华北落叶松人工林质量精准提升中的树种选择研究

曳水瑛[1,2]，董 刚[3,1]，邵长亮[4]，刘 勇[1]

(1. 山西大学 黄土高原研究所，山西 太原 030006；2. 山西省林业调查规划院，山西 太原 030012；
3. 山西大学 生命科学学院，山西 太原 030006；4. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所，北京 100081)

摘 要：[目的] 研究山西省北部人工华北落叶松纯林质量精准提升中的树种混交策略，为该地区的森林经营提供参考。[方法] 在管涔山设置华北落叶松不同混交模式和不同起源的固定样地，2010 年和 2015 年夏分别对样地内胸径≥5.0 cm 的样木进行每木检尺。采用单因素方差分析和 t 检验比较不同起源、不同混交模式下混交树种生长量的差异显著性。[结果] ①与华北落叶松混交的树种，胸径生长量 ΔD 表现为：$\Delta D_{白桦}>\Delta D_{白杆}>\Delta D_{山柳}$，胸高断面积生长量 ΔS 表现为：$\Delta S_{白桦}>\Delta S_{白杆}>\Delta S_{山柳}$，蓄积生长量 ΔV 表现为：$\Delta V_{白桦}\approx\Delta V_{白杆}>\Delta V_{山柳}$。②不同混交模式下，华北落叶松的 ΔS 和 ΔV 差异不显著。③天然中幼林条件下，混交树种的生长量为：白杆>白桦>山柳；人工中幼林条件下，混交树种的生长量白桦最大。④白杆与天然华北落叶松混交的生长量大于与人工华北落叶松混交，白桦与人工华北落叶松混交的生长量大于与天然华北落叶松混交。[结论] 在人工华北落叶松纯林的幼龄阶段，林间空地栽植白桦，构建华北落叶松—白桦斑块混交结构。通过针阔树种的混交，营造较为稳定、接近天然状态的生态环境。当白桦生长量下降、生态功能减弱后，采伐长势不良的白桦，在林冠下层补植白杆，形成稳定的华北落叶松—白杆混交、复层、异龄林。

关键词：人工华北落叶松林；森林质量精准提升；树种选择；林木生长量；混交复层异龄林

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)06-0162-07 **中图分类号**：S750

文献参数：曳水瑛，董刚，邵长亮，等. 华北落叶松人工林质量精准提升中的树种选择研究[J]. 水土保持通报，2018，38(6)：162-168. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.025. Ye Shuiying, Dong Gang, Shao Changliang, et al. Selection of tree species in accurate quality improvement of *Larix Principis-rupprechtii* plantation[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 162-168.

Selection of Tree Species in Accurate Quality Improvement of *Larix Principis-rupprechtii* Plantation

YE Shuiying[1,2], DONG Gang[3,1], SHAO Changling[4], LIU Yong[1]

(1. *Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi* 030006, *China*;
2. *Shanxi Institute of Forest Inventory and Planning, Taiyuan, Shanxi* 030012, *China*;
3. *School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi* 030006, *China*;
4. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: [Objective] The tree species mixation strategy in accurate quality improvement of *Larix principis-rupprechtii* plantation was studied in order provide reference for the forest management in the north of Shanxi Province. [Methods] Permanent sample plots of *Larix principis-rupprechtii* forests were set in Guancen Mountain with different mixed modes and different origins. The diameters were measured at breast height of each tree whose diameter was more than 5.0 cm in the sample plot in the summers of 2010 and 2015, respectively. The differences of the growth of mixed tree species under different origins and different mixed modes were compared by ANOVA and t test. [Results] ① For the tree species mixed with *Larix principis-rupprechtii*, the growth of DBH was as follows: $\Delta D_{Betula\ platyphylla}>\Delta D_{Picea\ meyeri}>\Delta D_{Salix\ pseudotangii}$, the basal area increment of chest height was as follows: $\Delta S_{Betula\ platyphylla}>\Delta S_{Picea\ meyeri}>\Delta S_{Salix\ pseudotangii}$, the cumulative

收稿日期：2018-05-18 **修回日期**：2018-06-15

资助项目：国家自然科学基金项目“热浪发生期提前对草甸草原碳水循环关键过程影响研究”(31870466)；科技部国家重点研发计划“全球变化对生态脆弱区资源环境承载力的影响研究”(2017YFA0604801)。

第一作者：曳水瑛(1991—)，女(汉族)，山西省太原市人，硕士研究生，研究方向为森林生态学。E-mail：609088476@qq.com。

通讯作者：刘勇(1970—)，男(汉族)，山西省五寨县人，博士，教授，博士生导师，主要从事生态环境与资源评价方面的研究。E-mail：liuyong@sxu.edu.cn。

growth rate is as follows: $\Delta V_{Betula\ platyphylla} \approx \Delta V_{Picea\ meyeri} > \Delta V_{Salix\ pseudotangii}$. ② Under different mixed modes, the differences of ΔS and ΔV of *Larix principis-rupprechtii* were insignificant. ③ Under the condition of natural young and middle aged forests, the growth of mixed tree species was ranked as follows: *Picea meyeri* > *Betula platyphylla* > *Salix pseudotangii*; Under the condition of young and middle aged plantation, the growth of *Betula platyphylla* was the largest. ④ The growth of *Picea meyeri* with natural *Larix principis-rupprechtii* was larger than the one with the planted *Larix principis-rupprechtii*; the growth of *Betula platyphylla* with planted *Larix principis-rupprechtii* was larger than that with the natural one. [Conclusion] In the young ages of *Larix principis-rupprechtii* plantation, *Betula platyphylla* can be planted in the glade, which can form a mosaic mixed structure of *Larix principis-rupprechtii* and *Betula platyphylla*. Through the mixed plantation of broadleaf tree species with *Larix principis-rupprechtii*, a more stable and near-natural ecological environment will be created. When the growth and the ecological function of *Betula platyphylla* declines, *Betula platyphylla* that cannot play effective ecological function should be cut and *Picea meyeri* is advised to planted under the canopy. *Larix principis-rupprechtii* and *Picea meyeri* can form stable, mixed, multilayer and different aged forests.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii* plantation; forest accurate quality improvement; selection of tree species; tree growth; mixed multilayer and different aged forest

