

# 子午岭人工油松林群落更新特征及影响因子

张希彪<sup>1,2</sup>, 上官周平<sup>2</sup>, 王金成<sup>1</sup>, 毛宁<sup>1</sup>

(1. 甘肃省高校陇东生物资源保护与利用省级重点实验室 / 陇东学院生命科学与技术学院, 甘肃 庆阳 745000;  
2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 采用样方法, 对子午岭油松人工林群落更新特性以及环境因子对群落更新的影响进行研究, 结果表明: 油松人工林更新层有木本植物 46 种, 其中有乔木 16 种, 占总种数的 33.33%, 灌木 29 种, 占总种数的 64.58%。更新层的优势种有辽东栎、沙棘和鞑柄蕨等, 油松为更新层的次优势种, 油松种群具有一定的自我更新能力; 油松人工林群落更新层幼苗库丰富, 高度级及龄级较小; 更新方式以实生更新为主。林分密度对林下乔木幼苗、幼树数量影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 当林分密度从 650 株/hm<sup>2</sup> 增加到 1 550 株/hm<sup>2</sup> 时, 林下更新的幼苗、幼树密度呈增加趋势, 随着林分密度的继续增加, 其密度逐渐减少; 坡向对幼苗、幼树密度的影响显著 ( $P < 0.05$ ), 当坡向由阳坡转向阴坡时, 林下幼苗(树)密度逐渐增加; 不同坡位林分更新特征各异, 从坡下向上, 幼苗密度逐渐减少, 而幼树密度在中坡位最高, 其次是下坡位, 上坡位最低; 随着海拔的升高, 幼苗(幼树)密度逐渐减小。处于阴坡的中密度林分更新效果最佳, 合理调整林分密度有利于油松人工林自然更新。

**关键词:** 油松; 更新; 环境因子; 黄土丘陵区; 子午岭

**中图分类号:** S718.5. S754

**文献标志码:** A

天然更新是指一个植物物种或群落从其种子成熟、进入土壤到萌发、生长, 最后长成健壮个体的连续过程<sup>[1]</sup>。森林天然更新是乔木层物种组成的后备来源和群落自然形成乔、灌、草多层次结构以及多物种组成的必需环节, 是森林资源再生产的一个重要生态学过程, 是森林生态系统自我繁衍恢复的手段<sup>[2]</sup>。森林在天然更新时能够充分依靠林下层植被的自然发育来实现森林生态系统结构和功能的优化, 并能够培育出合乎自然规律的、高生物多样性和高生态质量的森林<sup>[3]</sup>。因此, 森林天然更新是生态恢复与重建的重要途径之一, 也是维持森林动态稳定和可持续发展的基础。不同植物类型, 由于群落结构、群落的种类组成及群落所处生境的不同, 植物

天然更新的机制和规律也有所差别<sup>[4]</sup>。

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.) 耐干旱瘠薄, 有较强的适应性和抗逆性, 同时具有很好的保持水土、涵养水源及改良土壤的作用, 是黄土高原地区植被的重要组成部分<sup>[5-6]</sup>。多年来黄土高原地区营造了大量的人工油松林, 目前大部分已进入成熟期或近成熟期, 它们是否具有持续的自然更新能力, 直接影响着该地区人工油松林群落的稳定性和生态功能的顺利恢复。但由于对人工油松林群落的种群繁殖特征及更新机制了解不够深入, 采伐和保育方式不合理, 部分地区的人工油松林群落处于衰退状态<sup>[7-8]</sup>。因此, 研究人工油松林更新特征及影响因子, 可为退化人工油松林的恢复提供参考。本文以位于黄土丘

**收稿日期** (Received date): 2013 - 11 - 17; **改回日期** (Accepted): 2014 - 01 - 09。

**基金项目** (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (41390463); 甘肃省自然科学基金项目 (2010GS05096)、甘肃省教育厅研究生导师基金资助项目 (1110 - 01); 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原旱地农业国家重点实验室项目 (10501 - 303)。[ The National Natural Science Foundation of China (41390463); Gansu Provincial Natural Science Foundation (2010GS05096); Gansu Provincial Department of Education tutor Foundation (1110 - 01); Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau (10501 - 303). ]

**作者简介** (Biography): 张希彪 (1963 - ), 男, 汉族, 甘肃武威市人, 硕士, 教授。研究方向为植物群落生态学及退化生态系统的修复。[ Zhang Xibiao, (1963 - ), male, master, Professor, mainly engaged in plant community ecology and restoration of degraded ecosystems. ] E-mail: zhxbiao@163.com

