

# 六盘山 4 种类型森林群落天然更新初探

金红喜<sup>1,2</sup>, 杨占彪<sup>1</sup>, 袁彩霞<sup>3</sup>, 何小琴<sup>4</sup>, 王 刚<sup>1</sup>

(1. 兰州大学 干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 甘肃 民勤 733000; 3. 固原市六盘山国营林业局, 宁夏 固原 756401; 4. 甘肃省林业调查规划院, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 本文调查了六盘山国家自然保护区阔叶林、油松林、华山松林和华北落叶松林内天然更新状况, 分析了林型、林分胸高断面积和坡向对乔木幼苗密度、幼苗多样性、幼苗丰富度的影响。结果表明: (1) 4 种林型内都有辽东栎和华山松幼苗的分布; 并且, 在整个林区内辽东栎幼苗数量多, 所占比例最高, 表明辽东栎幼苗在该地区所有群落类型中更新良好。(2) 幼苗密度、幼苗多样性和幼苗丰富度均为阔叶林>油松林>华山松林>华北落叶松林。(3) 坡向对乔木幼苗的分布有显著影响; 除阔叶林, 其余林型内乔木幼苗均表现为阳坡<阴坡。(4) 随着乔木胸径的增加, 阔叶林内幼苗密度呈上升趋势, 幼苗多样性和丰富度呈下降趋势。针叶林内, 最高幼苗密度、多样性和丰富度均出现在中等胸高断面积的情况下。上述结果揭示, 对于密度较大的华北落叶松人工林, 应该进行适当地间伐, 从而改善人工林的更新情况, 增加群落的多样性, 提高生态系统功能。而且, 对于不同坡向的人工林应该采用不同的抚育措施。

**关键词:** 天然更新; 幼苗; 林型; 坡向; 胸高断面积。

中图分类号: S718.542      文献标识码: A      文章编号: 1001-7461(2009)01-0093-05

## Regeneration of Four Types Forest Communities in Liupan Mountains

JIN Hong-xi<sup>1,2</sup>, YANG Zhan-biao<sup>1</sup>, YUAN Cai-xia<sup>3</sup>, HE Xiao-qin<sup>4</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. National Field Scientific Observation Research Station on Gansu Minqin Desert Grassland Eeo-system, Minqin, Gansu 733000, China; 3. Liupanshan Forestry Bureau of Ningxia Guyuan, Ningxia 756401, China; 4. Gansu Forestry Investigation and Planning Institute, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** The objective of this study were to investigate the natural regeneration and the percentage of species seedlings of broadleaved forest, *Pinus tabulaeformis* forest, *P. armandii* forest and *Larix principis-rupprechii* forest in Liupanshan National Natural Reserve. The effects of slope aspect and tree basal area on seedling density, seedling diversity and seedling richness were analyzed. The results showed that (1) Seedlings of *Quercus liaotungensis* and *P. armandii* were distributed in four types of forest and *Q. liaotungensis* had the highest seedling density, seedling diversity and seedling richness indicating that regeneration of *Q. liaotungensis* can survive in any type community. (2) Seedling density, seedling diversity and richness were highest in broadleaved forest, and then in *P. tabulaeformis* forest, *P. armandii* forest, and that were lowest in *L. principis-rupprechii* forest. (3) Slope aspect had significantly influence on seedling distribution. Seedling densities of all species on shady slope were higher than those on sunny slope in four type forests except in broadleaved forest. (4) Seedling density increased with the increase of tree basal area, while seedling diversity and seedling richness decreased with the increase of tree basal area in broadleaved forest. However, seedling density, seedling diversity and seedling richness were peaked at the in-

收稿日期: 2008-03-11    修回日期: 2008-04-20  
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111500), 甘肃沙漠综合治理科技创新团队和荒漠区优质樟子松苗木培育及农林营造技术示范(05EFN216200292)  
作者简介: 金红喜, 男, 在读博士, 主要研究方向为植物生态和荒漠生态。E-mail: jinhx@gsceri.com  
\* 通讯作者: 王 刚, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事理论生态学和植物生态学研究。

intermediate basal area in three conifer forests and decreased with the increase of basal area. The results obove mentiond provide further evidence that people can achieve the higher regeneration, diversity, and functioning through managing low density in artificial forest. Moreover, the forests in different slope aspects need different management.

