

黄婷,郝家田,杜一尘,等. 青海三江源地区三种天然圆柏林更新特征. 应用生态学报, 2022, 33(2): 297-303

Huang T, Hao J-T, Du Y-C, et al. Regeneration characteristics of three natural *Juniperus* forests in the Three-River Headwater Region of Qinghai Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(2): 297-303

## 青海三江源地区三种天然圆柏林更新特征

黄婷<sup>1</sup> 郝家田<sup>2</sup> 杜一尘<sup>2</sup> 田翠翠<sup>2</sup> 张婧<sup>2</sup> 王海<sup>2</sup> 侯琳<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>国家林业和草原局西北调查规划设计院, 西安 710048)

**摘要** 为明确青海三江源地区3种天然圆柏林的更新特征及其主导影响因子,对天然林保护与经营提供参考,本研究评价了圆柏林天然更新等级,分析了林分因子和林地土壤因子对圆柏林天然更新的影响。结果表明:3种天然圆柏林更新不良,更新潜力不足。大果圆柏林、祁连圆柏林和密枝圆柏林平均更新密度分别为332、279和202株·hm<sup>-2</sup>,更新个体的高度集中在1~3 m。大果圆柏林下有极少量幼苗存在,数量为12株·hm<sup>-2</sup>,密枝圆柏林和祁连圆柏林下无幼苗存在。大果圆柏林更新密度与林分密度、林地土壤有机质和有效磷均呈显著正相关,与灌木盖度呈显著负相关;密枝圆柏林更新密度与草本盖度、人为干扰度、林地坡度和林地土壤全氮均呈显著负相关,与土壤含水率呈显著正相关;祁连圆柏林更新密度与林分密度、林地土壤速效钾和有效磷均呈显著正相关,与草本盖度呈显著负相关。多元回归分析显示,大果圆柏林更新主要受林下灌木盖度和林地土壤有效磷影响;密枝圆柏林更新主要受林下草本盖度、林地土壤全氮和人为干扰影响;祁连圆柏林更新主要受林下草本盖度和林地土壤速效钾影响。为促进三江源天然圆柏林的保护和天然更新,应加强森林封禁管护力度,合理调控林下灌草盖度,提高林地土壤肥力,改善林内生境。

**关键词** 三江源; 圆柏林; 天然更新; 林分因子; 土壤因子

**Regeneration characteristics of three natural *Juniperus* forests in the Three-River Headwater Region of Qinghai Province, China.** HUANG Ting<sup>1</sup>, HAO Jia-tian<sup>2</sup>, DU Yi-chen<sup>2</sup>, TIAN Cui-cui<sup>2</sup>, ZHANG Jing<sup>2</sup>, WANG Hai<sup>2</sup>, HOU Lin<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Northwest Surveying, Planning and Designing Institute of National Forestry and Grassland Administration, Xi'an 710048, China).

**Abstract:** The aims of this study were to clarify the regeneration characteristics and dominant factors affecting the regeneration of three natural *Juniperus* forests in the Three-River Headwater Region of Qinghai Province, and thus to provide a reference for the protection and management of natural forests. We evaluated the natural regeneration levels of *Juniperus* forests, and the effects of stand factors and soil factors on natural regeneration. The results showed that three natural *Juniperus* forests were poorly regenerated, with insufficient regeneration potential. The average regeneration density of *J. tibetica* forest, *J. przewalskii* forest and *J. convallium* forest was 332, 279 and 202 ind·hm<sup>-2</sup>, respectively. The height range of regenerate individuals was concentrated in 1-3 m. Only a few seedlings (12 ind·hm<sup>-2</sup>) were found under the *J. tibetica* forest, and no seedlings were found under the *J. convallium* and *J. przewalskii* forests. The regeneration density of *J. tibetica* forest was significantly positively correlated with stand density, soil organic matter and available phosphorus, and negatively correlated with shrub coverage. The regeneration density of *J. convallium* forest was significantly negatively correlated with herb coverage, human disturbance degree, woodland slope and soil total nitrogen, and positively correlated with soil water content. The regeneration density of *J. przewalskii* forest was significantly positively correlated with stand density, soil available potassium and available phosphorus, but negatively correlated with herb coverage. Results of multiple regression analysis showed that the regeneration of *J. tibetica* forest was mainly affected by understory shrub coverage and soil available phosphorus, that of *J. convallium* forest was mainly affected by understory herb coverage, soil total nitrogen and human disturbance, and that of *J. przewalskii* forest was mainly affected by understory herb coverage and soil available potassium. It was necessary to strengthen forest enclosure, management and protection, rationally regulate the coverage of understory vegetation, increase soil fertility and improve biotope in the forest, which would promote the protection and natural regeneration of natural *Juniperus* forests in the Three-River Headwater Region.

