

# 华北落叶松人工林的林木生长经营效果

## ——以宁夏回族自治区固原市原州区为例

王正安<sup>1</sup>, 余治家<sup>1</sup>, 王振忠<sup>2</sup>, 吴苗<sup>1</sup>, 余萍<sup>1</sup>, 马杰<sup>1</sup>, 贾宝光<sup>1</sup>

(1.宁夏农林科学院 固原分院, 宁夏 固原 756000; 2.固原市原州区自然资源局, 宁夏 固原 756000)

**摘要:** [目的] 分析华北落叶松人工林分生长经营效果, 为科学合理经营华北落叶松人工林, 充分发挥其生态功能效益和投入成本提供参考。[方法] 采用查阅档案资料、访谈和野外调查方法, 对泾河流域上游宁夏回族自治区固原市原州区主要华北落叶松在传统森林经营和近自然森林经营的投入成本和林分生长效果开展调查, 以投入成本、平均胸径、平均树高、每 1 hm<sup>2</sup> 蓄积量、每 1 hm<sup>2</sup> 地上生物量为衡量指标, 应用模糊数学隶属函数值法定量地对其林木生长效果进行综合比较与评价。[结果] 不同森林经营模式下林木生长效果差异明显, 其中近自然森林经营中黄家沟和叠叠沟的林分平均树高、胸径、每 1 hm<sup>2</sup> 蓄积量、每 1 hm<sup>2</sup> 地上生物量均高于传统森林经营的其他 5 个点林分。固原市原州区不同经营模式下华北落叶松人工林的林分生长效果差异明显 ( $p < 0.05$ ), 不同立地林分生长效果由强到弱排序为黄家沟(0.995 8) > 叠叠沟(0.628 8) > 青石峡(0.224 6) > 红庄梁(0.222 7) > 马东山(0.159 8) > 程儿山(0.048 6) > 隆德沟(0)。[结论] 传统森林经营模式的林分生长效果较差, 实施多功能近自然森林抚育经营有利于培育大径材加速森林的生长发育。

**关键词:** 林分生长; 华北落叶松林; 隶属函数值法; 宁夏回族自治区固原市

**文献标识码:** A **文章编号:** 1000-288X(2023)05-0244-08 **中图分类号:** S753.5, S791.229

**文献参数:** 王正安, 余治家, 王振忠, 等. 华北落叶松人工林的林木生长经营效果[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 244-251. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.029; Wang Zhengang, Yu Zhijia, Wang Zhenzhong, et al. Growth and management effect of *Larix principis-rupprechtii* plantation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5): 244-251.

## Growth and Management Effect of *Larix Principis-rupprechtii* Plantation

### —A Case Study in Yuanzhou District, Guyuan City, Ningxia Hui Autonomous Region

Wang Zhengang<sup>1</sup>, Yu Zhijia<sup>1</sup>, Wang Zhenzhong<sup>2</sup>, Wu Miao<sup>1</sup>, She Ping<sup>1</sup>, Ma Jie<sup>1</sup>, Jia Baoguang<sup>1</sup>

(1. Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan, Ningxia

756000, China; 2. Guyuan Yuanzhou District Bureau of Natural Resources, Guyuan, Ningxia 756000, China)

**Abstract:** [Objective] The effect of growth and management of a *Larix principis-rupprechtii* plantation was analyzed in order to provide a reference for the scientific and rational management of *L. principis-rupprechtii* plantations by giving full attention to ecological functions and cost-effectiveness. [Methods] The methods used in this study included consulting archives, conducting interviews, and field investigations regarding the input costs and growth of stands of the main *L. principis-rupprechtii* under traditional forest management and under near-natural forest management in Yuanzhou District, Guyuan City, Ningxia Hui Autonomous Region located in the upper reaches of the Jinghe River basin. Measured parameters included input costs, average diameter at breast height, average tree height, stock volume per hectare, and aboveground biomass of per hectare. The fuzzy mathematics subordination function value method was used to quantitatively compare and evaluate the growth of trees. [Results] The growth of trees under different forest

收稿日期: 2022-10-15

修回日期: 2023-02-06

资助项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合资助项目“黄土高原泾河流域森林植被水文功能的形成与补偿机制”(U20A2085); 国家重点研发计划(2022YFF1300404); 宁夏回族自治区财政林业补助资金项目(宁林发[2022]22号)

第一作者: 王正安(1989—), 男(回族), 甘肃省天水市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事森林生态与森林经营研究。Email: 1731967640@qq.com。

通信作者: 余治家(1964—), 男(汉族), 宁夏回族自治区固原市人, 学士, 正高级职称高级林业工程师, 主要从事森林生态与特色林木培育研究。Email: lpsyzj@163.com。

management models was significantly dissimilar. The average height, diameter at breast height, stock volume per hectare, and aboveground biomass per hectare at Huangjiagou and Diediegou under near-natural forest management were greater than under traditional forest management. The comprehensive evaluation of the growth effect of the many plantations of *L. principis-rupprechtii* under different management models in Yuanzhou District of Guyuan City was extremely obvious ( $p < 0.05$ ). The stand growth effect followed the order (ranging from strong to weak) of Huangjiagou (0.995 8) > Diediegou (0.628 8) > Qingshixia (0.224 6) > Hongzhuangliang (0.222 7) > Madong Mountain (0.159 8) > Chengger Mountain (0.048 6) > Longdegou (0.000 0). [Conclusion] Tree growth under the traditional forest management model was poor. Therefore, implementation of multi-functional and near-natural target tree management measures is conducive to cultivating large diameter timber to accelerate the growth of forests.