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)是松科华北落叶松属的落叶针叶乔木树种,原产于山西、河北 2 省,目前在中国北方广泛分布[1-2]。华北落叶松属阳性树种,生长快、材质好、用途广、耐腐朽[3],有助于华北地区的水源涵养、水土保持、防风固沙、固碳释氧。因此,华北落叶松不仅是优良的用材树种,还是重要的生态树种。然而,目前华北落叶松林的森林质量不容乐观。冀北山地的华北落叶松林分退化、森林质量降低[4],再加上不恰当的森林经营措施,导致林木密度过大,作为目的树种的华北落叶松被压、死亡,上层的山杨、白桦生长不良、林相残破[5]。秦岭林区的华北落叶松纯林化现象严重,生态系统稳定性下降,病害虫害日渐猖獗[3,6]。宁夏六盘山的华北落叶松林树种组成单一、林下更新不良、林木耗水严重、生物多样性低[7]。由此可见,华北落叶松在生长过程中出现了纯林比例大、单层林数量多、同龄林为主、生物多样性低、森林生态系统稳定性差等多种问题。针对华北落叶松的森林质量和健康状况,国内外专家学者采用了不同的森林经营措施。以往的研究大多集中在研究不同间伐强度[8-9]、不同林分密度[7,10-11]或不同地形因子[12-13]对华北落叶松林生长的影响。根据森林质量精准提升的要求,天然林和人工林、幼龄林和成熟林应当采取不同的森林经营策略[14]。但是,这些研究都没有涉及不同起源的华北落叶松在不同的林龄阶段应当采取什么样的森林经营措施,目前华北落叶松林质量提升的经营措施尚不精准。森林质量高的表现形式有很多。传统的森林面积、蓄积量和生长量作为体现森林质量的基本指标[15],完全可以反映森林质量的优劣。随着多功能森林经营理念在我国的兴起,社会对森林生态服务、景观文化、物质供给等多种功能需求的增加[15],培育混交、复层、异龄林成为森林经营的目标之一,也成为评价森林质量好坏的重要指标。本试验根据华北落叶松林的不同起源和龄组,在森林发育的不同阶段进行不同的树种混交措施,旨在将质量不高的人工华北落叶松纯林培育为高质量的混交、复层、异龄林。以林木的生长量为基础指标,以培育混交、复层、异龄林为目标,研究山西省北部人工华北落叶松纯林质量精准提升中的树种混交策略,为该地区的森林经营提供参考。

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区概况

研究区域位于山西省管涔山,吕梁山脉北端,东经 111°05′—112°40′,北纬 38°31′—39°08′。管涔山地势高耸、山体险峻,最高处为荷叶坪,海拔 2784 m,整体西南偏高,东北偏低,由西南向东北倾斜延伸。该地区属温带半湿润区,大陆性季风气候,夏季凉爽多雨,冬季寒冷干燥。年平均气温 6.2 ℃,7 月温度最高,平均 20.1 ℃,1 月温度最低,平均−9.9 ℃,≥10 ℃年积温 3 200～3 600 ℃,无霜期 130～170 d,年降雨量 470～770 mm。岩石类型主要有片麻岩、石灰岩、砂岩、页岩。土壤类型呈明显的垂直地带性分布,海拔由低到高依次为:山地褐土—淋溶褐土—棕壤—亚高山草甸土[16]。管涔山素有“华北落叶松的故乡”之美誉,拥有丰富的天然和人工华北落叶松林以及不同龄组的华北落叶松群落,为研究山西北部的华北落叶松森林经营提供了天然的试验基地。除此

之外，管涔山植物资源丰富，森林覆盖率高，主要乔木树种有华北落叶松、青杆(*Picea wilsonii*)、白杆(*Picea meyeri*)、白桦(*Betula platyphylla*)，灌木优势种有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、金花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等[17]。

1.2 野外调查方法

在管涔山设置 26 m×26 m 固定样地 15 个，样地设置选取管涔山典型华北落叶松—白杆、华北落叶松—白桦、华北落叶松—山柳混交林，样地包括天然、人工起源，包括不同龄组，样地设置情况详见表 1。分别于 2010 和 2015 年夏进行野外调查。记录每个样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位、土层厚度等环境因子，以及起源、龄组、郁闭度等生物因子。2010 和 2015 年分别测量样地内所有胸径大于等于 5.0 cm 的样木的胸径(分别记为 D_{2010} 和 D_{2015})。

表 1 研究区固定样地概况

样地编号	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)	土层厚度/cm	混交树种	起源	龄组	郁闭度
1	2 190	东北	下	16	50	白杆	天然	幼龄林	0.30
2	2 300	南	下	15	70	白杆	天然	中龄林	0.64
3	2 560	东南	上	22	20	白杆	天然	近熟林	0.75
4	2 150	北	中	18	50	白杆	天然	近熟林	0.55
5	2 340	西北	上	7	60	白杆	人工	中龄林	0.62
6	1 890	西北	中	24	48	白杆	人工	中龄林	0.65
7	2 300	东南	下	25	45	白杆	人工	近熟林	0.85
8	2 150	北	上	22	80	白桦	天然	幼龄林	0.60
9	2 210	东北	上	26	65	白桦	天然	中龄林	0.65
10	2 223	东	中	21	24	白桦	天然	中龄林	0.56
11	1 836	东北	下	33	67	白桦	人工	中龄林	0.40
12	1 885	西北	中	24	45	白桦	人工	中龄林	0.70
13	1 911	西北	下	16	65	白桦	人工	中龄林	0.65
14	2 310	北	上	28	70	山柳	天然	中龄林	0.95
15	1 941	西北	中	26	40	山柳	人工	中龄林	0.25