**Key words:** Three-River Headwater Region; *Juniperus* forest; natural regeneration; stand factor; soil factor.

本文由国家林业和草原局西北调查规划设计院科研项目(K4030218362, LC-2-12)资助。

2021-06-17 收稿, 2021-08-25 接受。

\* 通讯作者 E-mail: houlin\_1969@nwsuaf.edu.cn

天然更新是林木通过自我繁殖形成新一代幼林的过程,是森林生态系统健康和稳定的基础<sup>[1-2]</sup>。森林成功的天然更新却受制于诸多生态因子的作用<sup>[3]</sup>。有研究表明,森林天然更新受林木生态特性、林分结构、土壤环境和外界干扰等因素直接或间接影响<sup>[4-7]</sup>。其中,林分因子通过调控林内微环境的水热状况、营养元素循环等方面对群落的更新起着重要作用,林地土壤的理化特征也直接影响森林生产力与恢复力<sup>[2]</sup>。有研究表明,林分密度、草本盖度较高的林分中,更新苗生长不良且数量少<sup>[8]</sup>;另有研究发现,更新苗在生长早期主要受土壤速效磷、碱解氮含量的影响,土壤有机质含量和土壤含水率越高,越有利于幼苗存活与生长<sup>[9-10]</sup>;还有研究认为,动物的踩踏与啃食会严重降低苗木成活率,影响更新<sup>[11]</sup>。因此,明晰森林的更新特征和影响其更新的主导因子,是实现森林可持续经营的关键。

青海三江源是中国面积最大的重点自然保护区,在改善生态环境、发挥森林生态功能等方面具有重大作用<sup>[12]</sup>。明确三江源地区天然林更新的现状和影响因子对天然林更新的认识和天然林的保护具有重要意义,但目前关于高寒地带的森林更新鲜有研究,对于天然林的更新机制仍不明晰。而大果圆柏(*Juniperus tibetica*)、密枝圆柏(*Juniperus convallium*)和祁连圆柏(*Juniperus przewalskii*)是刺柏属的主要乔木树种,因其耐旱、耐寒,成为构成三江源地区天然林的优势树种<sup>[12-13]</sup>,以刺柏属主要树种为优势种的天然林在涵养水源、维持生态系统多样性等方面发挥着重要作用。目前,有关三江源地区刺柏属树种的研究多侧重于单个树种的生长变化、群落特征、资源利用等方面<sup>[13-15]</sup>,缺乏刺柏属主要树种为优势种的天然林更新的研究,更新机制也尚不明确。因此,本文对三江源地区3种天然圆柏林更新现状进行研究,分析林分因子和土壤因子对3种圆柏天然更新的影响,探讨影响更新的主导因子,为圆柏林的科学经营和三江源地区天然林的合理保护提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

分别选取分布于三江源地区的果洛藏族自治州班玛县境内玛可河林场的大果圆柏、玉树囊谦县境内江西林场的密枝圆柏和黄南州泽库县麦秀林场的祁连圆柏天然林作为研究对象。玛可河林场(32°36′—32°58′N,100°40′—101°15′E)的气候属高原大陆性气候,年均温2.4℃,年降水量635.7mm,年蒸发量1282.1mm,土壤类型以暗棕壤土为主;江西林场(32°01′—32°15′N,96°46′—97°10′E)的气候属青藏高原气候,年均温2.9℃,年降水量513.3mm,年蒸发量1620.1mm,土壤类型以森林灰褐土为主;麦秀林场(35°08′—35°21′N,101°46′—102°04′E)的气候属温带半干旱气候,年均温为2.8℃,年降水量528.2mm,年蒸发量1323.8mm,土壤类型以山地棕钙土为主。3个林场的部分林地均有放牧现象,且历史上林分遭到过采伐。

### 1.2 野外调查与样品采集

2018和2019年7—8月,在查阅当地森林资源档案和全面踏查的基础上,选取具有代表性且立地条件基本一致的圆柏林布设样地,其中玛可河林场设置17个大果圆柏群落调查样地,江西林场设置16个密枝圆柏群落调查样地,麦秀林场设置18个祁连圆柏群落调查样地,共计51个20m×20m的群落调查样地(表1)。测定样地经纬度、海拔、坡向、坡度、林分郁闭度,记录样地坡位、干扰情况等信息,对样地内的乔木进行每木检尺,测定并记录树种名、胸径(DBH)、树高。在每个样地内按照对角线法设置5个2m×2m的灌木样方,在每个灌木样方中设置1个1m×1m的草本样方。调查灌木层和草本层的植物种类、数量、高度、盖度。根据林分更新情况,设置5个1m×1m的更新样方,在更新样方中调查基径<5cm更新幼苗、幼树的基径、高度、株数。在每个群落样地内,按照“S”形设置土壤采样点,用直径为5cm的土钻分别采集0~10和10~20cm

表1 样地基本概况

Table 1 General situation of the plots

林型 Forest type	地点 Site	样地数 Plot number	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)
大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest	玛可河林场 Makehe Forest Farm	17	3650~3920	22~50
密枝圆柏林 <i>Juniperus convallium</i> forest	江西林场 Jiangxi Forest Farm	16	3520~3800	28~50
祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest	麦秀林场 Maixiu Forest Farm	18	3115~3540	20~45

