

子午岭马兰林区辽东栎幼苗定居限制的初步研究

郭 华, 王孝安*, 王世雄, 郭江超

(陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062)

摘要: 在子午岭马兰林区选择油松林、辽东栎林、灌丛、草地等四种群落, 通过播种实验及 3 a 的跟踪调查, 研究四种不同生境下辽东栎幼苗在定居过程中的生长规律。结果显示: 在四种生境中, 人为增加辽东栎种子密度, 均能明显提高出苗量, 幼苗生长三年后大量死亡, 死亡高峰出现在第三年。郁闭生境下(油松林和辽东栎林), 辽东栎出苗率及存活率高于开阔生境(灌丛和草地)。辽东栎幼苗高生长及径向生长在三年间无显著差异。本地区辽东栎种群更新早期阶段存在种子和微生境的双重限制。枯落层厚度及光照强度是产生微生境限制的主要因素。通过人工播种并增加对枯落层的人为扰动, 可能促进辽东栎种群向人工油松林的侵入。

关键词: 黄土高原; 播种实验; 种子限制; 微生境限制

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)03-0364-06

A pilot study of establishment limitation of *Quercus wutaishanica* seedlings in Malan Forest Region on Mt. Ziwuling

GUO Hua, WANG Xiao-An*, WANG Shi-Xiong, GUO Jiang-Chao

(College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In Malan forest region on Mt. Ziwuling, four types of stands (*Pinus tabulaeformis* forest, *Quercus wutaishanica* forest, Shrub and Grassland) were selected for seed sowing experiments. The growth data of seedlings establishing in four habitats were measured continuously in 3 years. The results showed that, in every stands, seeds addition could lead to higher seedling emergence, but the great deal of seedlings were dead after three years and the peak value presented in the third year. Under closure conifer and oak forest canopies, the seedling emergence and survival rates of *Q. wutaishanica* were higher than them in open shrub and grassland stands. The seedling height and diameter had no significant difference among three years. The early regeneration of *Q. wutaishanica* in this local, was limited by seed and microsite together. The litter thickness and light intensity were the primary microsite limitation factors. The invasion of *Q. wutaishanica* towards conifer plantation may be improved by artificial seed sowing and litter disturbing.

Key words: Loess Plateau; seed sowing experiment; seed limitation; microsite limitation

种子植物的生活史包括两个截然不同的生态过程: 固着生长阶段, 散布阶段。植物种群中新生个体的补充, 即种群更新, 是这两个阶段的连接点 (Eriksson 等, 1992)。植物种群更新早期包括种子扩散、萌发、出苗、成苗 4 个阶段, 其中种子萌发和幼

苗建成对外界环境条件较为敏感, 直接影响到种群更新效率 (Willson 等, 2000)。Ehrlén 等 (2006) 根据植物种群更新的主要限制因子, 将植物种群更新分为种子限制 (seed limitation) 和微生境限制 (microsite limitation) 两种类型。详细了解幼苗建成早

收稿日期: 2010-10-08 修回日期: 2010-12-10

基金项目: 国家重点基础研究与发展“973”规划 (2002CB111505) [Supported by the National Key Basic Research and Development Program of China (2002CB111505)]

作者简介: 郭华 (1978-), 男, 陕西西安市人, 硕士, 讲师, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) guohua@snnu.edu.cn.

* 通讯作者: 王孝安, 教授, 研究方向为植物种群、群落和恢复生态学等, (E-mail) wangxa@snnu.edu.cn.

期的生长规律及其影响因子,并研判植物种群的更新限制类型,是深入了解植物种群更新规律的必要工作,同时对预测植物种群动态具有重要意义。

栎属(*Quercus*)植物的种群更新问题是种群生态学研究热点之一(Münzbergová & Herben, 2005; Clark 等, 1999, 2004)。Tanouchi 等(1994)研究了日本四种栎属植物,指出其种子库波动很大,且持续时间短暂,但存在一个丰富稳定的幼苗库,种群更新主要依赖于实生苗库。而李庆康等(2003)指出林窗对东灵山地区辽东栎实生苗的高生长有促进作用,但对出苗率无显著影响,辽东栎种群更新主要依靠萌生方式进行。Crawley 等(1995)指出英国夏栎(*Q. robur*)在开阔地中受种子限制,郁闭林地受小生境限制。而 Gómez(2004)指出较好的微生境与种子埋藏与地中海地区冬青栎(*Q. ilex*)林更新无关。综合前人研究发现,栎属植物种群更新受到种子、微生境、动物采食及幼苗生长过程中环境条件的多方面限制,且存在较大的地域和种属差异。