1.3 数据处理与统计方法

计算 2010—2015 年的 5 a 间，样地内每株样木的胸径生长量(ΔD)、胸高断面积生长量(ΔS)和蓄积生长量(ΔV)。ΔD 可以直接反映林木的生长量；ΔS 进一步强化了不同胸径的林木在胸径生长量相同的情况下，具有不同的胸高断面积生长量，可以多样化地体现不同林龄和不同胸径的林木生长差异；ΔV 在 ΔS 的基础上，还可以反映不同树种在胸径生长量相同的情况下，蓄积生长量的差异。选择 ΔD，ΔS 和 ΔV 这 3 个指标，可以更加全面地反映不同胸径、不同林龄、不同树种的林木生长量差异。

$$\Delta D = D_{2015} - D_{2010} \tag{1}$$

式中：D——样地内每株样木的单株实测胸径。计算样地内每株样木 5 a 间的胸径生长量 ΔD。

$$\Delta S = S_{2015} - S_{2010} \quad S = \pi/4 \times D^2 \tag{2}$$

式中：D——样地内每株样木的单株实测胸径，计算得到 S 为样地内每株样木的单株胸高断面积。计算样地内每株样木 5 a 间的胸高断面积生长量 ΔS。

$\Delta V = V_{2015} - V_{2010}$ 通过查《山西省主要树种一元立木材积表》，获得样地内每株样木的单株蓄积。计算样地内每株样木 5 a 间的蓄积生长量 ΔV。

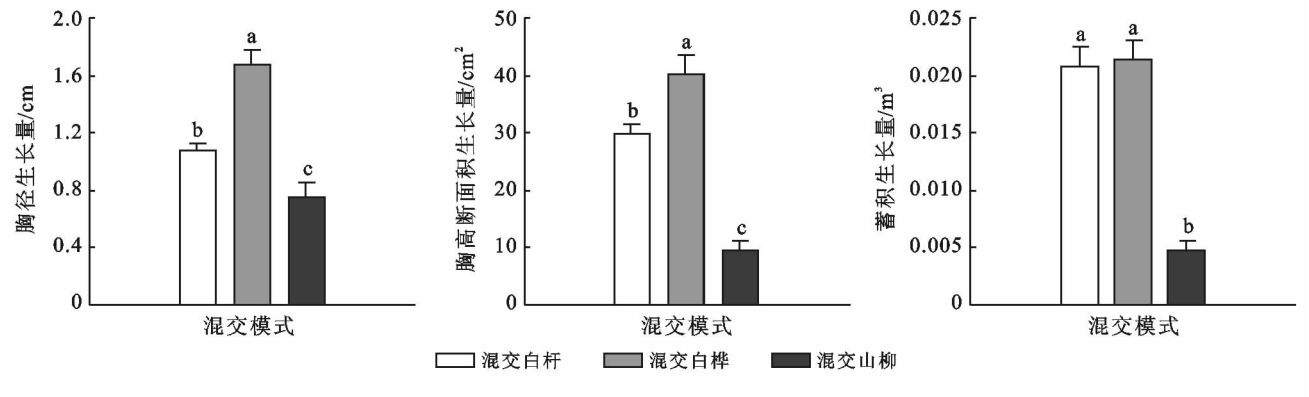
数据先经 Excel 整理、计算，然后采用 SPSS 17.0 进行 ANOVA、多重比较和 t 检验。

2 结果与分析

2.1 不同混交模式下混交树种生长量

通过分析华北落叶松—白杆、华北落叶松—白桦、华北落叶松—山柳 3 种混交模式下混交树种的生长量，得到结果如图 1 所示。由图 1 可知，与华北落叶松混交的 3 种树种的胸径生长量差异显著，由高到低为 $\Delta D_{白桦} > \Delta D_{白杆} > \Delta D_{山柳}$，表明不同树种与华北落叶松混交时，相同时间内胸径生长量不同，白桦的胸径生长最快，山柳最慢，白杆适中。图 1 也反映了不同混交模式下混交树种的胸高断面积生长量。3 种混交模式下混交树种的胸高断面积差异显著，$\Delta S_{白桦} > \Delta S_{白杆} > \Delta S_{山柳}$，表明不同混交模式下混交树种不仅 ΔD 不同，ΔS 也存在差异。图 1 对混交树种蓄积生长量的分析可得，$\Delta V_{白杆}$ 和 $\Delta V_{白桦}$ 显著高于

$\Delta V_{山柳}$,$\Delta V_{白杆}$和 $\Delta V_{白桦}$差异不显著,3 种混交模式下山柳的蓄积生长量最小。综合分析图 1 可知,在华北落叶松—白杆、华北落叶松—白桦、华北落叶松—山柳 3 种混交模式中,混交树种山柳的 3 个生长量指标都显著小于白杆和白桦,在与华北落叶松混交的过程中,最不利于与华北落叶松快速形成稳定的混交林。