**Key words:** natural regeneration; seedling; forest type; slope aspect; basal area.

六盘山国家自然保护区是我国西北黄土高原典型的次生林区,对涵养水源、调节气候和改善当地环境起着重要的作用<sup>[1]</sup>。在近四五百年来,由于人口增加、耕地面积扩张、燃料需求增加导致六盘山林区受到大面积砍伐。自 20 世纪 60 年代当地政府引进华北落叶松 (*Larix principis-upprechii*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*) 等树种对退化的土地进行恢复试验以后,六盘山森林覆盖率得到显著的提高;特别是退耕还林和天然林保护措施实施以来,人为干扰减少,六盘山的植被得到快速恢复。但是,由于人工林初植密度过大,结构单一<sup>[2]</sup>,造成现有的群落物种多样性低、土壤酸化、更新能力差,以及抵抗病虫害和自然灾害的能力差等问题<sup>[3]</sup>,尤其是林区内的华北落叶松林。森林的天然更新直接影响着整个森林未来的群落结构、多样性<sup>[4-5]</sup>和森林生态功能<sup>[6]</sup>,能够弥补人工纯林物种单一的缺陷,可以充分利用林地空间效益,形成立体的植被空间<sup>[3]</sup>。适宜的森林密度、光照、土壤情况等生境条件是森林天然更新需要的基本条件<sup>[7-11]</sup>。虽然有研究表明华北落叶松的天然更新仅出现在群落受到火烧、风倒和洪水等大的干扰后<sup>[6, 12, 13]</sup>,但是乔木的胸高断面积和坡向对华北落叶松天然更新的影响仍然需要进行深入细致的研究。本文调查了六盘山国家自然保护区内人工华北落叶松林内天然更新幼苗与胸高断面积和坡向之间关系;并与其它 3 种保护区内的常见林型进行了对比,为今后的森林经营管理提供依据。

# 1 研究地自然概况

研究地点位于西北黄土高原西部 (E 106°09'~106°30', N 35°15'~35°41'),是泾河、清水河、葫芦河的发源地。气候类型属于暖温带半湿润区和半干旱区的过渡带;年日照时数在 2 100~2 400 h,年均气温 5~5. 8 ℃,≥10 ℃积温 1 846. 6 ℃,年降水量 600~820 mm,多集中于 6~9 月,干燥度<1. 0,无霜期 100~130 d;地形以石质山地为主,海拔 2 040~2 942 m,土壤以灰褐土为主。六盘山现有主要森林类型有华山松林、辽东栎林(*Quercus liaotungensis*)、山杨林(*Populus davidiana*)、白桦林(*Betula platyphylla*)、红桦林(*Betula albosinensis*)等次生林和油松林、华北落叶松林(*L. principis-rupprechii*)等人工林<sup>[14]</sup>。

# 2 研究方法

## 2.1 样方选择

2004~2006 年 7~8 月在六盘山国家自然保护区选择 4 种林型:阔叶林、油松林、华山松林、华北落叶松林进行调查。测定每个林型海拔、坡向、坡度等指标;并且在每个林型内随机选择 3 个样方,样方大小为 10 m×10 m。每个样方内调查树高>1. 3 m 种类、树高、胸径和树高<1. 3 m 幼苗种类、数量。

## 2.2 数据分析

物种丰富度(*D*)的计算方法: $D=S$  式中 *S* 表示调查面积内的种数<sup>[15]</sup>。

物种多样性(*H'*)的计算方法: $H' = -\sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$  式中 *n<sub>i</sub>* 为第 *i* 种的个体数,*N* 为全部种的个体总数<sup>[15]</sup>。

林分类型划分根据林型内各树种胸高断面积所占比例决定,针叶树种胸高断面积所占比例>60% 为针叶林,阔叶林内阔叶树种胸高断面积所占比例>70% (表 1)。所有数据用 SPSS13. 0 分析。