陵区子午岭的人工油松林群落为研究对象,采用自然群落野外调查法,调查分析了林分密度、微地形因子等对油松天然更新的影响,以期为进一步研究暖温带地区退化森林生态系统的恢复与重建提供基础数据和科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原中部,陕西省和甘肃省交界处的子午岭( $33^{\circ}18' \sim 36^{\circ}39'N$ ,  $107^{\circ}59' \sim 108^{\circ}43'E$ ),属黄土堆积与河流侵蚀不断交替而形成的黄土丘陵沟壑地貌;海拔 1 246 ~ 1 756 m,具有明显的大陆性气候特征,北部属温带干旱气候区,中南部属暖温带冷凉半湿润气候区,为森林草原、半干旱草原过渡地带<sup>[7]</sup>;年平均气温  $7.4 \sim 8.5^{\circ}C$ ,年降水量 470 ~ 620 mm,其中 7—9 月降水占到 63%,年蒸发量 1 228.3 mm,干燥度 0.72,空气相对湿度 63% ~ 68%,年日照时数 2 200 ~ 2 400 h,无霜期 163 d;地带性土壤以森林灰褐土为主,pH 值为 7.5 ~ 8.2。

该区在中国植物区系上隶属于泛北极植物区、中国—日本森林植物亚区的华北地区黄土高原植物亚地区,森林大部分系屡经破坏后而形成的天然次生林<sup>[7]</sup>。地带性植被是以辽东栎(*Quercus wutaishanica*)为优势种的暖温带落叶阔叶林和以油松为优势种的温性针叶林<sup>[7]</sup>。

### 1.2 研究方法

在子午岭油松人工林比较集中的中湾林场,分别依据林分密度、海拔、坡向和坡位等自然更新的影响因子,选取发育阶段基本一致的典型油松人工林群落,建立样地 64 个,每个样地的面积为  $30\text{ m} \times 20\text{ m}$ 。其中,依据海拔梯度和林分密度设置样地各 16 个,按坡向、坡位地形因子设置样地各 16 个。采用典型取样和常规方法进行群落学调查。对样地内  $DBH > 4\text{ cm}$  的乔木记录树种名、测定胸径、树高、冠幅等;分别在每个样地中设置 5 个  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  的更新苗小样方,记录其中  $DBH < 4\text{ cm}$  的所有木本植物更新幼苗( $H \leq 1\text{ m}$ )和幼树( $1\text{ m} < H \leq 3\text{ m}$ )<sup>[8-9]</sup>的种类、株数、高度、盖度和年龄等;利用 GPS 测定样方的地理坐标和海拔,同时记录其坡位、坡向和林分郁闭度。调查在 2012 年 7—9 月进行。

### 1.3 数据统计及分析

采用 SPSS 16.0 软件对不同坡向、不同生境的

生态因子进行单因素方差分析(One-way ANOVA);对不同生境的更新进行多因素方差分析(Multi-way ANOVA)及多重比较,并对主要影响因子进行相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 更新层木本植物幼苗、幼树组成及特征值

根据 64 个样方调查资料,对更新层木本植物幼苗(树)种组成及其特征值的统计结果表明,子午岭人工油松林林下所更新的木本植物有 46 种。其中乔木幼苗有 16 种,占有木本植物总种数的 33.33%;灌木种 29 种,占 64.58%;木质藤本 1 种。更新层优势种有辽东栎、沙棘(*Swida bretschnideri*)、鞘柄菝葜(*Smilax stans*),其重要值均  $> 20\%$ 。次优势种为油松、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、水栒子(*Cotoneaster multiflorus*)、灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、茶条槭(*Acer ginnala*)、蒙古荚蒾(*Viburnum mongolicum*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等,其重要值均  $> 10\%$ 。灌木物种在油松人工林下具有明显的优势地位,表明该森林群落处于演替的初期阶段<sup>[9-10]</sup>。更新层中,乔木物种比较丰富,这样就为森林群落结构的自然优化提供了一定的保障。油松为林下更新层的次优势种,表明油松人工林群落具有一定的自我更新能力。其余所更新的木本植物的重要值差异不明显,表明林下更新树种具有比较均衡的空间分布及资源占有有力。

### 2.2 更新层木本植物幼苗幼树高度级结构与年龄组成

从油松人工林下更新层木本植物幼苗(树)的高度级分布结果(图 1)可以看出,人工油松林下木本植物幼苗的高度级以 0 ~ 30 cm 范围的分布数量最多,占更新树种的 45.8%,随着高度级的增大,幼苗数量呈减小趋势,高度  $> 180\text{ cm}$  的幼树数量很少。