黄土高原子午岭地区栎属植物以辽东栎(*Q. wutaishanica*)为主(朱志诚, 1991)。前人的研究涉及幼苗在各种林型中的数量分布特征(田丽等, 2007),林窗对幼苗更新的影响(张吕醉等, 2008),种子库及种子萌发特性(李永兵等, 2008; 陈智平等, 2005; 程积民等, 2009)等方面的研究。其中缺乏对幼苗建成过程的详细研究,尤其是对自然条件下出苗及幼苗建成的影响因子无直接的定量跟踪监测,从而无法对辽东栎在本地区的更新限制类型做出判断。本研究在马兰林区四种群落类型中开展播种实验,连续三年跟踪监测辽东栎出苗情况及幼苗同生群的生长动态,对辽东栎种群更新过程中幼苗补充的限制因素及幼苗命运展开定量研究,旨在了解辽东栎幼苗生长早期的生长规律及其限制因子,并对辽东栎种群的更新类型做出基本判断,从而为本地区的植被恢复工作积累必要的数据库。

1 研究区域概况

子午岭隆起于陇东黄土高原东缘,近南北走向,跨陕西、甘肃两省。本文所选的研究样地位于陕西省旬邑县东部马兰林区,属子午岭南端,海拔 1 200~1 700 m 之间。林下土壤为棕色森林土,枯枝落叶较多,但腐化不好。本区属暖温带半湿润地区,年均气温 7 °C, ≥ 0 °C 积温 3 134 °C。年降水量 580

mm,但降水季节分布不均,干旱季节由当年 12 月至来年 2 月,降雨多集中在 7、8、9 三个月,旱涝相间,易出现春旱和伏旱,影响林木种子的发芽和造林的成活率(陕西省林业厅, 1964)。

马兰林区是黄土高原目前保存较好的林区之一,自 20 世纪 60 年代以来,林区实行了封山育林和人工造林,森林面积不断扩大。林区主要植被类型包括以油松(*Pinus tabulaeformis*)林为主的人工林和自然分布的辽东栎林,这两类群落为该林区植被的人为顶极和气候顶极,林区内的其它人工林(刺槐 *Robinia pseudoacacia* 林、侧柏 *Platycladus orientalis* 林)和天然林(山杨 *Populus davidiana* 林、白桦 *Betula platyphylla* 林)面积较小,为群落演替过渡类型(范玮熠等, 2006)。以油松为主的森林,现已遍布全林区,占人工林面积的 81%,目前生物多样性低下(Duan 等, 2009)。辽东栎林大部分是天然次生林,是原始林经过采伐或受多次干扰破坏后自然恢复的森林,目前在整个林区均有分布。自退耕还林政策实施以来,区内又产生了一定面积灌丛和农田撂荒后产生的草地,这两种群落边缘均有辽东栎林分布,为该地区植被演替的早期群落类型(范玮熠等, 2006)。

2 研究方法

2.1 样地设置

在子午岭马兰林区,采取典型取样法,选择 4 种主要群落类型设置样地,四类样地分别为 I:人工油松林(林龄 25 a 左右); II:辽东栎纯林(林龄 40 a 左右); III:灌丛; IV:撂荒 6 a 后产生的草地群落。

2.2 群落调查

采用随机取样法,在各样地中进行基本群落特征调查,包括统计各样地中辽东栎实生幼苗数量。根据样地面积的 5%,在样地 I、II 中各随机设置 5 个 10 m×10 m 样方,在样地 III、IV 中分别随机设置 25 个 2 m×2 m 和 1 m×1 m 的样方。为了便于统计实生幼苗数量,避免计数过程中重复和遗漏,将样地 I、II 中 10 m×10 m 样方划分为 25 个 2 m×2 m 的小样方。

2.3 播种试验

采用样线法选择播种点,各样地设置 3 条样线(间隔 20 m),沿每条样线设置 5 个 30 cm×30 cm 的小样方(间隔 10~20 m),每个小样方中等间距播