**Keywords:** stand growth; *Larix principis-rupprechtii*; subordinate function values; Guyuan City of Ningxia Hui Autonomous Region

森林是陆地生态系统的主体,这是因为森林具有许多重要的生态功能,包括生态、经济、社会和文化等特殊功能决定了森林在维持生态安全、维护人类生存发展的基本条件中具有十分重要的特殊作用<sup>[1-3]</sup>。华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)作为中国北方的主要造林树种,于 20 世纪 60—70 年代引入宁夏回族自治区南部的六盘山地区。由于其对土壤适应性强的特性,主要用于土石山区造林,为宁南山区生态恢复建设的重要树种,在水源涵养林建设中发挥着重要作用<sup>[4]</sup>。2000 年国家天然林资源保护工程启动实施,六盘山全面禁伐封育,使生态得到恢复,同时也导致生物多样性降低、林分不稳定,林分单位面积蓄积量偏低,林分自我修复、自我完善功能弱,等级分化明显、生态整体功能弱化等问题显现,这一系列问题是林业生产实践必须解决的紧迫问题<sup>[5-6]</sup>。因此各省在“十四五”林业草原发展规划中,将森林质量精准提升工程纳入今后工作中,充分运用近自然育林营林理念,有利于形成生物多样性丰富、生态功能完备、流域景观完整度高的优质森林生态系统,推动林业高质量发展<sup>[7]</sup>。

近年来,随着人工林面积的不断扩大,学者们开始研究不同的森林经营模式对森林经营效果的影响,已经成为森林经营领域关注的热点之一<sup>[8]</sup>。如洪彦军<sup>[9]</sup>对甘肃小陇山林区人工林近自然森林经营模式试验成效进行研究,认为人工林近自然森林经营有利于实现经济效益、生态效益和社会效益,并带动林区增加就业;Bricefto-Elizondo E.等<sup>[10]</sup>认为通过森林经营也可以在不减少木材产量的前提下增加碳汇价值。杨晓勤等<sup>[11]</sup>对吉林省金沟岭林场典型的针叶林、阔叶林和针阔混交林研究表明,近自然经营在培育大径材上与传统经营(无干扰)差异显著,能显著地提高大径阶林木的收获量;林同龙<sup>[12]</sup>对福建松溪县旧县乡林场的杉木人工林进行研究,表明近自然经营模式的林分树种、生产力、植被多样性等均优于常规经营模

式;张象君等<sup>[13]</sup>以黑龙江省的落叶松人工纯林为研究对象,研究表明近自然改造有利于林下草本植物的发育和多样性的提高。总结前人的诸多研究可知,近自然森林经营能够促进林分生长、改善林分结构、促进林下植被多样性、提高土壤养分含量等<sup>[14-17]</sup>。因此研究和实践都证明近自然森林经营是解决中国人工林综合质量低、生态效益发挥不佳的有效途径,是中国现代森林经营的必然选择<sup>[17-19]</sup>。目前从造林成本入手对其不同经营模式下的林分结构研究报道较少。因此本文以固原市原州区分布的华北落叶松人工林为研究对象,采用室内查阅档案资料和野外调查相结合的方法,基于造林和经营管理的投入成本以及后期森林经营中林分的生长效果(投入成本、平均胸径、平均树高、每 1 hm<sup>2</sup> 蓄积量,每 1 hm<sup>2</sup> 地上生物量)为衡量指标,应用模糊数学隶属函数值法对干旱半干旱区原州区华北落叶松人工林的主要成林地的林分生长效果进行综合比较与评价,探究不同森林经营模式对华北落叶松人工林林分的经营管理效果,做出科学的评价与判断,提高森林经营整体水平,以期为提高林分质量和生物多样性保育提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于西北干旱区六盘山北侧的宁夏固原市原州区境内(106°04′55″—106°09′15″E, 35°54′12″—35°58′33″N)。该区地势南高北低,海拔 1 470 ~ 2 900 m,境内降水少、蒸发量大,干燥度较高,大陆性气候特征明显,属内陆暖温带半干旱区。年均气温 6.8 °C,无霜期 120 ~ 140 d,年均降水量在 300 ~ 550 mm,自南向北递减,降水量大多集中在 7—9 月,平均蒸发量 1 200 ~ 1 800 mm,年均日照时间 2 250 ~ 2 700 h,昼夜温差大,在 10 ~ 20 °C。林区土壤主要以灰褐土及黄土镶嵌分布,土地贫瘠、干旱多灾,水

土流失严重,生态环境脆弱,是泾河流域的典型区域之一,也是中国西北地区退耕区的典型代表。2000年4月自治区人民政府批转原林业厅《宁夏回族自治区退耕还林草试点示范实施方案》,确定固原等为首批退耕还林草试点示范县。在实施退耕还林还草和西部生态环境建设中,宁夏南部土石山区以扩大六盘山水源涵养林区为重点,有步骤、有计划地实施退耕还林工程,主要以栽植华北落叶松针叶林、油松等为主,其余的面积主要以草地、灌丛和农田为主<sup>[20-21]</sup>。

## 1.2 样地设置与调查

2022年8月,利用GPS定位系统在固原市原州

区对华北落叶松人工林开展了造林营林成本的经营效果调查,海拔在1 950~2 360 m,选取无明显人为破坏和病虫害的代表性典型地段林区,确定样地的地理位置,设置面积均为20 m×20 m的标准样地,测量并记录各样地的坡度、坡向等立地特征。对样地内华北落叶松林胸径5 cm以上乔木进行每木检尺,测定其株数、冠幅、胸径、林龄、树高及生长状况等指标。冠幅测定用钢卷尺测量树木的南北和东西方向宽度(cm);胸径测定在距离地面1.30 m高处用胸径尺(cm)测量;树高测定用伸缩式测高尺测量树木高度(m)。具体调查样地的基本情况见表1。