不同年龄幼苗个体数量反映了种群动态及未来发展的趋势。从林下木本植物幼苗幼树的年龄结构来看,树龄在 3 a 以下的幼苗数量占总数的 54.8%(图 2)。随着种群年龄的增加,幼苗数量逐渐减少, $> 7\text{ a}$  的幼苗数量仅占总数的 10.53%。可见人工油松林群落的幼苗库较丰富,林下低龄幼苗的更新发育状况良好,为人工油松林群落的天然更新奠定

了基础。

### 2.3 木本植物幼苗的更新方式

在人工油松林林下更新层中,乔木幼苗幼树数量占林下更新木本植物总数的43.2%,由于乔木幼苗与森林群落结构的改变有着密切的关系,这样就可为森林群落结构的自然优化提供了一定的保障。林下更新层不论乔木或灌木,均以实生苗更新为主。乔木实生苗和萌生苗分别占36.3%和17.2%,而灌木实生苗和萌生苗分别占31.4%和15.1%。因此,在油松人工林木本植物更新过程中,乔木和灌木母树的分布及结实率对油松人工林木本植物的更新具有重要影响,萌生更新成为对实生更新不足的补偿。

### 2.4 油松人工林群落自然更新主要影响因子分析

#### 2.4.1 林分密度对木本植物幼苗幼树更新密度的影响

当林分密度从650株/hm<sup>2</sup>增加到1550株/hm<sup>2</sup>时,林下更新苗(树)密度呈增加趋势,随着林分密度的进一步增大,林下更新苗(树)数量逐渐减小(图3)。油松人工林林下物种大多数为阳生性,林分密度过大,林内荫蔽的小环境抑制了优势种群的拓殖。另外,从图3还可以看出,过密的林分导致林下幼苗数量锐减,幼树密度大于幼苗,说明幼苗对

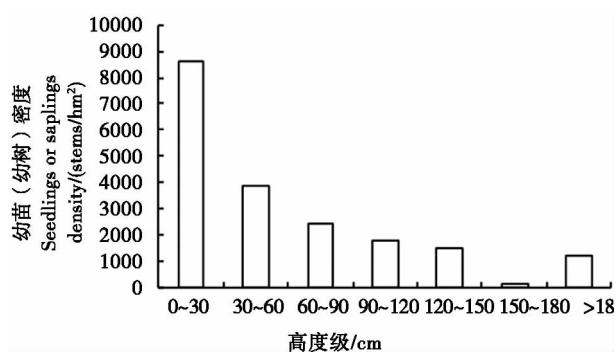


图1 木本植物幼苗幼树的高度级分布

Fig. 1 Height class distribution of woody seedling and saplings

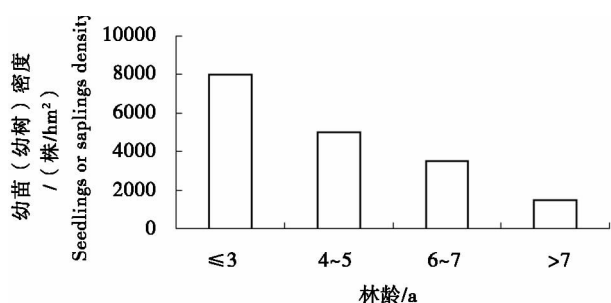
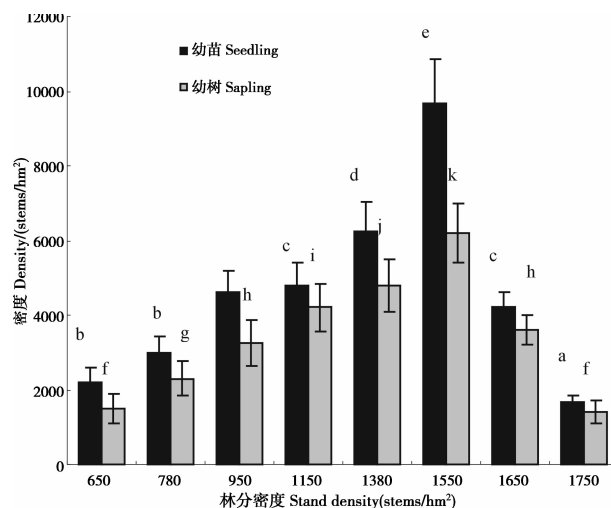


图2 木本植物幼苗幼树的年龄组成

Fig. 2 Age structure of woody seedling or sapling



柱状图顶部字母的不同表示存在显著性差异( $p < 0.05$ )。下同。

图3 林分密度对林分密度对幼苗、幼树密度的影响

Fig. 3 Effects of different stand density on the seedling or sapling density (mean  $\pm$  SE)