注:同组不同小写字母为 $p<0.05$ 水平下差异性显著。下同。

图 1　不同混交模式下混交树种生长量

2.2　不同混交模式下华北落叶松生长量

在华北落叶松—白杆、华北落叶松—白桦、华北落叶松—山柳 3 种混交模式下,华北落叶松的生长量如图 2 所示。由图 2 可知,华北落叶松与白桦混交,其胸径生长量显著高于与白杆混交的胸径生长量。华北落叶松与白杆和山柳混交,以及华北落叶松与白桦和山柳混交,胸径生长量差异不显著。表明华北落叶松与白桦混交,胸径生长量最大。华北落叶松分别与白杆、白桦和山柳混交时,其胸高断面积生长量各有不同,但 ANOVA 与多重检验分析表明 3 种混交模式下华北落叶松的 ΔS 无显著差异,华北落叶松的胸高断面积生长量受混交树种影响不显著(图 2)。华北落叶松分别与白杆、白桦和山柳混交时,其蓄积生长量无显著差异,表明 3 种混交模式对华北落叶松的蓄积生长无显著影响。综合分析图 2 可知,华北落叶松与白桦混交时 ΔD 显著高于与白杆混交,而华北落叶松的 ΔS 和 ΔV 不受混交模式影响。表明华北落叶松混交白桦可以在一定程度上促进华北落叶松的 ΔD,不同树种混交不会影响华北落叶松的 ΔS 和 ΔV。

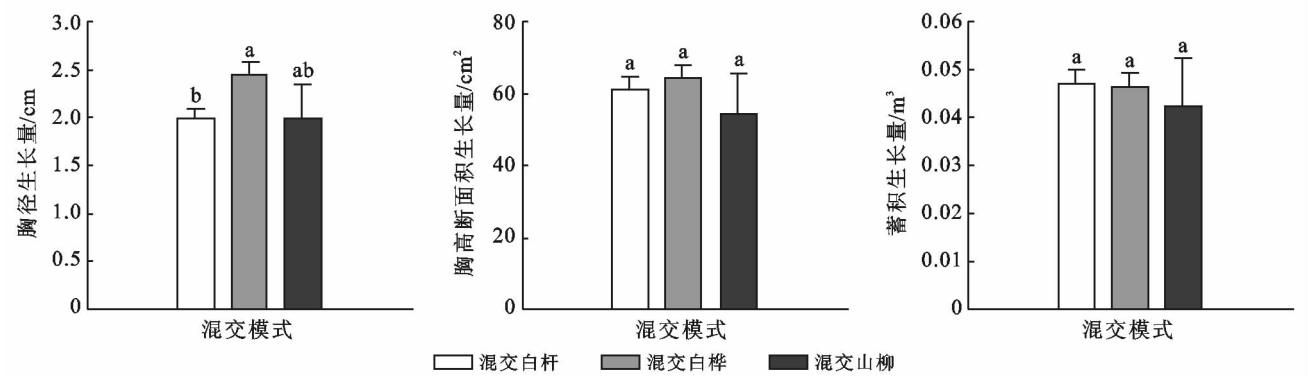


图 2　不同混交模式下华北落叶松生长量

2.3　不同起源、不同混交模式下混交树种生长量比较分析

在华北落叶松中幼林条件下,不同起源、不同混交模式的混交树种生长量如图 3 所示。由图 3 可知,华北落叶松在不同起源、不同混交模式下,混交树种的胸径生长量存在显著差异。天然起源下,3 种混交树种的胸径生长量均存在显著差异,由高到低依次为:$\Delta D_{白杆}>\Delta D_{白桦}>\Delta D_{山柳}$;人工起源下,白杆和白桦的胸径生长量存在显著差异,$\Delta D_{白桦}>\Delta D_{白杆}$,$\Delta D_{白杆}$与 $\Delta D_{山柳}$,$\Delta D_{白桦}$与 $\Delta D_{山柳}$之间不存在显著差异。天然起源的华北落叶松在不同混交模式下,3 种混交树种的胸高断面积生长量均存在显著差异,由高到低依次为:$\Delta S_{白杆}>\Delta S_{白桦}>\Delta S_{山柳}$;人工起源下,白杆和白桦的胸高断面积生长量存在显著差异,$\Delta S_{白桦}>\Delta S_{白杆}$。图 3 对混交树种蓄积生长量的分析表明,天然起源下,3 种混交树种的蓄积生长量均存在显著差

异，由高到低依次为：$\Delta V_{白杆} > \Delta V_{白桦} > \Delta V_{山柳}$；人工起源下，白桦的蓄积生长量显著高于白杆和山柳，$\Delta V_{白桦} > \Delta V_{白杆}$，$\Delta V_{白桦} > \Delta V_{山柳}$，$\Delta V_{白杆}$ 和 $\Delta V_{山柳}$ 之间没有显著差异。综合分析图 3 可知，在天然中幼林条件下，白杆、白桦和山柳分别与华北落叶松混交，白杆生长量最大，白桦次之，山柳最小。在人工中幼林条件下，白杆、白桦和山柳分别与华北落叶松混交，白桦的生长量最大。