Table 1 Definition of forest type, their basal area (%±S. E.)				
树种	阔叶林	油松林	华山松林	华北落叶松林
辽东栎	41. 3±9. 97	0	0	1. 5±0. 89
少脉椴	25. 3±7. 77	0	1. 7±1. 69	0. 4±0. 41
桦树	20. 4±9. 63	0. 7±0. 54	3. 3±1. 71	0. 1±0. 10
山杨	7. 3±4. 82	0. 1±0. 11	0	0
油松	0. 1±0. 09	98. 5±0. 72	0	0. 6±0. 55
华北落叶松	0	0. 5±0. 46	0	97. 3±1. 11
华山松	0	0	95. 0±2. 29	0
桦叶四蕊槭	0	0. 2±0. 24	0	0

# 3 结果与分析

## 3.1 4 种林型幼苗密度、多样性和丰富度

从图 1a 可以看出,由于林分类型不同,各林分幼苗密度有显著差异( $P<0. 05$ ),依次为阔叶林>油松林>华山松林>华北落叶松林,阔叶林幼苗密度为 3 600 株/hm<sup>2</sup>,而华北落叶松林仅为 178 株/hm<sup>2</sup>。相应 4 种林型幼苗多样性和幼苗丰富度也表现出相似结果,即幼苗多样性和幼苗丰富度也为阔叶林>油松林>华山松林>华北落叶松林,尤其是阔叶林中,幼苗平均多样性和丰富度达到 1. 25 和 3. 43(图 1b、c)。而华北落叶松林平均幼苗密度和幼苗多样性仅为 0. 15 和 0. 59。无论是幼苗密度还

是幼苗多样性、幼苗丰富度，阔叶林均高于其它 3 种 针叶林。

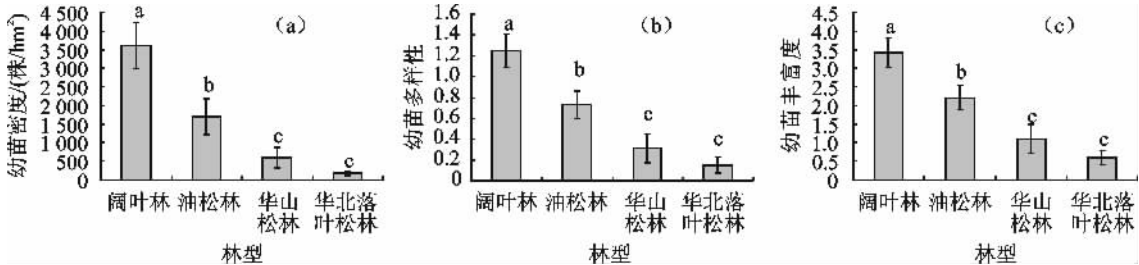


图 1 4 种类型林型幼苗密度(a)、幼苗多样性(b)和丰富度(c)

Fig. 1 Seedling density (a), seedling diversity (b) and seedling richness of four type forests in comparisons,

different letters above bars indicate significant differences ( $P<0.05$ ), same letters indicate non-significant differences ( $P>0.05$ ).

3.2 4 种林型各树种幼苗比例

研究区 4 种林型内幼苗种类各不相同(图 2)。阔叶林内幼苗主要有:辽东栎、少脉槲、山杨、桦叶四蕊槭、红桦、白桦、油松、华山松。油松林内幼苗主要有:辽东栎、桦叶四蕊槭、红桦、白桦、油松、华山松。华山松林内主要有:辽东栎、红桦、白桦、华山松。华北落叶松林主要有:辽东栎、桦叶四蕊槭、少脉槲、华山松。从图 2a 可以看出,阔叶林内辽东栎幼苗所占比例最大,为 39.88%;其次为少脉槲,为 24.4%;红桦、白桦、油松、华山松幼苗比例最小。在所调查的样方中,组成林冠层的树种中没有发现华山松和桦叶四蕊槭(表 1),说明华山松和桦叶四蕊槭种子通过动物或风力作用传播,入侵该群落。油松林内各树种幼苗所占比例依次为辽东栎>红桦>油松>桦叶四蕊槭>华山松>白桦,由于油松林为人工林,油