于极限弱光照的反应更剧烈。

#### 2.4.2 坡向对木本植物幼苗(树)更新密度的影响

由图4可以看出,当坡向从阳坡转到阴坡,林下幼苗和幼树密度呈增加趋势。阳坡强烈的光照和较高的温度不利于林下幼苗和幼树的发育,而阴坡林分内温度低,水分蒸腾较少,土壤含水量较稳定,为幼苗和幼树的发育提供了较好的条件。

#### 2.4.3 坡位对木本植物幼苗幼树更新密度的影响

坡位对幼苗和幼树的影响效果有差异(图5)。从下坡位到上坡位,幼苗密度逐渐减少,而幼树密度为:中坡位>下坡位>上坡位。由于下坡位林下光

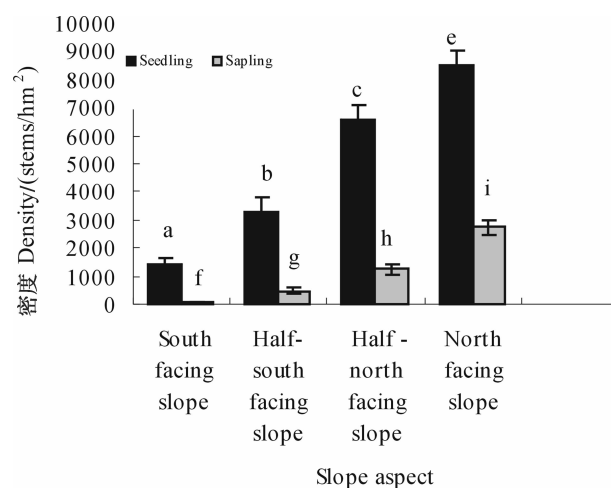


图4 坡向对幼苗幼树密度的影响

Fig. 4 Effects of slope aspect on the seedling or sapling density (mean  $\pm$  SE)

照较弱,土壤持水量较高,且具有良好的理化性能,有利于幼苗种群的扩展;上坡位林内光照较强,土壤水分流失量较多,不利于幼苗的生长发育<sup>[11]</sup>。但中坡位较高的光照强度及光照时数,加快了幼苗向幼树的更替进程。而上坡位土壤水分、养分含量较低,不利于幼树的生长,因此中坡位幼树密度较下坡位和上坡位高。

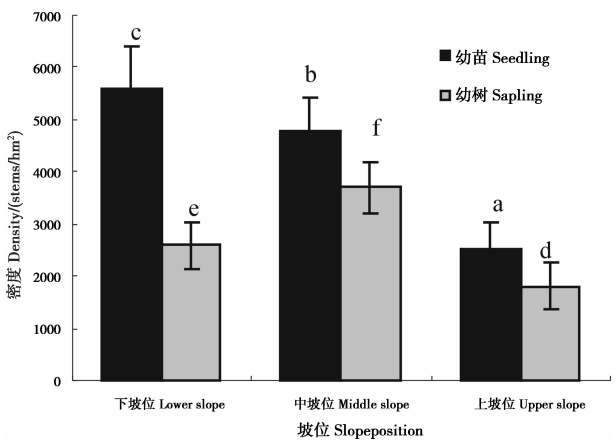


图5 坡位对幼苗、幼树密度的影响

Fig.5 Effects of slope position on the seedling or sapling density(mean ± SE)

2.4.4 海拔对木本植物幼苗幼树更新密度的影响

随着海拔的增加,幼苗幼树密度逐渐减小(图6)。随着海拔的升高,温度逐渐降低,降雨量下降,土壤含水量降低,阻碍了幼苗幼树的发育,导致幼苗幼树数量减少。

2.5 油松人工林林下乔木更新影响因子的相关分析

对更新因子的相关分析表明,林分密度与林下乔木幼苗、幼树数量呈极显著负相关(表2)。林分

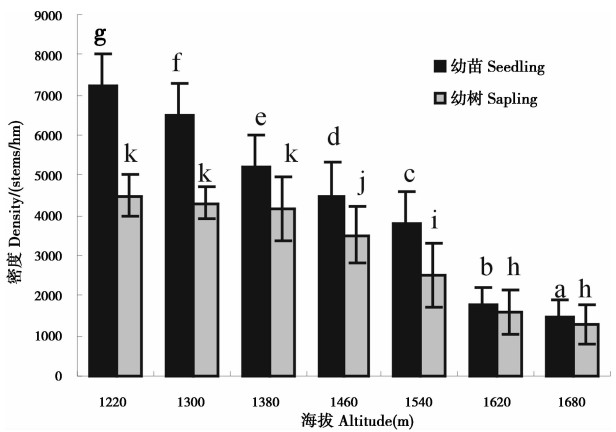


图6 海拔对幼苗、幼树密度的影响

Fig.6 Effects of altitude on the seedling or sapling density (mean ± SE)

