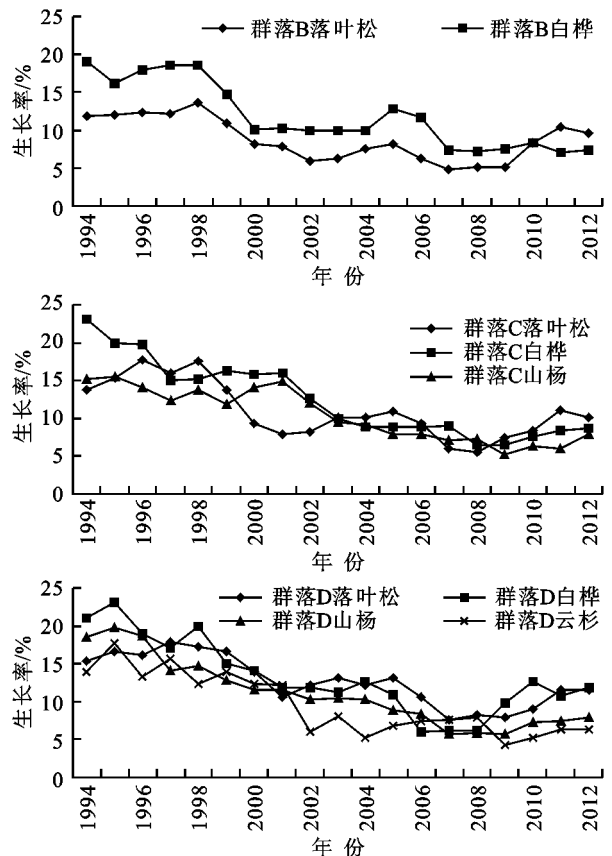


图12 1994—2012年各树种生长过程曲线

4 结 论

(1) 混交林林分 A—D 的落叶松生长曲线比较明显可以看出:林分 D>林分 C>林分 B>林分 A。混交林林分 B—D 的白桦树木生长出现交错现象,从各阶段平均值比较可以看出各林分的生长过程次序依次为:林分 D>林分 C>林分 B。山杨生长过程曲的排序为:林分 D>林分 C。而杉落针阔混交林比纯林和其他形式的混交林分具有更高的演替度和稳定性。

(2) 同一林分下年龄相近的各树种表现出:林分 B 中的白桦长势好于落叶松,林分 C 中的白桦和杨树好于落叶松,林分 D 中的白桦前期长势最好,其次落叶松和山杨,云杉由于处于刚刚进入中龄林,生长力相对较弱,并逐渐加强。

参考文献:

[1] 付恒良,王树明. 穆稜林区天然次生林演替特点及天然更新[J]. 林业科技,1997,22(2):18-21.

[2] 龚直文,顾丽,亢新刚,等. 长白山森林次生演替过程中林木空间格局研究[J]. 北京林业大学学报,2010,32

(2):92-99.

[3] 康春国. 承德避暑山庄木兰围场地理及植物分析[J]. 森林工程,2003,19(3):7-8.

[4] 雷向东,陆元昌,张会儒,等. 抚育间伐对落叶松杉落混交林的影响. 林业科学,2005,41(4):78-85.

[5] 王鹏,陈丽华,卞西陈,等. 北沟林场天然次生林群落结构与种群分布格局[J]. 应用生态学报,2011,22(7):1668-1674.

[6] 梁文俊,丁国栋,韦立伟,等. 落叶松人工林密度对林木生长的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(4):79-81.

[7] 赵国武. 华山松生长规律的调查研究[J]. 辽宁林业科技,1994(1):30-31.

[8] 王庆锁,罗春菊,张希和. 坝上、坝下白桦林林分结构和生长规律[J]. 北京林业大学学报,2000,22(3):96-98.

[9] 亢新刚,崔相慧,王虹. 冀北次生林 3 个树种林分生长过程表的编制[J]. 北京林业大学学报,2001,23(3):39-42.

[10] 谷建才. 华北土石山区典型区域主要类型森林健康分析与评价[D]. 北京:北京林业大学,2006.

[11] 李春明,杜纪山,张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究[J]. 林业科学研究,2003,16(5):636-641.



(上接第 268 页)

[7] 周伟,王晓洁,关庆伟,等. 基于二类调查数据的森林植被碳储量和碳密度:以徐州市为例[J]. 东北林业大学学报,2012,40(10):71-74.

[8] 张茂震,王广兴,刘安兴. 基于森林资源连续清查资料估算的浙江省森林生物量及生产力[J]. 林业科学,2009,45(9):13-17.

[9] Fang J, Chen A, Peng C. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science,2001,292(5525):2320-2322.

[10] Shvidenko A, Nilsson S. Dynamics of russian forests and the carbon budget in 1961-1998: An assessment based on long-term forest inventory data [J]. Climatic Change,2002,55(1/2):5-37.

[11] Woodbury P B, Smith J E, Heath L S. Carbon sequestration in the U. S. forest sector from 1990 to 2010 [J]. Forest Ecology and Management,2007,241(1):14-27.

[12] Chen J, Chen W, Liu J, et al. Annual carbon balance of Canada's forests during 1895-1996[J]. Global Biogeochem Cycles,2000,14(3):839-849.

[13] 王新闯,齐光,于大炮,等. 吉林省森林生态系统的碳储量、碳密度及其分布[J]. 应用生态学报,2011,22(8):2013-2020.

[14] 毕君,王超,李联地,等. 基于 IPCC 的河北省 2005 年森

林碳储量[J]. 东北林业大学学报,2011,39(12):36-39.

[15] 任德智,葛立雯,同延玲,等. 陕西省宜君县森林碳密度及空间分布格局研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(1):155-162.

[16] 张萍. 北京森林碳储量研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.

[17] 李海奎,雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京:中国林业出版社,2010.

[18] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报,1996,16(5):497-508.

[19] 王超,毕君,宋熙龙,等. 太行山区刺槐林的生物量与碳汇量[J]. 中国农学通报 2013,29(4):14-18.

[20] 王光华,刘琪璟. 基于 TM 影像和森林资源二类调查数据的北京森林碳汇估算[J]. 应用基础与工程科学学报,2013,21(2):224-235.

[21] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报,2001,12(1):13-16.

[22] Cheng C H, Hung C Y, Chen C P, et al. Biomass carbon accumulation in aging Japanese cedar plantations in Xitou, central Taiwan [J]. Botanical Studies,2013,54(1):1-9.

[23] 林清山,洪伟. 中国森林碳储量研究综述[J]. 中国农学通报,2009,25(6):220-224.