松胸高断面积总和所占比例为 98.5%,而辽东栎和华山松为 0(表 1),油松林内辽东栎和华山松幼苗的出现(辽东栎幼苗占 23.86%)说明动物对辽东栎和华山松种子传播,对辽东栎和华山松更新起到非常重要的作用。华山松林和华北落叶松林内幼苗种类少于阔叶林和油松林(图 2c,d)。华山松林内幼苗所占比例依次为辽东栎>华山松>红桦>白桦;华北落叶松林内幼苗所占比例依次为辽东栎>桦叶四蕊槭>华山松>少脉槲。4 种不同类型林分内,辽东栎幼苗均有分布,并且所占比例最大(图 2),表明动物对辽东栎种子的传播起重要的作用,辽东栎幼苗是可以侵入该地区所有群落类型并且适应该地区的生长从而稳定存在,其种群天然更新所需的幼苗是可以持续得到补充的。

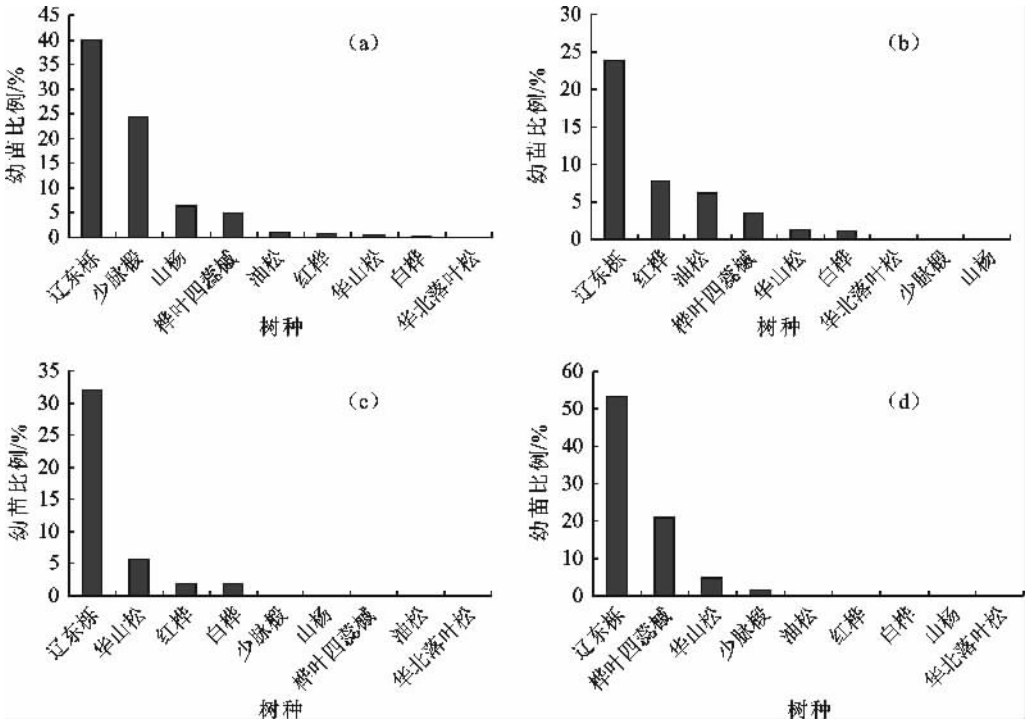


图 2 4 种林型各树种幼苗比例

(a). 阔叶林;(b). 油松林;(c). 华山松林;(d). 华北落叶松林

Fig. 2 Percentage of seedling in (a) broadleaved forest, (b) *P. tabulaeformis*, (c) *P. armandii* and (d) *L. principis-rupprechii* forest