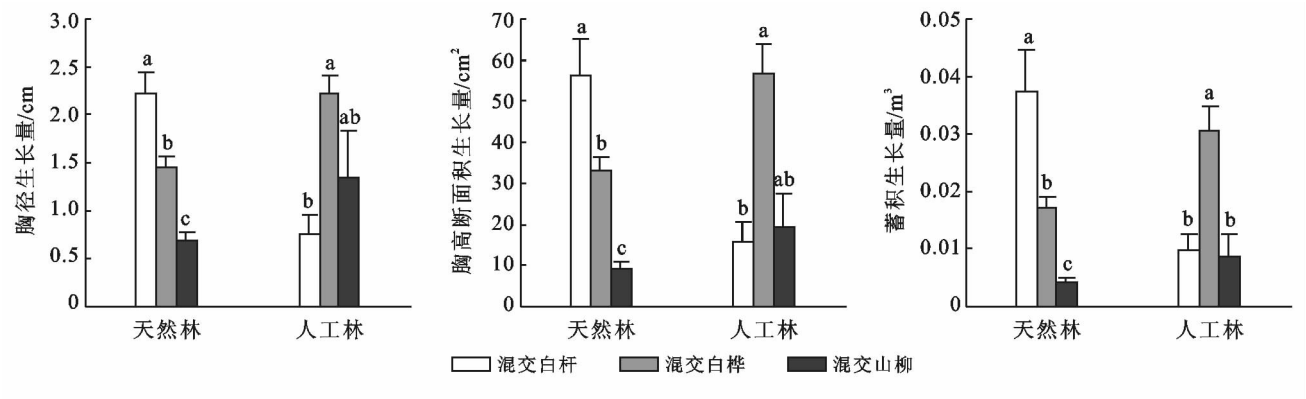


图 3 不同起源、不同混交模式下混交树种生长量

2.4 同一混交树种在不同起源下生长量比较分析

由表 2 可知，在华北落叶松中幼林条件下，同一混交树种与不同起源的华北落叶松混交，混交树种生长量存在显著差异。

表 2 混交树种在不同起源下生长量比较分析

树种	指标	起源	生长量	t	P
白杆	ΔD	天然	2.2±0.2	4.592	0.000
		人工	0.8±0.2		
	ΔS	天然	56.19±9.1	3.346	0.003
		人工	15.77±4.8		
	ΔV	天然	0.037 3±0.007 3	3.489	0.003
		人工	0.009 7±0.003 0		
白桦	ΔD	天然	1.4±0.1	−3.899	0.000
		人工	2.2±0.2		
	ΔS	天然	33.05±3.19	−3.067	0.004
		人工	56.77±7.05		
	ΔV	天然	0.017 3±0.001 8	−2.926	0.005
		人工	0.030 6±0.004 2		
山柳	ΔD	天然	0.7±0.1	−1.300	0.260
		人工	1.3±0.5		
	ΔS	天然	9.48±1.53	−1.209	0.289
		人工	19.37±8.03		
	ΔV	天然	0.004 3±0.000 8	−1.651	0.106
		人工	0.008 8±0.003 9		

注：ΔD，ΔS，ΔV 的单位分别为(cm，cm²，m³)。

华北落叶松—白杆模式下，白杆的生长量为：$\Delta D_{天然} > \Delta D_{人工}$，$\Delta S_{天然} > \Delta S_{人工}$，$\Delta V_{天然} > \Delta V_{人工}$，且 $p < 0.005$，说明华北落叶松混交白杆时，白杆与天然起源华北落叶松混交的生长量显著大于白杆与人工起源华北落叶松混交的生长量。华北落叶松—白桦模式下，白桦的生长量为：$\Delta D_{天然} < \Delta D_{人工}$，$\Delta S_{天然} < \Delta S_{人工}$，$\Delta V_{天然} < \Delta V_{人工}$，$p \leqslant 0.005$，说明华北落叶松混交白桦时，白桦与人工起源华北落叶松混交的生长量显著大于白桦与天然起源华北落叶松混交的生长量。华北落叶松—山柳模式下，不同起源山柳的生长量为：$\Delta D_{天然} < \Delta D_{人工}$，$\Delta S_{天然} < \Delta S_{人工}$，$\Delta V_{天然} < \Delta V_{人工}$，但 $p > 0.1$，说明华北落叶松—山柳模式下，山柳与不同起源华北落叶松混交的生长量虽有差异，但未达到统计学意义下的显著差异，山柳与不同起源华北落叶松混交的生长量不存在显著差异。

3 讨 论

3.1 混交树种选择

近几十年造林工程的实施使山西省的森林覆盖率显著提高，从 1978 年的 5.20% 提高到 2015 年的 20.50%。然而，以往的造林工程营造纯林的比例较高，山西省北部存在较多华北落叶松人工纯林。华北落叶松纯林在林分空间结构、生态价值和抗逆性方面都远低于混交林[18-19]。为了对山西省北部的华北落叶松人工纯林进行改造，营造复层、混交、异龄林，精准提升森林质量，本试验在山西省北部乡土树种白杆、白桦和山柳中选择适宜与华北落叶松混交的树种，通过比较不同混交树种在不同条件下的生长量，分析如何促进华北落叶松纯林向复层、混交、异龄林转化。由图 1 可知，华北落叶松混交不同树种时，混交树种的生长量存在明显差异。山柳在 ΔD，ΔS 和 ΔV 三个指标上均显著小于白杆和白桦，这是由于山柳在华北落叶松林中处于伴生地位，不适于与山西北部华北落叶松大面积混交。郝晓鹏和上官铁梁[17]在

对管涔山森林群落植物物种多样性的研究中有类似的结论,山柳在管涔山森林群落中重要值较低,混生山柳的群落处于不稳定状态。孙勃和张金屯[16]在管涔山植物群落生态关系的数量分析研究中发现,山柳适宜生长在针叶阔叶林过渡的混交带,或乔木层破坏后作为先锋物种入侵。因此,山柳在华北落叶松林缘或受到破坏的林中空地可作为灌木树种与华北落叶松混交。由图 1 可知,华北落叶松分别与白杆和白桦混交,$\Delta D_{白桦}$ 比 $\Delta D_{白杆}$ 大 55.19%;$\Delta S_{白桦} > \Delta S_{白杆}$,但差距较 ΔD 缩小,$\Delta S_{白桦}$ 比 $\Delta S_{白杆}$ 大 35.16%;$\Delta V_{白桦}$ 与 $\Delta V_{白杆}$ 不存在显著差异。这是由于白桦属速生树种,其单位时间内的胸径生长量大于白杆。白桦胸高断面积生长量仍大于白杆,但差距已经缩小。蓄积生长量更突出了林龄和树种不同的情况下,不同树种间的生长量差异,白杆的蓄积生长量与白桦没有显著差异。这说明华北落叶松分别与白杆和白桦混交,均可促进华北落叶松快速形成混交林,对华北落叶松纯林进行改造时,可采用白杆和白桦。