种辽东栎种子 20 粒(因野外播种实验要求播种密度远远大于种子自然密度,参照 Clark(1999,2004)在北美同纬度地区的工作经验选择此样方面积及播种密度)。每个样地共设置小样方 15 个,播种 300 粒。种子采集于 2006 年 9 月 17 日,种子采集当日将种子用清水漂洗,去除虫蛀、霉烂种子,挑选饱满无虫眼种子 1 200 粒,与当月 18~19 日在样地中播种,种子埋藏深度 2 cm。于 2007 年 5 月开始,每隔 2 月记录出苗情况,并对每株幼苗进行挂牌标记,每次调查记录幼苗数量、株高、基径等指标。同批种子随

机选出 300 颗,分为 6 组(每组 50 粒),于实验室检测种子萌发率。

2.4 调查的生境指标

包括光强(lum/ft²)、温度(°C)及枯落层厚度(cm)指标,光强及温度使用 HOBO Pendant 型光强/温度自动记录仪测量。于每次记录幼苗数据时,在每个样地随机抽取 5 个播种小样方,在其中各放置 1 个监测探头(共计 20 个),探头距地表距离 15 cm,计数时间间隔 5 min,连续记录 8 h(9:00~17:00)。每个播种小样方中均测量枯落层厚度。

表 1 四种生境中辽东栎幼苗数量变化

Table 1 The variance of *Q. wutaishanica* seedlings number in four habitats

生境 Habitats	第一年幼苗数量 Seedling No. in the 1st year			第二年幼苗数量 Seedling No. in the 2nd year			第三年幼苗数量 Seedling No. in the 3rd year		
	平均数±标准误	最大值	众数	平均数±标准误	最大值	众数	平均数±标准误	最大值	众数
I	11.53±1.02Aa	16	13	10.60±0.94Aa	15	12	5.53±0.57Ba	9	7
II	9.93±1.06Aa	16	12	8.53±0.93Aa	14	8	4.00±0.51Bb	6	6
III	4.33±0.65Ab	7	7	2.93±0.55Ab	7	4	0.67±0.23Bc	3	0
IV	4.00±0.72Ab	9	4	2.13±0.35Bb	4	3	0.26±0.11Cc	1	0

注: I. 油松纯林; II. 辽东栎纯林; III. 灌丛; IV. 撂荒地。下同。各样方中出苗数最小值均为零。大写字母表示同一生境中幼苗不同年份之间的差异显著性,小写字母表示同一年不同生境之间幼苗平均数的差异显著性, $P<0.05$ 。

2.5 播种实验所得幼苗数量

数据进行转换($\log_{10}(x+1)$)后用于组间差异显著性分析。数据分析采用 SPSS13.0 统计软件,对采集到的数据进行 ANOVA 多重比较分析,具体分析方法为 LSD 法和 Duncan 法。

3 结果

3.1 种子萌发及幼苗数量

经调查,2006 年 4 个样地中实生幼苗密度(平均值±标准误,下同,单位为株·m⁻²),分别为:油松林(0.45±0.07)、辽东栎林(1.21±0.04)、灌丛(0.32±0.11)、草地(0.12±0.07)。此结果表明,不同生境下辽东栎实生苗密度之间存在较大差异,种子及生境条件可能是导致这种差异的两类主要原因。

统计播种实验第一年的幼苗数量(表 1),得到四种生境中辽东栎种子萌发率(平均值±标准误,下同),分别为:油松林(57.65±4.81)%、辽东栎林(49.65±4.22)%、灌丛(21.65±1.73)%、草地(20.00±2.24)%。实验室条件下检测种子萌发率达到(87.1±1.71)%。自然条件下与实验室条件下种子萌发率差异显著($P<0.05$),这表明辽东栎种

子在自然条件下萌发时受到了强烈的环境限制。

播种后第一年共统计幼苗 446 株,其中油松样地 173 株,辽东栎样地 149 株,灌丛样地 60 株,草地样地 64 株。第三年存活幼苗共计 154 株,其中油松样地 83 株,辽东栎样地 60 株,灌丛样地 7 株,草地样地 4 株。死亡幼苗共计 292 株,各样地幼苗死亡比率分别为:油松样地 52.02%,辽东栎样地 59.73%,灌丛样地 88.33%,草地样地 93.75%。不同生境中幼苗死亡率的差异表明环境因子在幼苗建群过程中起到了明显的限制作用。