2 个土层土壤样品,同时用 100 cm<sup>3</sup>的土壤环刀采集各土层的原状土。同一样地、同一土层深度用土钻采集的土样混合均匀,对采集的土壤样品测定鲜重,处理后测定土壤理化性质。

### 1.3 土壤样品分析

土壤 pH 采用电位法测定,有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度计测定,有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,土壤含水率采用烘干法测定<sup>[16]</sup>。

### 1.4 人为干扰程度确定

利用相对影响法确定 3 种圆柏林的人为干扰程度<sup>[17]</sup>。根据对样地人为干扰情况的调查,选取林分密度、伐桩密度、放牧程度作为干扰因素,其中,以牲畜粪便数量和足蹄印数量来定量放牧程度<sup>[18]</sup>。计算每块样地的林分密度、伐桩密度、放牧程度 3 个干扰因素对圆柏林人为干扰程度的相对值,将 3 个干扰因素干扰程度的相对值之和作为干扰强度值。

### 1.5 龄级划分与更新等级评定

采用径级代替龄级分析种群年龄结构特征, DBH<5 cm 的个体按基径每 2.5 cm 为一级, DBH≥5 cm 的个体按胸径每 5 cm 为一级,三种圆柏的龄级结构均划分为 9 个龄级<sup>[19]</sup>。I 龄级: 基径<2.5 cm; II 龄级: 2.5≤基径<5 cm; III 龄级: 5≤DBH<10 cm; IV 龄级: 10≤DBH<15 cm; V 龄级: 15≤DBH<20 cm; VI 龄级: 20≤DBH<25 cm; VII 龄级: 25≤DBH<30 cm; VIII 龄级: 30≤DBH<35 cm; IX 龄级: DBH≥35 cm。根据龄级划分不同的龄级组: 幼龄( I ~ III

级)、中龄( IV ~ VI 级)、老龄( VII ~ IX 级)<sup>[20]</sup>。更新等级依据国家《森林资源连续清查技术规程》( GB/T 38590—2020)<sup>[21]</sup>评价标准。更新个体划分为幼苗( 高度<30 cm) 和幼树( 高度≥30 cm 且基径<5 cm)<sup>[1]</sup>。结合生长现状,将更新个体高度划分为 H<sub>1</sub>( <0.3 m)、H<sub>2</sub>( 0.3~1 m)、H<sub>3</sub>( 1~2 m)、H<sub>4</sub>( 2~3 m)、H<sub>5</sub>( 3~4 m)、H<sub>6</sub>( >4 m) 共 6 个高度级<sup>[22]</sup>。

### 1.6 数据处理

采用 SPSS 22.0 对不同圆柏林下更新密度及影响因子进行分析,通过单因素方差分析( one-way ANOVA) 和 LSD 多重比较法( α=0.05) 分析 3 种不同圆柏群落的林分特征差异与土壤理化差异,运用 Pearson 相关系数表征林分因子和土壤因子对圆柏更新的影响,采用逐步多元回归分析探讨影响圆柏更新的主导因子。在进行方差分析、回归分析前,先对数据进行正态检验,若数据不服从正态则采用对数转换、平方根转换等。采用 Origin 2018 作图。图表中数据为平均值±标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 天然圆柏群落与林地土壤特征

天然圆柏群落层次结构明显,分为乔、灌、草 3 层。从表 2 可以看出 3 种圆柏林林分郁闭度、密度差异不显著,乔木层平均高 5.74~6.73 m, DBH 表现为密枝圆柏林>祁连圆柏林>大果圆柏林,其中密枝圆柏林和祁连圆柏林林分平均胸径显著高于大果圆柏林。林下灌木盖度表现为大果圆柏林>祁连圆柏林>密枝圆柏林,其中大果圆柏林下灌木盖度显著