表1 固原市原州区华北落叶松人工林样地基本概况

Table 1 Basic characteristics of sample plot of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Yanzhou District, Guyuan City

样地编号	基本情况						立地类型				土壤概况	
	年均降雨量/mm	调查地点	地理坐标	林木权属	林地利用类型划分	类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位	厚度/cm	紧实度
1	<400	程儿山	36°3'45"N; 106°20'36"E	集体	有林地	荒山造林	1 927	15~20	阴坡、半阴坡	上	>100	松散
2	>400	隆德沟	35°47'24"N; 106°6'46"E	集体	有林地	退耕还林地	2 182	10~20	半阴、半阳坡	上	>100	松散
3	>400	青石峡	35°56'38"N; 106°17'35"E	集体	有林地	退耕还林地	1 950	10~20	阴坡、半阴坡	上	>100	松散
4	>400	马东山	36°8'35"N; 106°2'40"E	国有	有林地	荒山造林	2 026	10~20	阴坡、半阴坡	下	>100	适中
5	>400	红庄梁	35°54'0"N; 106°6'18"E	集体	疏林地	退耕还林地	2 200	10~20	阳坡、半阳坡	上	>100	松散
6	400~500	叠叠沟	35°56'17"N; 106°8'21"E	国有	有林地	荒山造林	2 190	10~25	阴坡、半阴坡	下	>100	疏松
7	400~500	黄家沟	36°51'42"N; 106°11'41"E	国有	有林地	荒山造林	2 360	10~20	阴坡、半阴坡	下	>100	疏松

## 1.3 造林成本的计算

以固原市原州区自然资源局林业技术人员访谈和造林档案的记录为主,对其造林苗木规格、苗木及运费(到造林地)、整地栽植情况和费用、浇水人工费、鼯鼠害及病虫害防治费、森林管护费等产生成本为主。

$$C=A+B+D+E+F \quad (1)$$

式中: $C$ 为造林成本总费用(元/hm<sup>2</sup>); $A$ 为当年苗木及运输费(元/hm<sup>2</sup>); $B$ 为整地费和栽植费(元/hm<sup>2</sup>); $D$ 为浇水人工费(元/hm<sup>2</sup>); $E$ 为鼯鼠及病虫害防治费(元/hm<sup>2</sup>); $F$ 为森林管护费(元/hm<sup>2</sup>)。

$$W=W_1+W_2+\dots+W_n \quad (2)$$

式中: $W$ 为后期经营成本总费用(元/hm<sup>2</sup>); $W_1$ 为第一次经营费用(元/hm<sup>2</sup>); $W_2$ 为第二次经营费用(元/hm<sup>2</sup>); $W_n$ 为第 $n$ 次经营费用(元/hm<sup>2</sup>)。

## 1.4 经营效果的计算

经营效果以样地内华北落叶松人工林投入成本、平均胸径、平均树高、每1 hm<sup>2</sup>蓄积量、每1 hm<sup>2</sup>地上

生物量5项为指标,其中地上生物量依据刘延惠等<sup>[22]</sup>

建立的六盘山地区华北落叶松地上生物量经验公式〔公式(3)],计算每株树的地上生物量,再累加获得整个样地的地上生物量。立木材积选用中国林科院编制的《宁夏六盘山华北落叶松立木材积表》二元立木材积表模型〔公式(4)],具体计算公式为:

$$\ln W=0.9100 \ln(D^2 H)-3.2417 \quad (3)$$

$$(R^2=0.9405)$$

式中: $W$ 为树木地上生物量(kg/株); $D$ 为胸径(cm); $H$ 为树高(m)。

$$V=0.2275 D^{1.9029} H^{1.3540} \quad (4)$$

式中: $V$ 为立木材积(m<sup>3</sup>); $D$ 为胸径(cm); $H$ 为树高(m)。

## 1.5 数据统计分析

数据分析通过SPSS 21.0统计软件和Excel 2003整理。采用模糊数学隶属函数法对数据进行分析,以确定各指标对华北落叶松人工林经营效果影响程度

评价其效果性。

隶属函数的计算方法<sup>[23]</sup>。

正向指标(越大越好的指标)采用

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (5)$$

反向指标(越小越好的指标)采用

$$Z_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (6)$$

式中: $Z_{ij}$ 为*i*处理*j*指标的隶属函数值; $X_{ij}$ 为*i*处理*j*指标的隶属函数值; $X_{i\min}$ 和 $X_{i\max}$ 分别为各处理指标值的最大值和最小值。

## 2 结果与分析

### 2.1 传统森林经营造林的费用成本

表 2 为传统森林经营造林初期华北落叶松各项费用的成本,在造林初期造林成本包括当年苗木费(元/株)、整地总价(元/hm<sup>2</sup>)、栽植费(元/hm<sup>2</sup>)、浇水