3.3 4 种林型内树种幼苗密度和坡向的关系

表 2 表示各林型中不同坡向各树种幼苗的平均密度,各树种在不同坡向的幼苗密度不同。阔叶林中阳坡辽东栎幼苗密度明显高于阴坡( $P<0.05$ ),而在其它 3 种针叶林内却表现出不同的趋势,即在针叶林内阴坡辽东栎幼苗密度明显高于阳坡( $P<0.05$ )。阔叶林内山杨幼苗大多分布在阳坡,而阴坡没有分布( $P<0.05$ )。有桦叶四蕊槭、少脉槭、红桦、白桦、油松幼苗的林型中,幼苗密度表现出相同的趋势,即阳坡<阴坡。但有些在阳坡没有分布,如华北落叶松林阳坡没有分布少脉槭幼苗,油松、红桦、白桦在阔叶林阳坡没有分布。表明坡向对辽东栎、山杨幼苗的分布有重要的影响。针叶林内总体趋势是阳坡<阴坡,表明针叶林内幼苗更容易在阴坡成活。

3.4 幼苗密度、幼苗多样性、幼苗丰富度和胸高断面面积的关系

从图 3 可看出,4 种林分内幼苗密度、幼苗多样

性和幼苗丰富度随着胸高断面面积的增加表现出不同的变化趋势。阔叶林内幼苗密度随着胸高断面面积的增加而增加,当胸高断面面积 $>35\text{ m}^2/\text{hm}^2$  时,幼苗平均密度最大,为  $4\,200\text{ 株}/\text{hm}^2$ ;而幼苗多样性和丰富度却随着胸高断面面积的增加呈下降的趋势(图 3),即当胸高断面面积 $>35\text{ m}^2/\text{hm}^2$  时最小。油松林、华山松林、和华北落叶松林内胸高断面面积为  $30\sim 35\text{ m}^2/\text{hm}^2$  时幼苗密度最大,分别为  $3\,712.5\text{ 株}/\text{hm}^2$ 、 $1\,950\text{ 株}/\text{hm}^2$ 、 $222.2\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。且油松林和华山松林内中等胸高断面面积( $30\sim 35\text{ m}^2/\text{hm}^2$ )的幼苗密度与较大胸高断面面积( $<30\text{ m}^2/\text{hm}^2$ )、较小胸高断面面积( $>35\text{ m}^2/\text{hm}^2$ )的差异性显著( $P<0.05$ ,图 3)。3 种针叶林内幼苗多样性、幼苗丰富度的变化趋势和幼苗密度相同,即在中等胸高断面面积时达到最大值。随着胸高断面面积的增加,郁闭度增加,幼苗密度、幼苗多样性和幼苗丰富度减小。说明郁闭度(胸高断面面积)对幼苗密度、幼苗多样性和幼苗丰富度产生重要的影响。

表 2 4 种林型内树种密度和坡向的关系

Table 2 Relationship between mean seedling density of species and slope aspect in four type forests

树种	坡向	阔叶林	油松林	华山松林	华北落叶松林
辽东栎	阳坡	3 200±512.8 a	157.1±95.9 a	333.3±215.5 a	11.1±11.1 a
	阴坡	455.6±98.8 b	1 680±494.1 b	633.3±536.4 b	160±65.5 b
山杨	阳坡	640±374.9 a	0	0	0
	阴坡	0 b	0	0	0
桦叶四蕊槭	阳坡	200±176.1	14.3±7.4 a	0	33.3±23.6
	阴坡	388.9±205.1	310±70.6 b	0	80±42.7
少脉槭	阳坡	100±31.6	0	0	0
	阴坡	177.8±66.2	0	0	5±1.5
油松	阳坡	0	214.3±154.0	0	0
	阴坡	55.6±44.4	250±83.3	0	0
红桦	阳坡	0	178.6±171.0	0	0
	阴坡	44.4±29.4	480±216.5	33.3±33.3	0
白桦	阳坡	0	0	0	0
	阴坡	11.1±6.3	110±91.2	33.3±33.3	0
华山松	阳坡	0	42.9±29.1	66.7±49.4	0
	阴坡	22.2±14.7	0	166.7±88.2	15±10.1