表 2 圆柏群落与林地土壤特征

Table 2 *Juniperus* communities and woodland soil characteristics

项目 Item	大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest	密枝圆柏林 <i>Juniperus convallium</i> forest	祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest
林分郁闭度 Stand canopy density	0.44±0.14a	0.48±0.15a	0.50±0.11a
林分密度 Stand density ( trees · hm <sup>-2</sup> )	885.29±349.74a	905.00±316.68a	1034.72±410.74a
林分平均高 Stand height ( m)	5.74±1.52a	6.73±1.39a	6.14±2.86a
林分平均胸径 Stand DBH ( cm)	13.85±4.62b	18.78±3.89a	17.13±7.18a
林分人为干扰强度值 Stand human disturbance intensity value	43.68±5.71b	54.82±6.22a	53.15±4.45a
灌木盖度 Shrub coverage ( %)	47.3±9.9a	32.8±18.9b	38.5±17.6ab
草本盖度 Herb coverage ( %)	48.5±16.3b	61.1±16.1a	45.7±12.7b
土壤容重 Soil bulk density ( g · cm <sup>-3</sup> )	0.89±0.18a	1.16±0.14a	1.12±0.21a
土壤含水率 Soil water content ( %)	29.9±3.5a	23.4±4.6ab	21.7±10.8b
土壤 pH Soil pH	6.26±0.34b	8.10±0.22a	8.21±0.08a
土壤有机质 Soil organic matter ( g · kg <sup>-1</sup> )	76.10±6.87a	52.85±36.10ab	37.71±18.39b
土壤全氮 Soil total nitrogen ( g · kg <sup>-1</sup> )	5.60±0.98a	3.29±1.12b	5.33±2.99ab
土壤速效钾 Soil available potassium ( mg · kg <sup>-1</sup> )	92.01±16.05a	57.25±17.22b	65.35±15.11b
土壤有效磷 Soil available phosphorus ( mg · kg <sup>-1</sup> )	25.78±7.74a	12.36±2.42b	16.76±8.30ab

不同字母表示差异显著( P<0.05) Different letters meant significant difference at 0.05 level.

高于密枝圆柏林;密枝圆柏林下草本盖度显著高于其余两种林分。根据干扰强度的划分标准<sup>[23]</sup>,大果圆柏林总体表现为中度干扰,密枝圆柏林和祁连圆柏林总体表现为较重干扰,其中密枝圆柏林受到人为干扰的程度最强。

结合土壤肥力质量等级标准<sup>[24]</sup>,圆柏林地土壤肥力总体中等偏下,速效养分含量不足。大果圆柏林地土壤容重低于其他两种圆柏林,而密枝圆柏林地土壤容重最高。大果圆柏林地土壤含水率、有机质含量显著高于祁连圆柏林地,祁连圆柏林地土壤含水率和有机质含量最低;大果圆柏林地土壤偏酸性,其他两种圆柏林地呈碱性;密枝圆柏林地土壤全氮、速效钾、有效磷含量均最低,且显著低于大果圆柏林地。

2.2 天然圆柏林种群年龄结构及更新特征

从图 1 可以看出,3 种圆柏种群内胸径小于 5 cm 的更新个体数均较少,大果圆柏、密枝圆柏、祁连圆柏种群内更新个体数分别占立木总数的 27.6%、16.7%和 21.4%。大果圆柏种群内个体集中分布于中、幼龄组,其中幼龄个体数占立木个体总数的 49.2%,中龄个体数占 44.0%,老龄个体数仅占 6.8%,龄级呈左偏态分布,表明大果圆柏种群年龄结构为增长型;密枝圆柏种群内个体集中分布于中龄组,其中幼龄个体数占立木个体总数的 28.8%,中龄个体数占 46.2%,老龄个体数占 25.0%,龄级呈右偏态分布,表明密枝圆柏种群年龄结构处于稳定型向衰退型过渡;祁连圆柏种群内个体也集中分布于中、幼龄组,中龄个体数占立木个体总数的 45.4%,幼龄个体数占 37.8%,老龄个体数占 16.8%,龄级呈左偏正态分布,表明祁连圆柏种群年龄结构趋于稳定型。

根据天然更新等级评价标准<sup>[21]</sup>,从表 3 可以看出,3 种圆柏林的天然更新等级即更新状况总体表现为不良。大果圆柏林的平均更新密度为 332 株·hm<sup>-2</sup>,密枝圆柏林平均更新密度为 202 株·

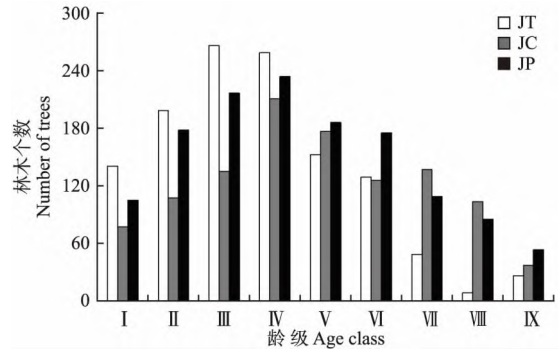


图 1 圆柏种群的龄级结构

Fig.1 Age class structure of Juniperus populations.

JT: 大果圆柏林 *Juniperus tibetica* forest; JC: 密枝圆柏林 *Juniperus convallium* forest; JP: 祁连圆柏林 *Juniperus przewalskii* forest. 下同 The same below.

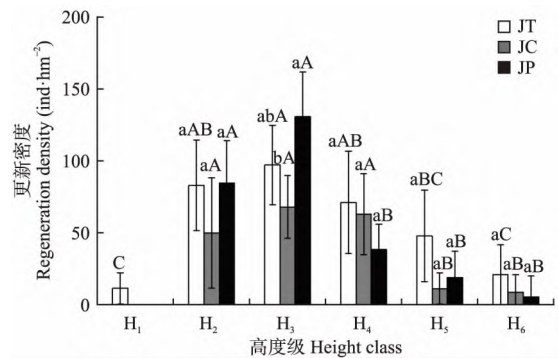


图 2 圆柏更新个体的高度级分布

Fig.2 Height class distribution of regenerate individuals at Juniperus forests.