图 2 反映了不同混交模式下华北落叶松的生长量。华北落叶松混交白桦时华北落叶松的 ΔD 比混交白杆时华北落叶松的 ΔD 大 23.26%,华北落叶松混交山柳的 ΔD 与混交白杆和白桦差异不显著。但是,需要注意的是,由于在天然条件下,华北落叶松与白桦的混交常见于中幼林。所以,ΔD 的显著差异可能是由于与白桦混交的华北落叶松处于中幼林阶段导致的,并非是由于与白桦的混交而导致的。由此也可以说明,在天然条件下,华北落叶松与白桦的混交模式不能长期持续共存。根据图 2,华北落叶松的 ΔS 和 ΔV 在 3 种混交模式下没有显著差异。说明华北落叶松混交不同的树种不会对华北落叶松的 ΔS 和 ΔV 产生明显影响,混交树种的不同不会影响华北落叶松的生长量。综上所述,在对山西北部华北落叶松人工纯林进行改造时,选择白杆和白桦两个树种。

3.2　不同起源下混交树种生长量差异

由图 3 可知,在华北落叶松中幼林条件下,不同混交树种在不同起源下的生长量各不相同;在相同起源下,不同混交树种的生长量存在显著差异。天然起源下,白杆、白桦和山柳分别与天然华北落叶松混交,$\Delta D_{白杆}$ 比 $\Delta D_{白桦}$ 大 55.64%,$\Delta D_{白杆}$ 比 $\Delta D_{山柳}$ 大 193.39%;$\Delta S_{白杆}$ 比 $\Delta S_{白桦}$ 大 70.03%,$\Delta S_{白杆}$ 比 $\Delta S_{山柳}$ 大 459.17%;$\Delta V_{白杆}$ 比 $\Delta V_{白桦}$ 大 115.67%,$\Delta V_{白杆}$ 比 $\Delta V_{山柳}$ 大 680.92%。且由 ΔD 到 ΔS 再到 ΔV,白杆的生长量与白桦和山柳的生长量差异逐渐增大。可见在与天然起源的华北落叶松混交时,白杆的生长量相比白桦和山柳的生长量具有绝对优势,白杆更适合与天然起源下的华北落叶松混交,促进华北落叶松纯林快速形成稳定的华北落叶松—白杆混交林。在人工起源下,白杆、白桦和山柳分别与人工华北落叶松混交,$\Delta D_{白桦}$ 比 $\Delta D_{白杆}$ 大 195.37%,$\Delta D_{白桦}$ 比 $\Delta D_{山柳}$ 大 66.64%;$\Delta S_{白桦}$ 比 $\Delta S_{白杆}$ 大 259.95%,$\Delta S_{白桦}$ 比 $\Delta S_{山柳}$ 大 193.15%;$\Delta V_{白桦}$ 比 $\Delta V_{白杆}$ 大 214.74%,$\Delta V_{白桦}$ 比 $\Delta V_{山柳}$ 大 248.11%。且由 ΔD 到 ΔS 再到 ΔV,白桦的生长量与白杆和山柳的生长量差异逐渐增大。可见在人工起源下,不同树种与华北落叶松混交时,白桦的生长量相比白杆和山柳的生长量具有绝对优势,白桦更容易与人工起源下的华北落叶松纯林混交,促进人工华北落叶松纯林快速形成华北落叶松—白桦混交林。

3.3　同一混交树种在不同起源下的生长量比较分析

由表 2 可知,白杆与天然起源华北落叶松混交的生长量显著高于与人工起源华北落叶松混交的生长量。白杆与不同起源的华北落叶松混交时白杆的生长量为:$\Delta D_{天然}$ 比 $\Delta D_{人工}$ 大 175.00%,$\Delta S_{天然}$ 比 $\Delta S_{人工}$ 大 256.31%,$\Delta V_{天然}$ 比 $\Delta V_{人工}$ 大 284.54%,进一步证明了白杆更适合与天然起源的华北落叶松混交,帮助华北落叶松纯林快速形成华北落叶松—白杆混交林。白桦与不同起源的华北落叶松混交时白桦的生长量为:$\Delta D_{人工}$ 比 $\Delta D_{天然}$ 大 57.14%,$\Delta S_{人工}$ 比 $\Delta S_{天然}$ 大 71.77%,$\Delta V_{人工}$ 比 $\Delta V_{天然}$ 大 76.88%,进一步证明了白桦更适合与人工起源的华北落叶松混交,帮助人工华北落叶松纯林快速形成稳定的华北落叶松—白桦混交林。由此可见,在促进人工华北落叶松纯林形成华北落叶松—白桦混交林后,应逐步将白桦更新为白杆,以形成更加稳定、能够长期共存的混交结构。