费(元/hm<sup>2</sup>)、鼯鼠害防治费(元/hm<sup>2</sup>)、林木有害生物防治费(元/hm<sup>2</sup>)、病虫害防治费(元/hm<sup>2</sup>)、管护费(元/hm<sup>2</sup>)等,在后期森林经营管理中不采取抚育、修剪等措施来管理,只是封山禁育。因此后期投入成本只计入管护费,其余投入成本可忽略不计。在造林初期成本计算按照原州区自然资源局造林工程档案和从事当地多年的林业技术人员回顾,通过 $C_1 = A + B + D + E + F$ 造林初期投入的成本计算可知原州区程儿山、隆德沟、青石峡、马东山、红庄梁这 5 个主要造林华北落叶松人工林的投入成本(元/hm<sup>2</sup>)为 $C_1$ (程儿山) $= A(375.75) + B(180) + D(0) + E(0) + F(660) = 1\ 215.75$ (元/hm<sup>2</sup>); $C_2$ (马东山) $= A(99.9) + B(52.5) + C(0) + E(0) + F(1515) = 1\ 667.4$ (元/hm<sup>2</sup>),同理得到隆德沟、红庄梁和青石峡的造林投入成本(元/hm<sup>2</sup>)都为 1 215.75。

表 2 固原市原州区造林初期各项费用成本

Table 2 Cost of various expenses at initial stage of afforestation in Yunzhou District, Guyan City

造林地点及年份		造林苗木规格					苗木及运费(到造林地)				
地点	造林年份	苗龄/a	苗木地径/cm	苗高/cm	是否带土球	土球直径/cm	当年苗木费/(元/株)	当年苗木费/(元·hm <sup>-2</sup> )	2022年苗木价格/(元/株)	2022年苗木价格/(元·hm <sup>-2</sup> )	
程儿山	2001	3	0.4	≥20	否	—	0.15	375.75	0.8	2004	
隆德沟	2001	3	0.4	≥20	否	—	0.15	375.75	0.8	2004	
青石峡	2001	3	0.4	≥20	否	—	0.15	375.75	0.8	2004	
马东山	1980	3	0.4	≥20	否	—	0.01	99.90	0.8	7992	
红庄梁	2001	3	0.4	≥20	否	—	0.15	375.75	0.8	2004	

地点	整地栽植情况和费用						浇水人工费				
	整地方式及规格/cm	整地用工/(d·hm <sup>-2</sup> )	工价/(元·d <sup>-1</sup> )	整地总价/(元·hm <sup>-2</sup> )	栽植费/(元/hm <sup>2</sup> )	株行距/m	造林密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	整地及栽植费/(元·hm <sup>-2</sup> )	浇水费/(元/株)	浇水次数	浇水费/(元·hm <sup>-2</sup> )
程儿山	鱼鳞坑(80×60×50)	15	10	150	30	2×2	2 505	180	0	0	0
隆德沟	鱼鳞坑(80×60×50)	15	10	150	30	2×2	2 505	180	0	0	0
青石峡	鱼鳞坑(80×60×50)	15	10	150	30	2×2	2 505	180	0	0	0
马东山	水平阶宽 50, 栽植坑 30×30×30	45	1	45	1.5	2×1.5 (每穴 3 株)	9 990	52.5	0	0	0
红庄梁	鱼鳞坑(80×60×50)	15	10	150	30	2×2	2 505	180	0	0	0

地点	鼯鼠害及病虫害防治费				森林管护费		
	鼯鼠害防治费/(元/株)	鼯鼠害防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	林木有害生物防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	病虫害防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	管护费依据/(元·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	支付年限(林龄)	多年管护费/(元·hm <sup>-2</sup> )
程儿山	0	0	0	0	30(按退耕还林)	自 2001 年起	660
隆德沟	0	0	0	0	30(按退耕还林)	自 2001 年起	660
青石峡	0	0	0	0	30(按退耕还林)	自 2001 年起	660
马东山	0	0	0	0	2000—2010 年,15 元/a 2011—2016 年,75 元/a 2017—2022 年,150 元/a	自 2000 年起	1 515
红庄梁	0	0	0	0	30(按退耕还林)	自 2001 年起	660

注:管护费用数据来自原州区自然资源局提供相关文件资料计算。

### 2.2 近自然森林抚育经营的费用成本

表 3 为传统森林经营造林初期华北落叶松各项

费用的成本,在造林初期造林成本包括当年苗木费(元/株)、整地总价(元/hm<sup>2</sup>)、栽植费(元/hm<sup>2</sup>)、浇水

费(元/hm<sup>2</sup>)、鼯鼠害防治费(元/hm<sup>2</sup>)、林木有害生物防治费(元/hm<sup>2</sup>)、病虫害防治费(元/hm<sup>2</sup>)、管护费(元/hm<sup>2</sup>)等。在后期森林经营管理中不采取抚育、修剪等措施来加强森林抚育管理,只是封山禁育,因此后期投入成本只计入管护费,其余投入成本可忽略不计。在造林初期成本计算按照原州区林业和草原局

造林工程档案和从事当地多年的林业技术人员访谈,通过  $C=A+B+D+E+F$  造林初期投入的成本可知原州区叠叠沟、水沟林场黄家沟这 2 个主要造林的投入成本(元/hm<sup>2</sup>)为  $C_1$ (黄家沟) $=A(99.9)+B(52.5)+C(0)+E(0)+F(1515)=1\ 667.4$ (元/hm<sup>2</sup>),同理得到叠叠沟的造林投入成本(元/hm<sup>2</sup>)为 1 928.25。

表 3 固原市原州区造林初期各项费用成本

Table 3 Cost of various expenses at initial stage of afforestation in Yunzhou District, Guyan City