不同小写字母表示林型间差异显著,不同大写字母表示高度级间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters meant significant difference among forest types, and different capital letters meant significant difference among height classes at 0.05 level.

hm<sup>-2</sup>,祁连圆柏林平均更新密度为 279 株·hm<sup>-2</sup>。仅有大果圆柏的林下有幼苗存在,其数量为 12 株·hm<sup>-2</sup>,其他两种圆柏林均无幼苗存在。从图 2 可以看出,大果圆柏林、密枝圆柏林和祁连圆柏林更新个体集中分布于 H<sub>2</sub>~H<sub>4</sub>(1~3 m) 高度级,分别占更新个体总数的 75.7%、88.9%和 91.0%。大果圆柏林、密枝圆柏林和祁连圆柏林更新个体的平均高度

表 3 圆柏林天然更新现状

Table 3 Status of natural regeneration of Juniperus forests

高度 Height (cm)	大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest		密枝圆柏林 <i>Juniperus convallium</i> forest		祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest	
	更新密度 Regeneration density (ind·hm <sup>-2</sup> )	更新状况 Regeneration status	更新密度 Regeneration density (ind·hm <sup>-2</sup> )	更新状况 Regeneration status	更新密度 Regeneration density (ind·hm <sup>-2</sup> )	更新状况 Regeneration status
<30	12	不良 Bad	0	不良 Bad	0	不良 Bad
30~49	6	不良 Bad	3	不良 Bad	10	不良 Bad
≥50	314	不良 Bad	199	不良 Bad	269	不良 Bad

表 4 林分因子与更新密度的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between stand factors and regeneration density

林型 Forest type	林分平均高 Stand height	林分密度 Stand density	灌木盖度 Shrub coverage	草本盖度 Herb coverage	林分人为干扰 Stand human disturbance	林地坡度 Woodland slope
大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest	0.199	0.619**	-0.622**	-0.285	-0.376	-0.213
密枝圆柏林 <i>Juniperus convallium</i> forest	0.239	-0.415	-0.071	-0.559*	-0.565*	-0.540*
祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest	0.152	0.484*	-0.443	-0.503*	-0.481*	0.021

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ . 下同 The same below.

表 5 土壤因子与更新密度的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between soil factors and regeneration density

林型 Forest type	含水率 Soil water content	pH	SOM	TN	AK	AP
大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest	0.292	0.193	0.577*	0.130	0.290	0.486*
密枝圆柏林 <i>Juniperus convallium</i> forest	0.516*	0.224	-0.255	-0.591*	-0.322	0.495
祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest	0.181	0.002	0.032	0.404	0.760**	0.738**

SOM: 土壤有机质 Soil organic matter; TN: 土壤全氮 Soil total nitrogen; AK: 土壤速效钾 Soil available potassium; AP: 土壤有效磷 Soil available phosphorus. 下同 The same below.

分别为 2.15、1.88 和 1.93 m<sup>3</sup> 种圆柏林的更新个体数均在 H<sub>3</sub> 与 H<sub>6</sub> 之间呈递减趋势。相比较而言, 大果圆柏林更新优于祁连圆柏林, 密枝圆柏林更新最差。

### 2.3 林分因子对圆柏林天然更新的影响

从表 4 可以看出, 林分平均高与 3 种圆柏林的更新密度未呈显著相关; 林分密度与大果圆柏林、祁连圆柏林更新密度呈显著正相关, 与密枝圆柏林更新密度未呈显著相关; 灌木盖度仅与大果圆柏林更新密度呈显著负相关; 草本盖度、人为干扰与密枝圆柏林、祁连圆柏林更新密度均呈显著负相关, 与大果圆柏林更新密度未呈显著相关; 林地坡度仅与密枝圆柏林更新密度呈显著负相关。

### 2.4 土壤因子对圆柏林天然更新的影响

从表 5 可以看出, 林地土壤含水率仅与密枝圆柏林更新密度呈显著正相关; 土壤 pH 与 3 种圆柏林的更新密度未呈显著相关; 土壤有机质含量仅与大果圆柏林更新密度呈显著正相关; 土壤全氮含量仅与密枝圆柏林更新密度呈显著负相关; 土壤速效钾含量仅与祁连圆柏林更新密度呈显著正相关; 土壤有效磷含量与大果圆柏林、祁连圆柏林更新密度均呈显著正相关, 与密枝圆柏林更新密度未呈显著相关。