密度越大,林下光照越弱,过弱的光照抑制了乔木种子萌发及幼苗、幼树的生长,从而使幼苗数量减少。坡向和坡位与幼苗、幼树的数量呈显著正相关,主要因为不同坡向和坡位的油松人工林群落内光照、水分因子变化明显,从而影响到幼苗、幼树种群数量的变化。

表2 主要更新影响因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among in fluencing factors of tree regeneration

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y$
$x_1$	1				
$x_2$	0.364	1			
$x_3$	-0.583	0.468	1		
$x_4$	-0.241	-0.786	0.884 *	1	
$y$	-0.942 **	0.868 *	0.756 *	-0.591	1

$x_1$ :密度 Density; $x_2$ :坡向 Slope aspect; $x_3$ :坡位 Slope position; $x_4$ :海拔 Altitude; $y$ :幼树、幼苗数量 Number of seedling or sapling. \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

3 讨论

3.1 油松人工林群落木本植物更新特征

植被演替的主要特征是物种组成和群落结构的变化,而更新层物种的演替是森林群落结构发生变化的主要驱动因子<sup>[2,5]</sup>。因此,木本植物的更新对群落结构的优化及群落的稳定性具有重要作用<sup>[10]</sup>。

子午岭油松人工林更新层木本植物种类有46种,表明油松人工林林下植被更新良好。但物种数量远低于秦岭山地油松群落中更新层的物种数<sup>[9,12]</sup>。乔木种类中,辽东栎、沙栎、鞘柄菝葜等为油松人工林下更新的乔木优势种。辽东栎是黄土高原地区的主要地带性植被,也是演替的顶极群落。辽东栎种群极易侵入到油松群落中,成为更新层的优势种。

人工林持续发育的基本条件是建群种可以自我更新。人工林造林工程结束后,随着乡土物种的入侵,乡土种和建群种将共同构建群落复层结构,为人工群落天然化和持续发育奠定基础<sup>[13-14]</sup>。在子午岭地区的人工油松林群落的更新层中,油松为次优势种,其幼苗、幼树密度仅为425株/hm<sup>2</sup>,而优势种辽东栎的密度2748株/hm<sup>2</sup>,表明油松种群的自我更新能力较差。主要因为油松是阳生性树种,大量灌草植被和油松幼苗幼树竞争有限的光照、水分和养分等资源,对油松更新苗的定居和幼树的生长产

生竞争排斥作用<sup>[8-9]</sup>。林下大量的中生性阔叶树种还侵占了油松更新苗的潜在生态位,从而对油松更新苗的存活和定居产生影响<sup>[15]</sup>。

植物更新的关键是由种子的产生、扩散、萌发及幼苗形成到幼树构建的过程。其中幼树形成比较重要,而幼苗是一个潜在的更新库<sup>[16]</sup>。对油松人工林群落更新层幼苗、幼树的径级及年龄结构分析表明,幼苗数量占更新层木本植物总数的68.3%,丰富的幼苗库可为群落的更新演替提供有力的保障,幼苗的补充率大于死亡率,种群有继续扩大的趋势<sup>[17-18]</sup>。但是,大量低龄幼苗的存在加剧了种间和种内竞争,随着种群年龄的增加,幼苗幼树数量减少,特别是大于7 a的幼苗数量急剧减少。因此,较大的幼苗库持久存在,并不能保证有良好的更新,种群的死亡高峰出现在幼树期,幼树阶段数量比幼苗大幅减少成为林下更新乔木层物种能否进入主林层的关键<sup>[19]</sup>。林下幼苗以实生更新为主,数量较多,萌生更新不占优势,表明其群落处于活跃的更新演替阶段<sup>[20]</sup>。