造林地点及年份		造林苗木规格					苗木及运费(到造林地)				
地点	造林年份	苗龄/a	苗木地径/cm	苗高/cm	是否带土球	土球直径/cm	当年苗木费/(元/株)	当年苗木费/(元·hm <sup>-2</sup> )	2022年苗木价格/(元/株)	2022年苗木价格/(元·hm <sup>-2</sup> )	
叠叠沟	1995	3	0.4	≥20	否	—	0.15	375.75	0.8	2004	
黄家沟	1984	3	0.4	≥20	否	—	0.01	99.9	0.8	7992	
整地栽植情况和费用							浇水人工费				
地点	整地方式及规格/cm	整地用工/(d·hm <sup>-2</sup> )	工价/(元·d <sup>-1</sup> )	整地总价/(元·hm <sup>-2</sup> )	栽植费/(元·hm <sup>-2</sup> )	株行距/m	造林密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	整地及栽植费/(元·hm <sup>-2</sup> )	浇水费/(元/株)	浇水次数	浇水费/(元·hm <sup>-2</sup> )
叠叠沟	鱼鳞坑(80×60×50)	15	2	30	7.5	2×2	2 505	37.5	0	0	0
黄家沟	水平阶宽 50, 栽植坑 30×30×30	45	1	45	7.5	2×1.5 (每穴 3 株)	9 990	52.5	0	0	0
鼯鼠害及病虫害防治费					森林管护费						
地点	鼯鼠害防治费/(元/株)	鼯鼠害防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	林木有害生物防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	病虫害防治费/(元·hm <sup>-2</sup> )	管护费依据/[元/(hm <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )]	支付年限(林龄)/a	多年管护费/(元/hm <sup>2</sup> )				
叠叠沟	0	0	0	0	2000—2010年,15元/a 2011—2016年,75元/a 2017—2022年,150元/a	自 2000 年起	1 515				
黄家沟	0	0	0	0	2000—2010年,15元/a 2011—2016年,75元/a 2017—2022年,150元/a	自 2000 年起	1 515				

注:管护费用数据来源于原州区自然资源局提供相关文件资料。

在造林后期的森林经营中,造林后期中幼林抚育和实施森林质量精准质量提升各项费用的成本见表 4。其中中幼林抚育成本按 1 800(元/hm<sup>2</sup>)招标,具体包括卫生伐,修枝,除草,补植等;2020 年采用“目标树”作业法,实施森林质量精准质量提升工程费用按 13 500(元/hm<sup>2</sup>)招标,具体包括:修枝(375 元/hm<sup>2</sup>)、抚育间伐(4 320 元/hm<sup>2</sup>)、造材(2 250 元/hm<sup>2</sup>)、集材+运输(2 250 元/hm<sup>2</sup>)、归楞(1 125 元/hm<sup>2</sup>)、抚育剩余物处理(1 125 元/hm<sup>2</sup>)、调查设计与林木分类(1 800 元/hm<sup>2</sup>),其他(255 元/hm<sup>2</sup>)。

通过后期森林经营经费用投入,利用公式  $W=W_1+W_2+\dots+W_n$  计算可知原州区叠叠沟、水沟黄家沟和水沟坪经营成本为(元/hm<sup>2</sup>)为  $W$ (叠叠沟) $=W_1(1\ 928.25)+W_2(13\ 500)=15\ 428.25$ (元/hm<sup>2</sup>),同理可以得到水沟林场黄家沟经营投入成本

(元/hm<sup>2</sup>)为 15 167.4。

“目标树”作业法具体内容:①目标树选择要遵循以下几点原则。“两远看”:看干形是否通直,看树冠是否紧实圆满;“三近看”:看林木是否实生,看主干特别是近地面主干部分是否有机械损伤,生长力是否旺盛,看有无病虫害;“四优先”:优先珍贵树种,优先乡土树种,针叶纯林中优先阔叶树种,混交林中优先比较少的树种。②林木分类,即将全部林木分为目标树、生态木、干扰木、预留木。③目标树空间距离与数量确定原则:根据林分、立地条件及树种生长特性,确定目标树数量。相邻目标树距离确定:针叶树大约为目标树胸径的 20 倍。基于距离推算每 1 hm<sup>2</sup> 的目标树数量。在森林质量精准提升工程实施中目标树每 1 hm<sup>2</sup> 一般选择 120~150 株,相邻目标树的距离应不小于 7 m。

表 4 固原市原州区造林后期森林经营各项费用成本

Table 4 Costs of forest management in later stage of afforestation in Yunzhou District, Guyan City

地点	森林经营时间及方式		森林经营产生费用	
	传统森林经营	近自然森林经营	抚育费/ (元·hm <sup>-2</sup> )	具体森林抚育费说明
叠叠沟	2014 年中幼林抚育 1 次	2019 年采用“目标树”作业法, 实施森林质量精准质量提升工程	15 300	(1) 2014 年中幼林抚育工程, 总计 1 800 元/hm <sup>2</sup> 。包括: 卫生伐, 修枝, 除草, 补植等 (2) 2020 年森林质量精准提升工程, 总计 13 500 元/hm <sup>2</sup> , 包括: 修枝(375 元/hm <sup>2</sup> )、抚育间伐(4 320 元/hm <sup>2</sup> )、造材(2 250 元/hm <sup>2</sup> )、集材+运输(2 250/hm <sup>2</sup> )、归楞(1 125 元/hm <sup>2</sup> )、抚育剩余物处理(1 125 元/hm <sup>2</sup> )、调查设计与林木分类(1 800 元/hm <sup>2</sup> ), 其他(255 元/hm <sup>2</sup> )
黄家沟	2014 年中幼林抚育 1 次	2019 年采用“目标树”作业法, 实施森林质量精准质量提升工程	15 300	(1) 2014 年中幼林抚育工程, 总计 1 800 元/hm <sup>2</sup> 。包括: 卫生伐, 修枝, 除草, 补植等 (2) 2020 年森林质量精准提升工程总计 13 500 元/hm <sup>2</sup> , 包括: 修枝(375 元/hm <sup>2</sup> )、抚育间伐(4 320 元/hm <sup>2</sup> )、造材(2 250 元/hm <sup>2</sup> )、集材+运输(2 250/hm <sup>2</sup> )、归楞(1 125 元/hm <sup>2</sup> )、抚育剩余物处理(1 125 元/hm <sup>2</sup> )、调查设计与林木分类(1 800 元/hm <sup>2</sup> ), 其他(255 元/hm <sup>2</sup> )