### 2.5 林分因子和土壤因子共同对圆柏林天然更新的影响

结合林分因子和土壤因子, 分别将 3 种圆柏林的更新密度与其进行逐步多元回归分析, 剔除解释能力较弱的因子, 寻求解释最优的因子组合。从表

6 可以看出, 由林分因子和土壤因子共同组成的回归模型对大果圆柏林的更新密度拟合较好 ( $R^2 = 0.757$ ,  $P = 0.001$ ), 其中灌木盖度和林地土壤有效磷含量对大果圆柏林更新影响显著 ( $\beta = -0.680$ ,  $P = 0.002$ ;  $\beta = 0.395$ ,  $P = 0.034$ ); 回归模型对密枝圆柏林更新密度拟合较优 ( $R^2 = 0.939$ ,  $P < 0.001$ ), 其中草本盖度、林地土壤全氮含量和人为干扰对密枝圆柏林更新影响显著 ( $\beta = -0.516$ ,  $P = 0.002$ ;  $\beta = -0.654$ ,  $P = 0.002$ ;  $\beta = 0.259$ ,  $P = 0.028$ ); 回归模型对祁连圆柏林更新密度拟合较好 ( $R^2 = 0.789$ ,  $P = 0.002$ ), 其中草本盖度和林地土壤速效钾含量对祁连圆柏林更新影响显著 ( $\beta = -0.436$ ,  $P = 0.032$ ;  $\beta = 0.672$ ,  $P = 0.004$ )。

表 6 圆柏林更新密度多元回归模型

Table 6 Multiple regression model for the regeneration density of *Juniperus* forests

林型 Forest type		B	$\beta$	t	P
大果圆柏林 <i>Juniperus tibetica</i> forest	常数项 Constant	-1.497		1.075	0.308
	lgSC	1.574	-0.680	-4.212	0.002
	lgAP	2.052	0.395	2.448	0.034
密枝圆柏林 <i>Juniperus conval-</i> <i>lium</i> forest	常数项 Constant	2.316		6.329	0.001
	lgTN	-1.325	-0.654	-7.246	0.002
	lgHC	-1.271	-0.516	-5.503	0.002
祁连圆柏林 <i>Juniperus przewalskii</i> forest	常数项 Constant	0.744		0.671	0.521
	lgAK	1.838	0.672	4.002	0.004
	lgHC	-0.960	-0.436	-2.600	0.032

SC: 灌木盖度 Shrub coverage; HD: 人为干扰 Human disturbance.

## 3 讨 论

本研究表明, 三江源地区 3 种天然圆柏林林下

更新密度低,幼苗储备不足,与刘录三等<sup>[13]</sup>发现的祁连山中部的圆柏林下有大量幼苗萌生不一致。原因可能是祁连山中部海拔低、温度高,更有利于幼苗存活,而本研究区的高寒气候缩短了林木生长期,导致圆柏种子产量和成熟度降低,不利于种群的天然更新<sup>[20-25]</sup>。研究表明,种群结构能够反映森林群落的动态和发展趋势<sup>[2]</sup>。本研究中,大果圆柏种群虽为增长型,但更新个体优势不明显,密枝圆柏和祁连圆柏种群幼龄个体较少,增长潜力不足。同时,3种圆柏林均受到不同程度的人为干扰,大部分林外围栏被破坏,林地内存在伐桩且牲畜粪便和蹄印较多,而林内放牧使得圆柏林内幼苗被牛羊踩踏、啃食,幼苗的成活率下降<sup>[14]</sup>,林牧矛盾可能也是圆柏种群增长潜力小、天然更新不良的主要原因之一<sup>[26-27]</sup>。

林分因子在对林下苗木生长资源的分配上调控着林分天然更新<sup>[9]</sup>。本研究发现,3种圆柏林林下活地被物覆盖度较高,且灌木盖度、草本盖度与3种圆柏林更新密度均呈负相关,其中灌木盖度对大果圆柏林更新影响显著,草本盖度对密枝圆柏林、祁连圆柏林更新影响显著,表明圆柏林林下现存的灌草已明显抑制了更新苗的生长。圆柏为阳性树种,喜光,幼苗生长早期对光照和水分敏感<sup>[25]</sup>,灌草层对水热与养分资源的竞争也会降低更新苗营养物质的积累,即随着灌木盖度的增加,庇荫的生境不再适于圆柏幼苗的生存,而紧密的草本层也会造成圆柏种子与土壤接触受阻,进而萌发困难,幼苗数量减少<sup>[28-29]</sup>。本研究还发现,林分密度与大果圆柏林、祁连圆柏林更新呈显著正相关,这与其他地区研究结果类似<sup>[22]</sup>,当林分密度从低密度向中等密度增加的过程中,适中的林分密度有利于保证种源和更新苗适宜的生长环境,进而促进更新。高林分密度会造成种内竞争加剧、林内光照减弱,更新苗受到生长资源不足的制约<sup>[30-31]</sup>。此外,本研究中,密枝圆柏林更新密度与林地坡度呈显著负相关,随着林地坡度的增加,土壤水分和养分流失力度加大,导致种子萌发率下降和幼苗生长发育受限<sup>[3,32]</sup>。