■低胸高断面面积    ▨中等胸高断面面积    □高胸高断面面积

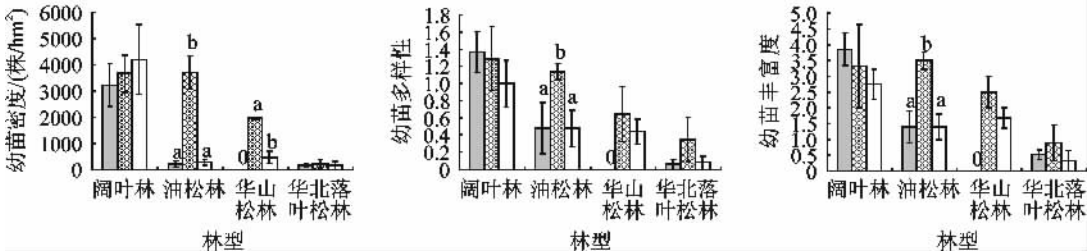


图 3 4 种林型胸高断面面积与幼苗密度、幼苗多样性和丰富度的关系

低胸高断面面积: $<30\text{ m}^2/\text{hm}^2$ ;中等胸高断面面积: $30\sim 35\text{ m}^2/\text{hm}^2$ ;高胸高断面面积: $>35\text{ m}^2/\text{hm}^2$

Fig. 3 Mean seedling density, diversity and richness in four type forest in relation to basal area.

Different letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ), same letters indicate non-significant differences ( $P>0.05$ ).

## 4 结论与讨论

### 4.1 更新和种子扩散

树木的更新是一个比较复杂,难于概述和预言的过程,主要取决于种子数量、种子的扩散、萌发和幼苗的存活<sup>[16]</sup>。而种子萌发、幼苗存活受到立地条件土壤水分、光照条件、植被等生物和非生物因素的影响<sup>[17]</sup>。研究区 4 种林型中,阔叶林幼苗密度分别为油松林、华山松林和华北落叶松林的 2.12、6.11、20.22 倍;阔叶林内树种多于油松林、华山松林和华北落叶松林,就可能产生较多的种子萌芽生成幼苗或者有较多的萌生苗;另一方面,阔叶林内林分结构复杂,存在有利于幼苗存活的生境<sup>[18]</sup>,从而导致阔叶林内幼苗密度、幼苗多样性、丰富度明显高于其它 3 种林型。此外,具有较多的种子雨而没有适应于幼苗存活的立地条件也不能增加幼苗的存活率<sup>[19]</sup>。4 种林型相比较,华北落叶松林具有最小的幼苗密度、幼苗多样性和丰富度,可能由于单一的林型结构和过大的密度阻碍了种子的传播和光利用的下降<sup>[20]</sup>,从而减少了种子的萌发和幼苗的存活。

4 种林型中最常见的 5 种幼苗是辽东栎、华山松、红桦、白桦和桦叶四蕊槭,表现出不同的种子扩散模式:风力传播(红桦、白桦、桦叶四蕊槭)和动物传播(辽东栎、华山松)。如果种子扩散对更新起主要作用,那么这两种更新策略是成功的。动物对坚果捕食和扩散是影响林内幼苗补充和建植的主要因素<sup>[21-23]</sup>。对辽东栎坚果的捕食和扩散主要是鼠类和林鸦<sup>[24]</sup>。鼠类当地消耗了小部分的坚果,大部分被运输到其它地方;林鸦可以把坚果运输到几百米甚至上千米外的空地或林缘,从而坚果得以萌芽<sup>[25]</sup>。辽东栎幼苗在 4 种林型内所占比例最大,分别为 39.88%、23.86%、32.07%、53.14%。主要是因为动物能对辽东栎坚果进行传播以及辽东栎具有较强的竞争能力。华山松也是靠动物扩散种子的树种,在 4 种林型中都可发现华山松幼苗,说明鼠类和鸟类对华山松种子的传播也起到重要的作用。