表 1 显示了四生境中辽东栎幼苗平均数量在 3 年内的变化情况。从表 1 中可以看出,幼苗经过三年的生长期,各种生境中的数量均呈明显下降,差异达到了显著水平($P<0.05$)。其中以灌丛、草地生境降幅最大。在油松林、辽东栎林及灌丛内,仅第三年幼苗数量与前两年相比显著下降。在草地群落中,幼苗数量与前一年相比均显著下降。总体来看,幼苗的死亡高峰出现在第三年。这表明环境因子对辽东栎幼苗的限制作用需要一定时间才能体现出来,辽东栎幼苗对不良生境具有一定的耐受能力。

3.2 幼苗生长及生境指标

以各样地不同年份所有存活幼苗为对象,比较

幼苗高度和基径变化。经单因素方差分析表明，这两项指标在同一样地各年份之间无显著性差异 ($P > 0.05$)，同一年份不同生境中的幼苗高度和基径亦无显著性差异 ($P > 0.05$)。图 1、2 为各样地不同年份幼苗基径及高度的统计数据。相关性分析表明，在死亡的 292 株幼苗中，死亡幼苗与幼苗高度及基径之间未表现出期望的显著正相关关系 ($P > 0.05$)。在灌丛和草地中，由于幼苗数量随年份迅速递减，导致数据标准误逐年增加。

以上结果表明，辽东栎幼苗在前三年中高生长和径向生长极为缓慢，几乎停滞，但这并不代表幼苗没有生长，其生物量的积累可能主要集中在地下根系部分，是否属实还需设计与根系有关的针对性实验。本实验主要目的是监测幼苗同生群的数量变动及地上部分生长指标，不能对本实验建立的幼苗库中的幼苗进行破坏性挖掘，故无法确定幼苗生长早期生物量是否在根系进行积累。

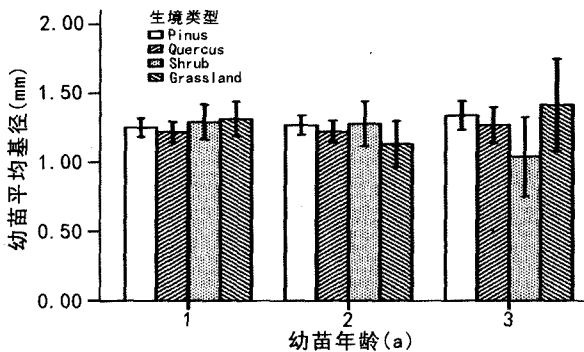


图 1 辽东栎幼苗平均基径变化

Fig. 1 The mean basal diameter difference of *Q. wutaishanica* seedlings

误差线为 ±2.00 标准误。下同。

Error bars means ±2.00 SE. The same below.

由表 2 可知，四样地枯落层厚度之间均呈显著差异。油松林枯落层最厚，草地次之，灌丛最薄。依据不同样地中光强指标的差异性，可以把四种生境分为 3 类：油松林与辽东栎林属一类，灌丛属一类，草地属一类。温度指标显示仅油松林与草丛之间出现显著差异。三种生境指标中，光照强度和枯落层厚度能够较好的反应四种群落类型的生境差异。

综合以上研究结果表明，通过人工方式，增加各种生境中的种子密度，在辽东栎种群更新初期能够有效地增加幼苗出苗率，这表明在各种生境中存在一定程度的种子限制，种子限制可能由种子产量、种子扩散、虫害、动物捕食、霉烂等多种因素造成。幼