### 3.2 油松人工林林下木本植物更新的影响因子

林分密度反映了林木对其空间的利用程度,是影响林木生长和林下植物发育的重要因子<sup>[21]</sup>。当林分密度从650株/hm<sup>2</sup>增至1550株/hm<sup>2</sup>时,林下自然更新的幼苗、幼树密度呈增加趋势,随着林分密度进一步的增加,林下幼苗、幼树数量逐渐减少。主要由于不同林分密度导致了林下光、热、水分、土壤理化特性等生态因子的异质性,并直接影响到林下幼苗、幼树的生长。油松林密度过低不利于更新,可能是林下过强的光照抑制了更新层中大量中生偏阴生性优势植物幼苗的萌发和生长;同时,油松人工林是建立在落叶灌丛上,油松生长早期受到灌、草植物光照、水分和养分竞争,而密度过低降低了高生长,延长了油松个体受灌木物种压抑的时间及群落的郁闭过程<sup>[22]</sup>。随着林分密度的增大,林下光照强度逐渐减弱,有利于幼苗、幼树的生长;但高密度的林地要求更多的水分和养分,导致种内竞争加剧,密度越大,林木的生长由于受到水分及养分不足的制约,死亡率越高,生长状况越差。有研究认为,当油松人工林林分密度增大到中密度时,林下物种多样性指数最高,土壤理化特性优良;随着林分密度进一步增大,林下物种多样性指数减小,林地呈衰退趋势<sup>[15]</sup>。这说明不同林分密度造成的林地理化特性差异,也是影响幼苗、幼树数量的直接作用因子之一。

坡向也是影响干旱、半干旱地区油松天然更新的重要因子<sup>[22]</sup>。阴坡日照时间短,太阳辐射弱,林内光照强度阴坡只是阳坡的32.3%,蒸发量低,土壤湿度大,有利于种子萌发、幼苗形成及存活。而阳坡日照时间长、辐射强度大、水分蒸发量大、土壤含水率低,加剧了干旱这一障碍因子。阴坡林下良好的土壤水分促进了更新苗的发育。林下幼苗密度从大到小依次为:阴坡>半阴坡>半阳坡>阳坡,这与任丽华等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。汤雨宁等<sup>[24]</sup>对东北地区油松人工林的研究也表明,阴坡最适宜油松天然更新,而阳坡不能进行天然更新。因此对阴坡区域的中密度林分可以实施封禁措施,减少人为干扰,实现林分结构的自然优化。

研究表明,由坡上部到坡下部,土壤由剥蚀逐渐过渡到堆积,腐殖质层由薄变厚,土壤质地由粗变细,土壤pH值升高,土壤含水量增加<sup>[11]</sup>。因此,下坡位土壤水分和养分条件优于上坡位,有利于幼苗的生长,上坡位光照时数长、光照强,利于幼树生长。但在子午岭地区,上坡位土壤干旱,不利于幼树的进一步生长发育,而中坡位良好的水分状况和光照为幼树的生长发育提供了良好的条件,因此,中坡位幼树的发育较好。

海拔的变化会改变植物的生长条件,使得不同生物学特性的树种具有不同的更新状况,从而影响森林的天然更新<sup>[2,20]</sup>。在子午岭地区,随着海拔的升高,温度及降水量会下降,抑制了幼苗、幼树的生长发育。

研究区域地带性植被是落叶阔叶林或针阔混交林,物种多样性和群落稳定性程度相对较高的针阔混交林应该是该地区油松人工林人工抚育和改造的方向<sup>[15]</sup>。乔木层物种的存在和更新需要一定的环境支持,而灌木和草本层是直接影响林下小生境的主要因子,通过地表的温度、光照和水分间接影响乔木层树种的种子萌发、幼苗建立和生长<sup>[24]</sup>。

油松林是黄土高原地区森林演替的亚顶极群落,油松人工林下木本植物的更新状况直接影响其演替进程及群落的稳定性。林分密度、坡向、坡位、海拔等共同影响油松人工林的天然更新,其中林分密度与林分更新的关系最密切。由于不同密度林分内光、热、水分等小环境因子差异显著,林下乔木幼苗、幼树的生长发育对其反响强烈。因此,有必要对密度过大或过小的油松人工林进行适度的人为干扰。对于稀疏的林分,可以人工栽植经济属性较好