在 4 种林型中,阔叶林、油松林、华山松林中都有红桦和白桦幼苗分布,但所占比例较小。有研究表明,靠风力传播的种子量一般多于动物传播量<sup>[16]</sup>。说明红桦和白桦种子的萌发一定程度上受制于林内立地条件。华北落叶松林内没有红桦和白桦幼苗的分布,可能是由于较大的林分密度阻碍了一定量的种子传播,以及华北落叶松林内较差的立地条件和较厚的枯枝落叶层阻碍了种子的萌发和幼苗的存活。

### 4.2 坡向与幼苗密度

不同的坡向影响了林分生境,如光照、土壤含水量等。辽东栎在不同类型的林分中根据坡向的不同幼苗密度成显著差异。在阔叶林内,红桦、白桦、油松和华山松甚至在阳坡上没有幼苗分布,说明坡向可能是影响该地区幼苗存活的一个重要因素。因此在植被恢复中,应注意对不同坡向上的林分采用不同的抚育措施。

### 4.3 胸高断面积与幼苗密度

胸高断面积反映着林分郁闭度大小,与林分密度、郁闭度呈正相关关系<sup>[7]</sup>。4 种不同类型的林分内,阔叶林中幼苗密度随着胸高断面积的增加而增加,幼苗多样性和丰富度却随之减小。在胸高断面积较小时,林分密度较小,产生的种子量少,幼苗密度随之减少。当胸高断面积较大时,林分密度相应增大,较高的林分密度,增加了萌生幼苗的成活的几率<sup>[24]</sup>,如辽东栎、少脉槭、山杨等。此外胸高断面积增大,林分密度和郁闭度增大,竞争能力弱的树种幼苗成活率下降,导致林分内幼苗多样性和丰富度的下降。针叶林内当胸高断面积较小时,林分密度相应较小,所产生种子量较少,幼苗密度相应较小。当胸高断面积较大时,由于立地条件、竞争等因素导致幼苗密度、多样性和丰富度下降。

森林管理目的是恢复森林生态系统的多样性、结构和功能<sup>[20]</sup>。4 种类型林分中,针叶林的幼苗密度、多样性和丰富度都小于阔叶林,特别是华北落叶松林内幼苗多样性和丰富度最小,因此针叶林内阔叶树种的更新应该特别关注。由于人工林初植时较大的密度,形成了结构简单的林分结构,林内更新树种稀少,生物多样性较低,防御病虫害的能力差,应该进行间伐而增加树种更新,增加林内生物多样性,提高生态系统功能。

### 参考文献:

- [1] 张全生,张建军,丁建江,等.六盘山华山松天然更新调查报告[J].陕西林业科技,2003(4):26-28.
- [2] 李晓慧,陆元昌,袁彩霞等.六盘山林区林分直径分布模型研究[J].内蒙古农业大学学报,2006,27(4):68-72.
- [3] 吕玉廷,邱东法,谈天然更新对恢复自然生态的影响力[J].林业勘查设计,2006(4):20-21.
- [4] Oliver C D, Larson B C. Forest stands dynamics [M]. John Wiley and Sons, New York. 1996:520.
- [5] Franklin J F, Spies T A, Van P R, *et al.* Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications: using Douglas-fir forests as an example [J]. Forest Ecology and Management, 2002, 155:399-423.

(下转第 135 页)

中国果树,2006(3):47-49.

[2] 程晓建,王白坡,符庆功,等. 浙江省杨梅果实重金属含量水平及其评价[J]. 江西农业大学学报,2006,28(1):19-22.

[3] 陈合,李祥,李利军. 套袋对苹果果实重金属及农药残留的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(1):102-106.

[4] 韩鹏,廖明安,刘旭,等. 汉源金花果梨园土壤和果实中重金属元素含量的测定分析[J]. 北方园艺,2007(6):31-33.

[5] 秦樊鑫,段婷婷. 测定土壤中重金属 Pb、Cd、Cu、Zn、Ni 前处理方法[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2005,23(2):25-27.

[6] 徐美蓉. 甘肃省主要无公害中药材基地土壤重金属含量分析与评价[J]. 甘肃农业科技,2006(8):52-54.