苗出苗后，在三年的生长过程中大量死亡，表明生境因素也是限制辽东栎种群更新的重要原因，光照、水分条件、动物觅食等因素可能是产生微生境限制的主要原因。

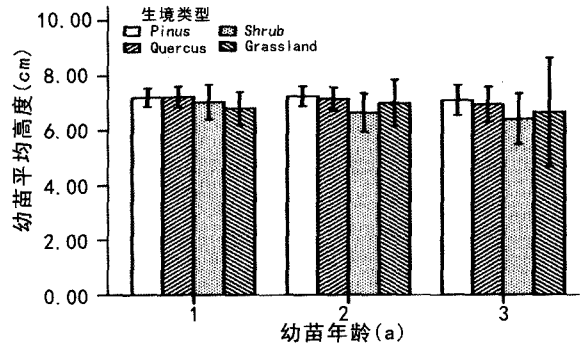


图 2 辽东栎幼苗平均高度变化

Fig. 2 The mean basal diameter difference of *Q. wutaishanica* seedlings

表 2 四种样地生境指标

Table 2 The environmental factors of four stands

生境 Habitats	枯落层厚度(cm) Litter thickness	光强(lum/ft ²) Light intensity	温度(°C) Temperature
	平均数±标准误	平均数±标准误	平均数±标准误
I	7.23±0.84 a	121.27±0.41 c	15.34±0.19 b
II	3.63±1.76 c	170.15±2.23 c	15.63±0.16 ab
III	1.73±0.24 d	257.52±3.35 b	15.97±0.19 ab
IV	5.34±0.24 b	391.72±3.08 a	16.17±0.18 a

注：小写字母不同表示两组数据间存在差异显著性 ($P < 0.05$)

4 讨论

播种实验可以检验植物种群更新过程中是否存在微生境限制 (Microsite limitation)，或种子限制 (Seed limitation)，实验要求播种密度应远大于自然状况下的种子密度 (Turnbull 等, 2000)。如果播种结果导致幼苗增加，则可判定样地内幼苗更新至少受到种子限制 (可能由种子产量、萌发率、扩散能力及动物采食压力造成)；如果幼苗在后续定居过程中大量死亡，则表明更新还可能受到微生境限制 (Eriksson 等, 1992)。

在子午岭地区，自然状况下，油松林与辽东栎林中，辽东栎幼苗平均密度分别为 6 704 株/hm²、14 607 株/hm²，灌丛与草地中基本无辽东栎幼苗 (田丽等, 2007)，本研究对 4 个样地幼苗密度调查的结果与此结论基本吻合。播种实验数据显示，与自然状

况下幼苗密度相比,第一年所有样地中,播种均导致了幼苗密度明显增加。可见,在本地区辽东栎种群幼苗补充存在明显的种子限制,而随后三年幼苗大量死亡则证明了在幼苗定居阶段还存在微生境限制。因此,本地区辽东栎种群的更新过程可能受到种子和微生境的双重限制。

辽东栎幼苗在开阔生境(灌丛、草地)中生长三年后,幼苗死亡率高达 84.5% 和 93.5%,而在郁闭林地(油松林及辽东栎林)中幼苗死亡率分别为 52.04% 和 59.7%,据此推测,辽东栎幼苗在开阔生境中定居,更易受到微生境条件的限制。

在子午岭马兰林区的四种生境中,辽东栎出苗率最大值为 57.65%(油松林),且在不同生境中出苗率变异较大,在森林群落中出苗率明显高于无遮荫条件的灌丛和草地群落,这表明群落大环境对辽东栎种子的萌发造成了直接影响。枯落层厚度及光强指标在四种生境中差异显著,这表明光照强度及地表枯落层厚度很可能是导致辽东栎幼苗定居过程中产生微生境限制的主要因素。当然还可能存在其它生态因子(如:水分)的综合作用。

高贤明等(2003)、张知彬(2001)指出埋藏可促进辽东栎种子萌发。本研究播种实验即采用了埋藏的播种方法,主要是为了减小动物及微生境条件对种子萌发阶段的影响,这种处理方式实际上减弱了群落性质差异对种子萌发阶段造成的影响。在实验室中测得辽东栎种子萌发率为 87.1%,明显大于播种(埋藏处理)实验所得出苗率,如果完全模拟自然状态,将种子直接摆放在地表,即使通过扣笼等手段排除动物干扰因素,播种实验中的出苗率还会进一步下降。因此,对种子做埋藏处理的播种实验可能会低估种子或微生境对种群更新的限制作用。

Gómez(2004)指出埋藏和较好的微生境与冬青栎林更新无关,埋藏和适合微生境虽然可提高幼苗萌发率及幼苗定居成功率,但幼苗向成树转变时的不确定因素使其更新过程依旧无法完成。本研究结果显示,埋藏有利于辽东栎种子萌发,但是否有利于种群更新的后续过程则值得商榷。因在第三年出现了大量幼苗死亡,这种幼苗损失过程如果持续下去,将造成这批种子更新失败。种子埋藏引起的幼苗数量的增加是否会导致幼苗定居成功率的上升,还需要对幼苗同生群进行长期监测。