注: 抚育费数据来源于原州区自然资源局(森林质量精准提升项目招标投标投资概算指标表等)。

### 2.3 不同森林经营下林木生长的效果

由图 1 可知, 不同森林经营模式下林木生长效果差异明显, 林分平均树高(m)依次为: 黄家沟(15.7) > 叠叠沟(12.2) > 红庄梁(9.5) > 马东山(9.3) > 青石峡(9.2) > 程儿山和隆德沟(7.5), 可知黄家沟林分平均树高是程儿山和隆德沟的 2 倍。林分平均胸径(cm)大小依次为: 黄家沟(17.65) > 叠叠沟(14.26) > 红庄梁(13.56) > 马东山(11.50) > 青石峡(11.20) > 程儿山(9.18) > 隆德沟(8.76), 同样可知黄家沟林分平均胸径是隆德沟的 2 倍。林分蓄积量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)大小依

次为: 黄家沟(347.09) > 叠叠沟(135.11) > 青石峡(115.94) > 红庄梁(92.72) > 马东山(83.42) > 程儿山(68.74) 和隆德沟(46.26), 黄家沟林分蓄积量是隆德沟的 7.5 倍。林分地上生物量(t/hm<sup>2</sup>)大小依次为: 黄家沟(87.47) > 叠叠沟(63.74) > 青石峡(46.46) > 红庄梁(29.15) > 马东山(25.56) > 程儿山(24.57) > 隆德沟(16.84)。

综上可知, 黄家沟每 1 hm<sup>2</sup> 林分地上生物量是隆德沟的 5 倍。因此抚育区林分效果优于未抚育区的林分效果。

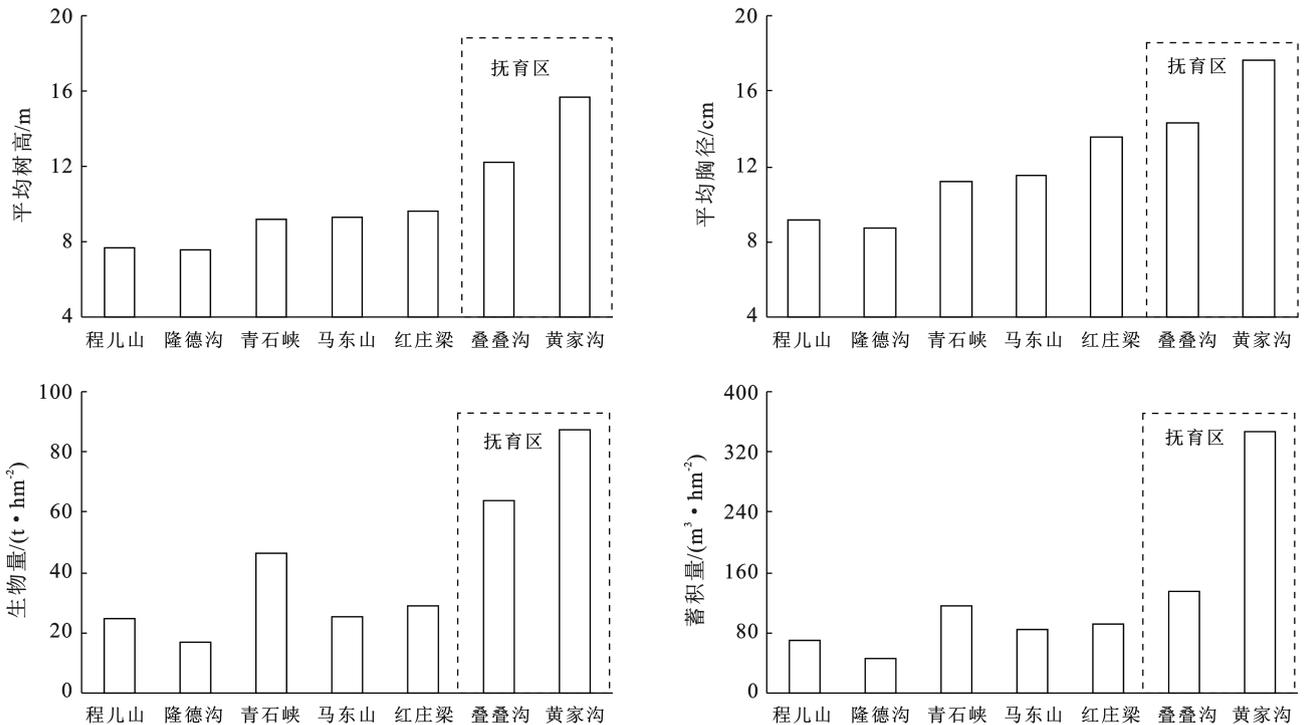


图 1 固原市原州区不同调查地点华北落叶松人工林生长效果

Fig.1 Growth effect of *Larix principis-rupprechtii* plantation at different investigated locations in Yunzhou District, Guyan City