[7] 何江,王新伟,李朝生,等. 黄河包头段水-沉积物系统中重金属的污染特征[J]. 环境科学学报,2003,23(1):127-129.

[8] 王新,吴燕玉. 不同作物对重金属复合污染物吸收特性的研究[J]. 农业环境保护,1998,13(5):127-129.

[9] 陈贻金. 中国枣树学概论[M]. 北京:中国科学技术出版社,1991:58.

[10] 赵勇,李红娟,孙治强. 郑州农区土壤重金属污染与蔬菜质量相关性探析[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):126-130.

[11] 王绿洲. 黄河壶口至三门峡段渔业水域重金属污染及模糊数学评价[J]. 水利渔业,2007,27(1):71-73.



(上接第 97 页)

[6] 刘足根,朱教君,袁小兰,等. 辽东山区长白落叶松天然更新调查[J]. 林业科学,2007,43(1):42-49.

[7] 徐中芄. 擎天岗地区植群构造在森林“边缘—内部”梯度上的变异[D]. 国立台湾大学森林环境与资源学研究所硕士论文,2006:15-16.

[8] 杨沅志,张璐,陈北光,等. 珍稀濒危植物广东松林的群落特征[J]. 华南农业大学学报,2006,27(2):70-73.

[9] Gong Y L, Swqine M D, Miler H G. Effects of fencing and ground preparation on natural regeneration of native pine wood over 12years in Glen Tanar, Aberdeenshire [J]. Forestry, 1999,64:157-168.

[10] Zhu J J, Matsuzaki T, Li F Q, *et al.* Effects of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coast alpine forest[J]. Forest Ecology and Management, 2003,182:339-354.

[11] Yoshiko N, Shin-ichi Y. Gap formation, microsite variation and the conifer seedling occurrence in a subalpine old-growth forest, central Japan[J]. Ecological research, 2001(16):617-625.

[12] Tsuyuzaki S. Structure of a thinned *Larix olgensis* forest in Sandaohu peat land, Jilin Province, China[J]. Natural Areas Journal, 1994(14):59-60.

[13] Liu Q J. Structure and dynamics of the subalpine coniferous forest on Changbai mountain, China [J]. Plant Ecology, 1997,132: 97-105.

[14] 宁夏林业厅自然保护区办公室,宁夏六盘山自然保护区办公室. 六盘山自然保护区科学考察[M]. 银川:宁夏人民出版社,1989.

[15] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I  $\alpha$  多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.

[16] Hopper E, Legendre P, Condit R. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama[J]. Journal of Applied Ecology, 2005,42:1165-1174.

[17] Holl K D, Loik M E, Liu E H V, *et al.* Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment[J]. Restoration Ecology, 2000(8): 339-349.

[18] Vieira I C G, Uhl C, Nepstad K. The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham: As a ‘succession facilitator’ in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia[J]. Vegetatio, 1994, 115:91-99.

[19] Holl K D. Do bird perching structures elevate seed rain and seedling establishment in abandoned tropical pasture [J]. Restoration Ecology, 1998(6):253-261.

[20] Daniel R V, James A, Marcel B. An analysis of forest restoration 120 years after reforestation on badlands in the South-western Alps[J]. Restoration Ecology, 2002(10):16-26.

[21] Herrera C M. Seed dispersal and fitness determinants in wild rose: Combined effects of Hawthorn, birds, mice and browsing ungulates[J]. Oecologia, 1984,63: 386-393.

[22] Willson M F, Whelan C J. Variation in post-dispersal survival of vertebrate-dispersed seeds: effects of density, habitat, location, season and species[J]. Oikos. 1990,57:191-198.

[23] 王巍,马克平. 东灵山地区动物对辽东栎坚果的捕食和传播 I. 排除啮齿目动物对坚果丢失的影响[J]. 生态学报,2001,21(2):204-210.

[24] 王巍,马克平. 岩松鼠和林鸦对辽东栎坚果的捕食和传播[J]. 植物学报,1999,41(10):1142-1144.

[25] Bossema I. Jays and oaks: an eco-ethological study of a symbiosis[J]. Behaviour, 1979,70:11-17.