林地土壤作为苗木更新的基质,其理化性质也直接影响着母树结实和更新苗生长<sup>[33]</sup>。本研究表明,3种圆柏林林地土壤肥力不高,土壤水分和养分含量不能满足幼苗生长的需要,进而阻碍更新。本研究中,有机质和有效磷对大果圆柏林更新具有促进作用,有研究表明,酸性林地更新较好<sup>[34]</sup>,而大果圆柏林林地土壤呈酸性,增强了微生物活性,利于有

机质的形成以及磷元素的有效转化。本研究中,林地土壤速效钾和有效磷含量对祁连圆柏林更新影响显著。在7、8月降雨增多,祁连圆柏分布区土壤的干湿交替促进了土壤层钾离子的交换,速效钾含量增大,促进更新苗生长<sup>[35]</sup>。有机质可以提高磷的有效性,但祁连圆柏林地土壤有机质含量较低,抑制了磷的转换,有效磷含量的不足可能会阻碍祁连圆柏更新<sup>[36]</sup>。研究表明,土壤氮是幼苗生长的限制因子<sup>[37]</sup>。而本研究发现,林地土壤全氮含量与密枝圆柏林更新呈显著负相关,这与其他研究不同<sup>[38]</sup>,可能是因为当林木生长对某一营养元素的需求量大于供给量时,养分的不足便会对林木产生负效应,随着密枝圆柏林幼苗的生长,对全氮的需求增大,负相关变得显著<sup>[39]</sup>。此外,本研究还发现,林地土壤含水率与密枝圆柏林更新呈显著正相关,表明充足的土壤水更有利于密枝圆柏林更新,而密枝圆柏分布区的年降水量低、蒸发量高,幼苗存活易受水分亏缺的限制。

#### 4 结 论

三江源地区3种天然圆柏林天然更新不良,更新潜力低。林下灌木盖度和林地土壤有效磷含量是影响大果圆柏林更新的主导因子;林下草本盖度和林地土壤全氮含量、林分人为干扰是影响密枝圆柏林更新的主导因子;林下草本盖度和林地土壤速效钾含量是影响祁连圆柏林更新的主导因子。为促进圆柏林天然更新,应加强森林封禁管护力度,科学放牧,坚决制止林木滥砍乱伐,降低人为干扰。大果圆柏林应进行适度砍灌,密枝圆柏林、祁连圆柏林应清理过密的杂草。同时,密枝圆柏林还可通过局部整地,改变微地形使林地内留存更多种子。此外,在幼苗生长期,采取人工辅助措施进行圆柏林地的土壤改良,大果圆柏林地和密枝圆柏林地可施氮磷复合肥,祁连圆柏林地可施磷、钾肥,提高土壤肥力。可见,在对未来圆柏林的经营管理中应同时兼顾林分和土壤等环境因子对苗木更新的影响,营造适于圆柏种子萌发、幼苗生长的生境,进而改善林分天然更新状况。

#### 参考文献

- [1] 李进,石晓东,高润梅,等. 华北落叶松天然次生林更新及影响因素. 森林与环境学报, 2020, 40(6): 588-596
- [2] 康冰,王得祥,崔宏安,等. 秦岭山地油松群落更新特征及影响因子. 应用生态学报, 2011, 22(7):