## 2.4 不同森林经营模式效果评价

为了对不同森林经营模式的效果进行评价,选取不同经营模式在造林初期的投入及后期经营效果的

5 个指标,即投入成本、平均胸径、平均树高、每 1 hm<sup>2</sup> 蓄积量、每 1 hm<sup>2</sup> 地上生物量为衡量指标,采用模糊数学隶属函数值法对其效果进行评价结果(见表 5)。

表 5 固原市原州区不同森林经营模式效果评价

Table 5 Effect evaluation of different forest management models in Yunzhou District, Guyan City

调查地点	评价指标计算值						排序
	投入成本	平均胸径	平均树高	蓄积	地上生物量	平均值	
程儿山	0.000 0	0.047 2	0.011 6	0.074 7	0.109 6	0.048 6	6
隆德沟	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	7
青石峡	0.000 0	0.274 0	0.198 1	0.231 6	0.419 5	0.224 6	3
马东山	0.031 8	0.307 9	0.212 5	0.123 5	0.123 5	0.159 8	5
红庄梁	0.000 0	0.539 7	0.244 9	0.154 4	0.174 4	0.222 7	4
叠叠沟	1.000 0	0.618 9	0.565 9	0.295 4	0.664 0	0.628 8	2
黄家沟	0.981 6	1.000 1	1.000 8	1.000 0	1.000 0	0.995 8	1

效果评价排序是各地点不同森林经营模式效果好坏的综合量化表现。通过对 7 个地点计算得出不同经营模式效果的综合指数,其值越大,表示效果越强,反之其值越小,表示效果越弱。由表 5 可知,固原市原州区主要造林华北落叶松人工林的 7 个造林点的成本投入和后期经营林分生长效果差异明显,由强到弱排序为:黄家沟(0.995 8) > 叠叠沟(0.628 8) > 青石峡(0.224 6) > 红庄梁(0.222 7) > 马东山(0.159 8) > 程儿山(0.048 6) > 隆德沟(0.000 0),可见传统的森林经营模式的林分生长效果较差,实施多功能近自然目标树经营措施,有利于培育大径材加速森林生长的发育。

## 3 讨论

森林抚育是进行科学森林经营、管理的重要内容,是优化森林空间结构布局、提高林分质量、促进林木生长、提高森林生产力、增强森林生态系统抗逆能力,维持森林生态系统健康和提高森林生态系统生态功能的重要途径<sup>[24]</sup>。因此,通过森林抚育,提高中国森林质量和生态效益是当前林业生产所面临的迫切任务<sup>[25]</sup>。固原市原州区属于干旱半干旱的气候区,华北落叶松是该地区生态恢复建设中的重要造林树种之一。早期造林成本主要包括整地费、苗木费、人工费和管护费等,从调查的几个点来看,传统造林及后期经营费用(元/hm<sup>2</sup>)程儿山、隆德沟、青石峡、马东山、红庄梁这 5 个主要造林华北落叶松人工林的投入成本平均为 1 306.1,而早期叠叠沟、水沟林场黄家沟这 2 个主要造林的投入成本(元/hm<sup>2</sup>)平均 1 797.8,投入成本几乎相当,但由于传统经营模式,后期程儿山、隆德沟、青石峡、马东山、红庄梁这 5 个点

基本未采取任何森林抚育措施,只是封山禁育,因此后期经营成本投入主要用于管护。相比叠叠沟和黄家沟,分别于 2014 年开展中幼林抚育包括卫生伐,修枝,除草,补植等,总计 1 800 元/hm<sup>2</sup>;2019 年又通过近自然森林抚育“目标树”作业法,实施森林质量精准质量提升工程。具体费用包括修枝、抚育间伐、造材集材+运输、归楞、抚育剩余物处理、调查设计与林木分类等,总计 13 500 元/hm<sup>2</sup>;总体而言在传统经营基础上,进行了 2 次抚育经营管理,需多投入 15 300 元/hm<sup>2</sup>。有研究表明,通过森林抚育间伐经营,油松<sup>[26-27]</sup>、侧柏<sup>[28]</sup>、华北落叶松等<sup>[29]</sup>树种的林分生长量与林分结构均明显增加,这与本研究基本一致。通过森林抚育经营模式的黄家沟和叠叠沟 2 个点平均胸径、平均树高、平均单株材积、平均单株生物量均显著高于传统森林抚育。林平等<sup>[30]</sup>对延庆县的华北落叶松人工林进行了 4 个间伐强度的经营处理,结果表明合适强度的间伐经营可以提高林下植被的多样性,促进林下植被发育。李颖等<sup>[6]</sup>对固原市原州区叠叠沟华北落叶松研究表明,抚育间伐样地生物多样性明显高于对照样地,且随着林分密度增大先增加后减少的趋势。当然林分质量受立地条件、环境因子、林分密度等多种因素的综合影响,林分密度直接影响到森林生态系统内水分和光、热的合理分配,进而改变林下植物多样性。调控密度最有效方法就是森林抚育措施,近自然经营模式越来越发挥出其优势,而没有采伐和抚育的无干扰传统经营模式妨碍了林下植被的生长。随着林龄的增加,林下已经不适合植被的生长。因此加强森林抚育管理对提高森林资源的生态、经济和社会效益,实现森林资源的永续利用和森林生态系统稳定高效具有重大意义。