的地带性植被;而对于过密的林分,应通过适当间伐,控制林分郁闭度,促进林下幼苗、幼树的生长,逐渐形成异龄针阔混交林。

## 参考文献 (References)

- [1] Moktan M R, Gratzner G, Richards W H, et al. Regeneration of mixed conifer forests under group tree selection harvest management in western Bhutan Himalayas[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257:2121–2132
- [2] Ma Jianming, Liu Shirun, Shi Zuoming, et al. Natural regeneration of *Abies faxoniana* along restoration gradients of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4):646–657 [马姜明, 刘世荣, 史作民, 等. 川西亚高山暗针叶林恢复过程中岷江冷杉天然更新状况及其影响因子[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(4):646–657]
- [3] Dejan F, Thomas A N, Jurij D. Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257:1893–1901
- [4] Igarasi T, Chen D. Fungal damage caused by *Racodium thierrii* to regeneration of Japanese larch by natural seeding[J]. *Research Bulletins of the College Experiment Forests, Hokkaido University*, 1988, 45(1):213–219
- [5] Wang Mei, Zhang Wenhui. Growth and species diversity of *Pinus tabulaeformis* artificial forest on different slope aspects[J]. *Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica*, 2009, 29(8):1678–1683 [王梅, 张文辉. 不同密度油松人工林生长更新状况及群落结构[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2009, 37(7):75–80]
- [6] Zhang Xibiao, Wang Ruijuan, Shangguan Zhouping. Dynamics of seed rain and soil seed bank in *Pinus tabulaeformis* Carr. forests in eroded hilly loess regions of the Loess Plateau in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4):1877–1884 [张希彪, 王瑞娟, 上官周平. 黄土高原子午岭油松林的种子雨和土壤种子库动态[J]. *生态学报*, 2009, 29(4):1877–1884]
- [7] Zhang Xibiao, Shangguan Zhouping. Floristic characteristics of seed plants in Ziwouling of Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8):872–877 [张希彪, 上官周平. 黄土高原子午岭种子植物区系特征研究[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(8):872–877]
- [8] Han Wenjuan, Yuan Xiaoqin, Zhang Wenhui. Effects of gap size on seedling natural regeneration in artificial *Pinus tabulaeformis* plantation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(11):2940–2948 [韩文娟, 袁晓青, 张文辉. 油松人工林林窗对幼苗天然更新的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(11):2940–2948]
- [9] Kang Bin, Wang Dexiang, Cui Hongan, et al. Regeneration characteristics and related affecting factors of *Pinus tabulaeformis* secondary forests in Qinling Mountains[J]. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2011, 22(7):1659–1667 [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[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7):1659–1667]
- [10] Li Xiaoshuang, Liu Wenyao, Chen Junwen, et al. Seedling regeneration in primary moist evergreen broad-leaved forest and different type secondary[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10):1921–1927 [李小双, 刘文耀, 陈军文, 等. 哀牢山混生常绿阔叶林及不同类型次生植被的幼苗更新特征[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(10):1921–1927]
- [11] Zhou Ping, Liu Guobin, Hou Xilu. Study on soil physical and nutrients properties of different slope aspects and positions in eroded loess hilly region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1):7–12 [周萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(1):7–12]
- [12] Jing Li, Zhu Zihong, Wang Xiaolan, et al. Community characteristics of a *Pinus tabulaeformis* secondary forest and a planted forest in the Xunyangba Region of the Qinling Mountains[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(6):711–717 [景丽, 朱志红, 王孝安, 等. 秦岭油松人工林与次生林群落特征比较[J]. *浙江林学院学报*, 2008, 25(6):711–717]
- [13] Liu Qing, Yin Huajun, Cheng Xinyin, et al. Problems and strategies of sustainable regeneration of plantation ecosystem in China. *World Forestry Research*, 2010, 23(1):71–75 [刘庆, 尹华军, 程新颖, 等. 中国人工林生态系统的可持续更新问题与对策[J]. *世界林业研究*, 2010, 23(1):71–75]
- [14] Wang Hansheng. Natural regeneration of plantation forests under drought[J]. *Arid Zone Research*, 2012, 29(5):743–750 [王晗生. 干旱影响下人工林的天然更新进程[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(5):743–750]
- [15] Wang Tiemei, Chen Yunming, Zhang Wuewu, et al. Biodiversity and regeneration of *Pinus tabulaeformis* forest in Loess Hilly Region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(6):66–70 [王铁梅, 陈云明, 张学伍, 等. 黄土丘陵区人工油松林下植物多样性和更新调查[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(6):66–70]
- [16] Kang Bin, Liu Shirun, Wang Dexian, et al. Regeneration characteristics of woody plant seedlings in typical secondary forests in Qinling Mountains[J]. *Journal Applied Ecology*, 2011, 22(12):3123–3130 [康冰, 刘世荣, 王得祥, 等. 秦岭山地典型次生林木本植物幼苗更新特征[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12):3123–3130]
- [17] Zhang Xibiao, Wang Ruijuan, Zhou Tianlin, et al. Gap features and renewal dynamics in secondary *Pinus tabulaeformis* forest in hilly loess region[J]. *Journal Applied Ecology*, 2008, 19(10):2103–2108 [张希彪, 王瑞娟, 周天林, 等. 黄土丘陵区油松天然次生林林窗特征与更新动态[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(10):2103–2108]
- [18] Ju Tianzhen, Mi Caiyan, Shi Hexiong, et al. The regeneration and survival of *Pinus tabulaeformis* Carr. Population in Xiaolongshan nature reserve[J]. *Mountain Research*, 2012, 30(1):36–40 [巨天珍, 米彩燕, 师贺雄, 等. 小陇山国家级自然保护区油松种群更新及生存[J]. *山地学报*, 2012, 30(1):36–40]
- [19] Jiao Xin, Liu Guangquang. Growth and its influencing factors of *Pinus tabulaeformis* in the Loess plateau of Shanxi Province[J]. *Acta Bot. Boreal. – Occident. Sin.*, 2009, 29(5):0867–0873 [焦醒, 刘广全. 陕西黄土高原油松生长状况及其影响因子分析[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(5):0867–0873]