- 1659-1667
- [3] 朱教君,刘足根,王贺新. 辽东山区长白落叶松人工林天然更新障碍分析. 应用生态学报, 2008, **19**(4): 695-703
- [4] 黄萍,刘艳红. 北京松山油松林分结构和地形对幼苗更新的影响. 生态学杂志, 2018, **37**(4): 1003-1009
- [5] 欧芷阳,庞世龙,谭长强,等. 林分结构对桂西南蚬木种群天然更新的影响. 应用生态学报, 2017, **28**(10): 3181-3188
- [6] Vargas GR, Gärtner SM, Hagen E, et al. Tree regeneration in the threatened forest of Robinson Crusoe Island, Chile: The role of small-scale disturbances on microsite conditions and invasive species. *Forest Ecology and Management*, 2013, **307**: 255-265
- [7] Perea R, Gil L. Tree regeneration under high levels of wild ungulates: The use of chemically vs. physically-defended shrubs. *Forest Ecology and Management*, 2014, **312**: 47-54
- [8] 邢世岩,周蔚,马颖敏,等. 侧柏林天然更新及苗期生长特性. 林业工程学报, 2009, **23**(1): 52-54
- [9] 张树梓,李梅,张树彬,等. 塞罕坝华北落叶松人工林天然更新影响因子. 生态学报, 2015, **35**(16): 5403-5411
- [10] Suzuki N, Yoshida T, Miyamoto T, et al. Early establishment of spruce (*Picea glehnii* [Fr. Schm]. Masters) seedlings on disturbed soil with the aim of assisted natural regeneration. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2021, **36**: 126-134
- [11] Krzysztof T, Dyderski MK, Paweł R. Ash dieback, soil and deer browsing influence natural regeneration of European ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Science of the Total Environment*, 2021, **752**: 141787
- [12] 宋馥杉,方欧娅. 三江源国家公园大果圆柏生长衰退历史研究. 森林与环境学报, 2019, **39**(4): 386-392
- [13] 刘录三,邵雪梅,梁光源,等. 祁连山中部祁连圆柏生长与更新方式的树轮记录. 地理研究, 2006, **25**(1): 53-61
- [14] 张静,陈志林,侯琳,等. 三江源区祁连圆柏群落物种多样性沿海拔梯度的变化格局. 西北植物学报, 2020, **40**(10): 1759-1767
- [15] Lu SF, Zhou SY, Yin XJ, et al. Patterns of tree species richness in Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, **193**: 97
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-239
- [17] Sagar R, Raghubanshi AS, Singh JS. Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management*, 2003, **186**: 61-71
- [18] 陈维强,周伟磊,刘倩雯,等. 人为干扰对额济纳胡杨林群落组成及更新的影响. 林业资源管理, 2010(1): 46-52
- [19] 吴大荣,朱政德. 福建省罗卜岩自然保护区闽楠种群结构和空间分布格局初步研究. 林业科学, 2003, **39**(1): 23-30
- [20] 田晓萍,马力,占玉芳. 祁连山北坡中段祁连圆柏群落学特征的研究. 西北林学院学报, 2015, **30**(2): 77-83
- [21] 国家林业和草原局. 森林资源连续清查技术规程 (GB/T 38590—2020). 北京: 中国标准出版社, 2020: 38
- [22] 张希彪,上官周平,王金成,等. 子午岭人工油松林群落更新特征及影响因子. 山地学报, 2014, **32**(5): 561-567
- [23] 左政,郑小贤. 不同干扰等级下常绿阔叶次生林林分结构及树种多样性. 浙江农林大学学报, 2019, **36**(1): 21-30
- [24] 张庆利,潘贤章,王洪杰,等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. 土壤通报, 2003, **34**(6): 493-497
- [25] 孙德福. 浅析影响林冠下园柏天然更新的主导因素. 中南林业调查规划, 1998, **17**(3): 18-20
- [26] Gutiérrez GG, Juárez V, Alcalá RE, et al. Natural and human disturbances affect natural regeneration of *Swietenia macrophylla*: Implications for rainforest management. *Forest Ecology and Management*, 2011, **262**: 161-169
- [27] 张凯璐,刘波,王亚锋. 青海玉树川西云杉树线种群结构与空间格局. 地球环境学报, 2020, **11**(6): 660-671
- [28] 张志东,毛培利,刘玉虹,等. 林分结构对烟台黑松海岸防护林天然更新的影响. 生态学报, 2010, **30**(8): 2205-2211
- [29] 杜影,蔡小虎,包维楷,等. 林下层植被对上层乔木的影响研究综述. 应用生态学报, 2016, **27**(3): 963-972
- [30] Nilson K, Lundqvist L. Effect of stand structure and density on development of natural regeneration in two *Picea abies* stands in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2001, **16**: 253-259
- [31] 贾炜玮,解希涛,姜生伟,等. 大兴安岭新林林业局3种林分类型天然更新幼苗幼树的空间分布格局. 应用生态学报, 2017, **28**(9): 2813-2822
- [32] 赵雪,刘妍妍,金光泽. 地形对阔叶红松林幼苗更新的影响. 应用生态学报, 2013, **24**(11): 3035-3042
- [33] Davis EL, Hager HA, Gedalof Z. Soil properties as constraints to seedling regeneration beyond alpine treelines in the Canadian Rocky Mountains. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2018, **50**: e1415625
- [34] 任学敏,杨改河,秦晓威,等. 巴山冷杉-牛皮桦混交林乔木更新及土壤化学性质对更新的影响. 林业科学, 2012, **48**(1): 1-6
- [35] 陈钦程,徐福利,王渭玲,等. 秦岭北麓不同林龄华北落叶松土壤速效钾变化规律. 植物营养与肥料学报, 2014, **20**(5): 1243-1249
- [36] 刘少冲,陈立新,段文标,等. 影响不同林型天然红松混交林林隙更新的土壤特征因子. 生态学报, 2017, **37**(12): 4072-4083
- [37] 刘斌,陈维,陈伏生,等. 九连山次生阔叶林幼苗生长对氮磷添加的响应. 应用生态学报, 2020, **31**(8): 2533-2540
- [38] 祝子泉,刘兆刚,董灵波,等. 环境因子对大兴安岭天然落叶松次生林主要树种更新的影响. 东北林业大学学报, 2020, **48**(6): 135-141
- [39] 李璟,周朵朵,陈颂,等. 关帝山云杉次生林树木更新与土壤养分的空间关联性. 应用生态学报, 2021, **32**(7): 2363-2370

作者简介 黄 婷,女,1995年生,硕士研究生。主要从事森林生态学研究。E-mail: huangting@nwafu.edu.cn

责任编辑 王 俊

责任编辑 孙 菊