## 4 结论

在干旱半干旱地区的固原市原州区,通过2种不同森林经营模式效果研究表明,近自然森林经营的林分平均胸径、平均树高、每1 hm<sup>2</sup>蓄积量、每1 hm<sup>2</sup>地上生物量优于传统的森林经营模式。通过隶属函数值法效果评价结果表明,由强到弱排序为:黄家沟(0.995 8) > 叠叠沟(0.628 8) > 青石峡(0.224 6) > 红庄梁(0.222 7) > 马东山(0.159 8) > 程儿山(0.048 6) > 隆德沟(0.0)。由此可见,传统的森林经营模式的林分生长效果较差,实施近自然森林抚育经营,有利于培育大径材加速森林生长的发育。因此初步建议研究区内对应该过密林分通过近自然森林抚育模式适当抚育间伐,以保障林分结构合理和林下植物多样性,有效促进林分健康发展。

### 【参 考 文 献】

[1] 李素英,刘钟龄,常英,等.内蒙古典型草原初级生产力的补偿性与稳定性[J].干旱区资源与环境,2014,28(1):1-8.

[2] 徐馨,王法明,邹碧,等.不同林龄木麻黄人工林生物多样性与土壤养分状况研究[J].生态环境学报,2013,22(9):1514-1522.

[3] 中国林业科学研究院“多功能林业”编写组.中国多功能林业发展道路探索[M].北京:中国林业出版社,2010.

[4] 马正锐,程积民,侯立春,等.六盘山华北落叶松和油松林典型林地生长及固碳速率研究[J].西北林学院学报,2014,29(1):8-14.

[5] 李钰.宁夏六盘山野生动植物资源保护法律制度研究[J].宁夏社会科学,2011(2):13-18.

[6] 李颖,余治家,余萍,等.林分密度对人工华北落叶松林下植物多样性影响:以六盘山叠叠沟小流域为例[J].甘肃农业大学学报,2021,56(2):114-120.

[7] 兰倩,吴水荣,邬可义,等.近自然小流域森林经营理论与实践[J].世界林业研究,2016,29(2):7-11.

[8] 梅梦媛,雷一东.我国人工林新时代发展形势分析[J].世界林业研究,2019,32(3):73-77.

[9] 洪彦军.小陇山林区人工林近自然森林经营模式试验成效分析[J].甘肃科技,2009,25(5):133-135.

[10] Briceño-Elizondo E, García-Gonzalo J, Peltola H, et al. Carbon stocks and timber yield in two boreal forest ecosystems under current and changing climatic conditions subjected to varying management regimes [J]. Environmental Science & Policy, 2006,9(3):237-252.

[11] 杨晓勤,戎建涛.不同森林经营模式对东北天然次生林木材收获的影响[J].山东林业科技,2013,43(3):16-19.

[12] 林同龙.杉木人工林近自然经营技术的应用效果研究

[J].中南林业科技大学学报,2012,32(3):11-16.

[13] 张象君,王庆成,王石磊,等.小兴安岭落叶松人工纯林近自然化改造对林下植物多样性的影响[J].林业科学,2011,47(1):6-14.

[14] 张鼎华,叶章发,王伯雄.“近自然林业”经营法在杉木人工幼林经营中的应用[J].应用与环境生物学报,2001,7(3):219-223.

[15] 贾忠奎,温志勇,贾芳,等.北京山区侧柏人工林水源涵养功能对抚育间伐的响应[J].水土保持学报,2012,26(1):62-66.

[16] 吴瑶,李凤日,秦凯伦,等.近自然经营技术对红松林土壤化学性质的影响[J].东北林业大学学报,2014,42(1):76-79.

[17] 刘延滨,王庆成,王承义,等.退化落叶松人工林近自然化改造对土壤微生物及养分的影响[J].生态学杂志,2012,31(11):2716-2722.

[18] 杜强,张永涛.近自然林业在我国的应用[J].中国水土保持科学,2010,8(1):119-124.

[19] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等.我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J].西北林学院学报,2008,23(2):184-188.

[20] 孙新章,谢高地,甄霖.泾河流域退耕还林(草)综合效益与生态补偿趋向:以宁夏回族自治区固原市原州区为例[J].资源科学,2007,29(2):194-200.

[21] 樊新刚,米文宝,杨美玲.宁南山区退耕还林还草的生态补偿机制探讨[J].水土保持研究,2005,12(2):174-177.

[22] 刘延惠,王彦辉,于澎涛,等.六盘山主要植被类型的生物量及其分配[J].林业科学研究,2011,24(4):443-452.

[23] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J].草地学报,2006,14(2):142-146.

[24] 刘桂森.浅论我国森林抚育现状与对策[J].科技致富向导,2013(14):329.

[25] 冯强,甘世书,龚文才.我国森林现状及抚育探讨[J].中南林业调查规划,2015,34(2):15-17.

[26] 李春义,马履一,王希群,等.抚育间伐对北京山区侧柏人工林林下植物多样性的短期影响[J].北京林业大学学报,2007,29(3):60-66.

[27] 盛升,刘晓静,贾刚,等.鲁山林场油松抚育间伐效果分析[J].山东林业科技,2015,45(2):66-68.

[28] 段劫,马履一,贾黎明,等.抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响[J].生态学报,2010,30(6):1431-1441.

[29] 王芸,赵鹏祥,杨永辉,等.间伐对华北落叶松林分结构稳定性的影响[J].西北林学院学报,2022,37(2):193-199.

[30] 林平,刘勇,李国雷,等.间伐强度对华北落叶松人工林植被物种多样性的影响[J].中国农学通报,2006,22(8):158-161.