- [20] Pastur G J M, Cellini J M, Lencinas M V, et al. Environmental variables influencing regeneration of *Nothofagus pumilio* in a system with combined aggregated and dispersed retention[J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261: 178–186
- [21] Sun Sucun, Gao Xianming, Bao Weikai, et al. Density effects on tree growth and community structure of chinese pine plantations the upper reachfs of them in river, China[J]. *Chin J Appl Environ Biol.*, 2005, 11(1): 8–13 [孙书存, 高贤明, 包维楷, 等. 岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(1): 8–13]
- [22] Wang Mei, Zhang Wenhui. Grow thand species diversity of *Pinus tabulaeformis* artificial forest on different slope aspects [J]. *Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica*, 2009, 29(8): 1678–1683 [王梅, 张文辉. 不同坡向人工油松林生长状况与林下物种多样性分析[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(8): 1678–1683]
- [23] Ren Lihua, Zhou Guixia, Li Fengmin. Distribution of seedlings in the forest of *Pinus tabulaeformis* and natural regeneration on Western Liaoning [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2010, (1): 11–13, 35 [任丽华, 邹桂霞, 李凤鸣. 辽西油松林下幼树分布规律及其天然更新研究[J]. *防护林科技*, 2010, (1): 11–13, 35]
- [24] Tan Yuning, Liu Mingguo, Yin You, et al. Regeneration rules of *Pinus tabulaeformis* forest in the Chaoyang region[J]. *Liaoning Forestry Science and Technology*, 2007, (4): 41–43 [汤雨宁, 刘明国, 殷有, 等. 朝阳地区油松天然更新规律初探[J]. *辽宁林业科技*, 2007, (4): 41–43]

## The Regeneration Characteristics and Affecting Factors of *Pinus tabulaeformis* Artificial Forests of Ziwu Mountains, China

ZHANG Xibiao<sup>1,2</sup>, SHANGGUAN Zhouping<sup>2</sup>, WAN Jicheng<sup>1,2</sup>, MAO Ning<sup>1,2</sup>

(1. University provincial key laboratory for protection and utilization of Longdong Bio-resources in Gansu province, college of life science and technology, Longdong University, Qingyang 745000, Gansu, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resoures, Yangling 712100 Shaanxi, China)

**Abstract:** This study investigated the characteristics of community regeneration and the effect of environmental factors on community regeneration of *Pinus tabulaeformis* artificial forest in Loess hilly area of Ziwu Mountains, north-west China by using sampling plot method. The results showed that there were 46 woody plants in the regeneration layer of *Pinus tabulaeformis* artificial forests, among which 16 species were arbors and 29 species were shrubs, accounting for 33.33% and 64.58% of the total, respectively. The dominant species of regeneration layer were *Quercus wutaishanica*, *Swida bretchneideri*, *Smilax stans*, etc. *Pinus tabulaeformis* was the subdominant species, and its populations had some self-renewal ability. *Pinus tabulaeformis* artificial forests possess abundant seedling bank of lower height-class and age-class. The main regeneration type was seedling. The stand density had a extremely significant effects on understory arbor seedling and the amount of saplings ( $P < 0.01$ ). The densities of regenerated seedlings and saplings understory increased when stand density increased from 650 trees/hm<sup>2</sup> to 1 550 trees/hm<sup>2</sup>, but it decreased gradually with stand density continued increasing. Slope aspect also had a significant influence on seedling and sapling densities ( $P < 0.05$ ). The seedling densities increased gradually when slope aspect changed from sunny slope to shady slope. The forest regeneration characteristics differed at different slope position. The seedling densities decreased gradually from down slope to up, while the sapling densities of middle slope was the highest, followed by lower slope, and the upper slope was the lowest. The seedling (sapling) decreased gradually with the altitude increasing. It was indicated that medium stand density on shady slope had the best regeneration. Thus, to rationally regulate stand density could be conducive to natural regeneration of *Pinus tabulaeformis* artificial forests.

**Key words:** *Pinus tabulaeformis* artificial forests; regeneration characteristics; environmental factor; Loess hilly area; Ziwu Mountains