3.4　山西北部人工华北落叶松纯林质量精准提升中的树种选择策略

本研究得到在人工起源下,白桦与华北落叶松混交生长量大于白杆和山柳与华北落叶松混交,可促进人工华北落叶松纯林快速形成华北落叶松—白桦混交林。在天然起源下,白杆与华北落叶松混交的生长量大于白桦和山柳,适宜与天然华北落叶松林快速形成混交林。在人工华北落叶松纯林的幼龄阶段,部分华北落叶松幼苗、幼树未保存,形成林间空地。此时,可在林间空地补植白桦,构建华北落叶松与白桦的斑块混交结构。白桦属先锋树种,生长快,对土壤适应能力强,与华北落叶松混交后,可帮助华北落叶松林形成较为稳定的森林群落结构与生态环境。第一,混交林分相比纯林可优化林分的空间结构。胡艳波,惠刚盈[20]的研究表明,调整人工纯林的树种组成,可提高树种混交度和隔离程度,优化林分空间结构。第

二,合理的森林空间结构使得森林的生态价值更高。华北落叶松纯林混交白桦后可改变林下枯落物的数量和种类,改善土壤理化性质,提高土壤动物的多样性[21-22]。第三,针阔混交林有更强的抗逆性。针叶树种含油较多,针叶纯林发生火灾的可能性大于针阔混交林[23]。华北落叶松感染病虫害的几率较大,华北落叶松八齿小蠹、华北落叶松种子小蜂、华北落叶松尺蛾和华北落叶松落叶病是华北落叶松常见病虫害。人工华北落叶松纯林中栽植白桦,营造针阔混交林,可减小华北落叶松发生火灾和病虫害的几率,降低火灾和病虫害的蔓延速率,提高华北落叶松林的抗逆性。以往研究表明,混交林比纯林更接近天然状态[18],通过白桦与华北落叶松林的斑块混交,营造了接近天然状态的林分结构与生态环境。白桦属先锋树种,前期生长快,竞争能力强,可帮助华北落叶松林营造稳定的生态环境。但白桦为速生树种,后期生长速率和竞争能力减弱[5]。与白桦相比,华北落叶松属慢生树种,前期生长较慢,竞争力不及白桦[5]。但华北落叶松生长周期长,随着生长的进行,其优势逐渐显现。当白桦生长量下降、生态功能减弱,开始出现枯死或病虫害现象时,可采伐白桦中长势不良的林木,保留生长健壮的白桦,并在林下补植白杆,促进白杆的更新。云杉(白杆、青杆)是华北落叶松林的演替树种。在华北落叶松—白桦混交林的中龄以后人工更新云杉,符合森林群落演替规律。郭晋平,李海波[24]的研究表明,随着光照强度的减弱,白杆幼苗的高生长增加。白杆属阴性树种,在华北落叶松—白桦混交林下栽植白杆,可为白杆营造适度遮阴的环境,有利于白杆幼苗的生长。郭晋平,李海波[24]研究还得出:白杆与华北落叶松混栽时的高生长比白杆单独栽植时高,同样说明了白杆与华北落叶松混交,有利于白杆快速生长,促进混交林的形成。由于白杆的栽植是在华北落叶松与白桦形成的混交林下栽植,此时上层的华北落叶松—白桦混交林进入中龄林后期或近熟林阶段,而下层栽植的白杆仍处于幼龄阶段,形成了混交、复层、异龄林。郭晋平,王石会等[25]在对管涔山云杉天然林的研究中得出,管涔山云杉—华北落叶松混交林在当地可能存在的干扰状况下,是一种稳定的混交结构。因此,华北落叶松—白杆混交林在管涔山可以长期稳定共存。

4 结论

对山西北部华北落叶松人工纯林进行森林经营和林分改造时,以营造混交、复层、异龄林为目标,优先选用白杆与白桦作为华北落叶松的混交树种。人工华北落叶松纯林的幼龄阶段,在林间空地栽植白桦,构建华北落叶松—白桦斑块混交结构,促进人工华北落叶松纯林形成针阔混交林。通过与白桦的混交,华北落叶松林形成了稳定的林分结构,营造了更接近天然状态的生态环境。当白桦生态功能减弱,开始出现生长量下降及病虫害现象时,采伐长势不良的白桦,在林下栽植白杆幼苗,促进白杆幼苗的更新。下层的白杆幼苗处于幼龄阶段,上层的华北落叶松—白桦混交林处于中龄后期或近熟林阶段,形成了混交、复层、异龄林。随着华北落叶松与白杆的生长,白桦逐渐衰退、死亡。华北落叶松与白杆在山西北部可以长期共生,形成稳定的混交、复层、异龄林。

[参 考 文 献]

[1] 李盼威,胡庆禄. 华北落叶松速生丰产林培育技术[M]. 北京:中国林业出版社,2003:1-3.

[2] 石慧. 秦岭华北落叶松人工林群落结构和物种多样性研究[D]. 陕西 西安:陕西师范大学,2009.

[3] 柴宗政. 秦岭华北落叶松人工林生长特性及近自然经营技术研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2013.

[4] 穆帅. 燕山山地华北落叶松低质低效林改造经济效果分析评价[D]. 河北 保定:河北农业大学,2013.

[5] 张建华. 冀北山地华北落叶松典型林分结构功能评价与近自然经营研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.

[6] 张丽楠. 秦岭宁东林区华北落叶松人工林特征及近自然改造措施[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[7] 郝佳. 宁夏六盘山华北落叶松人工林密度对多功能的影响[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.

[8] 董希斌,李耀翔,姜立春. 间伐对兴安落叶松人工林林分结构的影响[J]. 东北林业大学学报,2000,28(1):16-18.

[9] 陈凤娟,谷建才,黄冬梅,等. 不同间伐强度对华北落叶松人工林林下植物多样性的影响研究[J]. 中国农学通报,2008, 24(11): 169-173.

[10] 刘澄. 林分密度对华北落叶松人工林林木生长及林下植物多样性影响的研究[D]. 河北 保定:河北农业大学,2008.

[11] Schubert G H. Growth response of even-aged Ponderosa Pine related to stand density levels in Arizona [J]. Journal of Forestry, 1971, 69(12):857-860.