李永兵等(2008)及陈智平等(2005)指出,子午岭地区辽东栎种子萌发失败是种子丧失的第一因

素,动物造成的种子丧失比例很小。本文结果支持这一结论。播种实验的种子均为挑选过的种子,且经过埋藏处理,其萌发率仍然很低(四样地平均值仅为 37.24%,实验室测得 87.1%),证明种子萌发过程中微生境限制作用不容忽视。

辽东栎幼苗的生长主要受到光线和水的限制(韩海荣等,2000)。在本研究的森林群落中,种子均播种于郁闭较好的林冠下层,萌发的幼苗很可能处于光胁迫状态(表 2,油松及辽东栎林光照强度最弱),从而导致其生长缓慢,可见在郁闭森林生境中,辽东栎幼苗要成功完成定居需要一个相对较长的过程。在开阔生境下,过于强烈的光照可能引起温度上升(表 2),进而导致土壤水分含量下降,从而造成水分胁迫,这很可能是造成开阔生境下辽东栎幼苗大量死亡的原因。

本林区大量的人工油松林具有生物多样性差,生态系统服务功能低下的特点。改造油松林,促进辽东栎种群向油松林侵入以增加其生物多样性,是子午岭地区植被恢复工作的一个重要课题。本研究结果显示,在油松林内以埋藏方式人工播种,可增加辽东栎幼苗数量,且三年后幼苗存活量在四种生境中最高(表 1)。这表明辽东栎在人工油松林下的更新受到明显的种子限制,种子埋藏后可提高萌发率,且该生境适合辽东栎幼苗的定居和生长。据此推测,自然状况下油松林内辽东栎幼苗密度较低可能由以下原因造成:人工油松林下缺乏有结实能力的辽东栎母株;动物种类少、活动性差,无法对辽东栎种子进行有效地传播;较厚的枯枝落叶层阻挡了种子接触土壤层造成种子的高损失率。因此在人工油松林的改造过程中,增加人工干扰,去除枯落层,并增播辽东栎种子,可能会起到一定的改造效果。

5 结论

(1)马兰林区油松林、辽东栎林、灌丛、草地四种生境中,人为增加辽东栎种子密度,能明显提高出苗量;幼苗生长三年后大量死亡,死亡高峰出现在第三年。(2)郁闭生境下(油松林和辽东栎林),辽东栎出苗率及存活率较开阔生境(灌丛和草地)下高。(3)辽东栎幼苗高生长和径向在三年间无显著差异。(4)本地区辽东栎种群更新早期阶段存在种子和微生境的双重限制。

参考文献:

- 陕西省林业手册. 1964. 陕西省林业厅[M]. 22-53
- Chen ZP(陈智平), Wang H(王辉), Yuan HB(袁宏波). 2005. Studies on soil seed bank and seed fate of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwu Mountains(子午岭辽东栎林土壤种子库及种子命运研究)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), **40**(1):7-12
- Cheng JM(程积民), Zhao LP(赵凌平), Cheng J(程杰). 2009. Seed quality and forest regeneration of a 60-year *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwuling region, northwestern China(子午岭 60 年辽东栎林种子质量与森林更新)[J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报), **31**(2):10-16
- Clark JS, Beckage B, Camill P, et al. 1999. Interpreting recruitment limitation in forests[J]. *Amer J Bot*, **84**(1):17-31
- Clark JS, Ladeau S, Ibanez I. 2004. Fecundity of trees and the colonization-competition hypothesis [J]. *Ecol Monogr*, **74**(3):393-414
- Crawley MJ, Long CR. 1995. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur*[J]. *J Ecol*, **83**:683-696
- Duan RY, Wang C, Wang X, et al. 2009. Differences in plant species between conifer(*Pinus tabulaeformis*) plantations and natural forests in middle of the Loess Plateau[J]. *Russ J Ecol*, **40**(7):501-509
- Ehrlén J, Münzbergova Z, Diekmann M, et al. 2006. Long-term assessment of seed limitation in plants; results from an 11-year experiment[J]. *J Ecol*, **94**(6):1 224-1 232
- Eriksson O, Ehrlén J. 1992. Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations[J]. *Oecologia*, **91**:360-364
- Fan WY(范玮熠), Wang XA(王孝安), Guo H(郭华). 2006. Analysis of plant community successional series in the Ziwuling area on the Loess Plateau(黄土高原子午岭植物群落演替系列分析)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(3):706-714
- Gao XM(高贤明), Du XJ(杜晓军), Wang ZL(王中磊). 2003. Comparison of seedling recruitment and establishment of *Quercus wutaishanica* in two habitats in Dongling Mountainous Area, Beijing(北京东灵山两种生境条件下辽东栎幼苗补充与建立的比较)[J]. *Acta Phytocol Sin*(生态学报), **27**(3):404-411
- Gómez JM. 2004. Importance of microhabitat and acorn burial on *Quercus ilex* early recruitment; non-additive effects on multiple demographic processes[J]. *Plant Ecol*, **172**:287-297
- Han HR(韩海荣), He SQ(贺顺钦), Zhang XP(张学培), et al. 2000. The effect of light intensity on the growth and development of *Quercus liaotungensis* seedlings(辽东栎苗木早期生长与光的关系)[J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报), **22**(4):97-100
- Li QK, Ma KP. 2003. Factors affecting establishment of *Quercus wutaishanica* under mature mixed oak forest over story and in shrubland[J]. *For Ecol Manag*, **176**:133-146
- Münzbergová Z, Herben T. 2005. Seed, dispersal, microsite, habitat and recruitment limitation: identification of terms and concepts in studies of limitations[J]. *Oecologia*, **145**:1-8
- Tanouchi H, Sato T, Takeshita K. 1994. Comparative studies on acorn and seedling dynamics of four *Quercus* species in an evergreen broad-leaved forest[J]. *J Plant Res*, **107**:153-159
- Tian L(田丽), Wang XA(王孝安), Guo H(郭华), et al. 2007. Studies on the regenerative characteristics of *Quercus wutaishanica* in Malan Forest Region on the Loess Plateau(黄土高原马兰林区辽东栎更新特性研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(2):191-196
- Turnbull LA, Crawley MJ, Rees M. 2000. Are plant populations seed-limited A review of seed sowing experiments[J]. *Oikos*, **88**:225-238
- Willson M, Traveset A. 2000. The ecology of seed dispersal [M]//Fenner M(ed). *Seeds* (2nd ed). New York: CABI Publishing; 85-110
- Zhang LZ(张吕醉), Wang XA(王孝安), Guo H(郭华), et al. 2008. Gap characteristics and its effects on community regeneration of *Quercus liaotungensis* forest on Loess Plateau(辽东栎林林隙特征及其对群落更新的影响)[J]. *Chin J Ecol*(生态学报), **27**(11):1 835-1 840
- Zhang ZB(张知彬). 2001. Effect of burial and environmental factors on seedling recruitment of *Quercus liaotungensis* (埋藏和环境因子对辽东栎种子更新的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **21**(3):375-384
- Zhu ZC(朱志诚). 1991. The type and succession of the *Quereus liaotungensis* forests on woodland of Loess Plateau in North Shaanxi Province(陕北黄土高原辽东栎林的类型和演替)[J]. *J Northwest Univ*(西北大学学报), **21**(1):57-71
- 学成分的研究)[J]. *Chin Trad Herb Drugs*(中草药), **35**(2):125-127
- Zeng CJ(曾沧江). 1983. The systematic position of *Diplopanax* (马蹄参属的系统位置)[J]. *Acta Phytotaxon Sin*(植物分类学报), **21**(2):151-152
- Zhu WH(朱伟华), Xiang QB(向其柏). 1998a. Wood anatomy of *Diplopanax stachyanthus* Hand. -Mazz. and its systematic implication(马蹄参属木材解剖特征及其系统学意义)[J]. *J Sichuan Agric Univ*(四川农业大学学报), **16**(1):106-109
- Zhu WH(朱伟华), Xiang QB(向其柏), Ou HY(欧惠英). 1998b. Seed oil fatty acids in the *Diplopanax* and its systematic significance(马蹄参属种子油脂脂肪酸的特征及其分类学意义)[J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境), **7**(1):27-30
- Zhu WH(朱伟华), Xiang QB(向其柏). 2001. The origin and distribution of genus *Diplopanax*(马蹄参属的起源和地理分布)[J]. *J Nanjing Fore Univ*(南京林业大学学报), **25**(1):35-38

(上接第 356 页 Continue from page 356)