[12] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona(Ⅴ): Biomass, production, and diversity along the elevation gradient [J]. Ecology, 1975, 56(4):771-790.

[13] 李伟伟. 林分密度及立地条件对华北落叶松人工林影响的研究[D]. 河北 保定:河北农业大学,2009.

[14] 张会儒,雷向东. 森林经理与森林质量精准提升[J]. 国土绿化,2017(8):13-15.

(下转第176页)

[32] 刘冰,靳鹤龄,孙忠,等.青藏高原东北部泥炭沉积粒度与元素记录的全新世千年尺度的气候变化[J].冰川冻土,2013,35(3):614-616.

[33] Shen Ji, Liu Xingqi , Wang Sumin, et al. Palaeo climatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18000 years[J]. Quaternary International, 2004,136(1):131-140.

[34] 贺跃,鲍征宇,侯居峙,等.令戈错湖芯重建过去 17 ka 青藏高原大气环流变化[J].科学通报,2016,61(33):3589-3591.

[35] Steffen M, Zhang Chengjun. Holocene cold events on the Tibetan Plateau[J]. Glob Planet Change, 2010,72(13):155-163.

[36] Zhao Cheng, Liu Zhonghui, Rohling Eelco J, et al. Holocene temperature fluctuations in the Northern Tibetan Plateau [J]. Quaternary Research, 2013, 80(12):55-65.

[37] Zhao Yan, Yu Zicheng, Zhao Wenwei. Holocene vegetation and climate histories in the eastern Tibetan Plateau: Controls by in solation-driven temperature or monsoon-derived precipitation changes? [J]. Quaternary Science Reviews, 2011,30(11):1173-1184.

[38] Xu Hai, Liu Bin, Lan Jianghu, et al. Holocene peatland development along the eastern margin of the Tibetan Plateau[J]. Quat. Res., 2013,80(12):47-54.

[39] Haberle Simon G, Maslin Mark A. Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon Basin Based on a 50,000 year pollen record from the Amazon Fan, ODP Site 932. China [J]. Quaternary Research, 2017,51(1):27-38.

[40] Cai Yanjun, Zhang Haiwei, Cheng Hai, et al. The Holocene Indian monsoon variability over the southern Tibetan Plateau and its teleconnections[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2012,34(15):135-144.

[41] 李世杰, Bernd Wünnemann,夏威岚,等.青藏高原兹格塘错沉积记录的全新世水位变化事件及其原因初步研究[J].地学前缘,2009,16(6):164-165.

[42] 刘冰,靳鹤龄,孙忠,等.全新世共和盆地沙地时空演化及其驱动机制[J].中国沙漠,2014,34(4):982-991.

[43] 程波,陈发虎,张家武.共和盆地末次冰消期以来的植被和环境演变[J].地理学报,2010,65(11):1336-1344.

[44] 彭萍,朱立平,鞠建廷,等.西藏普莫雍错介形类反映的中晚全新世以来湖面波动与环境变化[J].气候变化研究进展,2012,8(5):335-339.

[45] Wu Yanhong, Andreas Lücke , Jin Zhangdong, et al. Holocene climate development on the central Tibetan Plateau: A sedimentary record from Cuoe Lake[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecol , 2006,234(4):328-340.

[46] Liu Xingqi, Dong Hailiang, Jason A. Rech, et al. Evolution of Chaka Salt Lake in NW China in response to climatic changed during the latest Pleistocene-Holocene[J]. Quaternary Science Reviews,2008,27(7):867-879.

[47] 朱立平,王君波,林晓,等.西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4 ka 以来气候环境变化[J].第四纪研究.2007,27(4):589-595.

[48] 类延斌,张虎才,尚华明,等.青藏高原年保玉则山末次冰期中期以来的湖泊演化与古冰川发育[J].第四纪研究,2008,28(1):133-136.

[49] 李拓宇,伍永秋,杜世松,等.青藏高原西南部仲巴地区细石器人类活动的时代探讨[J].北京师范大学学报:自然科学版,2016,52(1):91-94.

(上接第 168 页)

[15] 陆元昌.以多功能经营技术支撑森林质量精准提升工程[J].国土绿化,2017(4):22-25.

[16] 孙勃.管涔山植物群落生态关系的数量分析[D].山西太原:山西大学,2005.

[17] 郝晓鹏,上官铁梁,邱文.汾河源头管涔山森林群落植物物种多样性研究[J].安徽农业科学, 2009, 37(13):6232-6235, 6244.

[18] Graham W. Douglas fir, Japanese larch, and European larch in pure and mixed stands [J]. New Zealand Journal of Forest Science, 1991, 21(1):3-9.

[19] Rohner B, Bugmann H, Bigler C. Towards non-destructive estimation of tree age [J]. Forest Ecology and Management, 2013, 304(18): 286-295.

[20] 胡艳波,惠刚盈.优化林分空间结构的森林经营方法探讨[J].林业科学研究,2006,19(1):1-8.

[21] 高敏,马香丽,杨晋宇,等.冀北山地华北落叶松人工林与白桦混交改造模式对土壤动物群落的影响[J].林业科学,2017, 53(1): 70-81.

[22] 郭冠春.黄土高原阔叶树种枯落叶对针叶纯林土壤化学性质的影响效应[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[23] 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.

[24] 郭晋平,李海波,刘宁,等.华北落叶松和白杆幼苗对光照和竞争响应的差异比较[J].林业科学,2009,45(2):53-59.

[25] 郭晋平,王石会,康日兰,等.管涔山青扦(*Picea wilsoni*)天然林年龄结构及其动态的研究[J].生态学报,1997, 17(2): 184-189.