

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

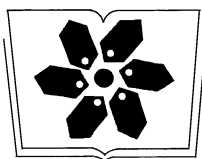
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制

郭 华, 王孝安*, 朱志红

(陕西师范大学, 生命科学学院, 西安 710062)

摘要: 辽东栎 (*Quercus wutaishanica*) 是子午岭地区的乡土乔木树种, 也是该地区气候顶极群落的建群种, 其幼苗的补充更新影响着森林群落的结构及物种组成。在 3 种典型生境 (辽东栎林、人工油松林、灌草丛) 中, 设置 3 因素 (种子、干扰、遮荫) 两水平的野外播种实验 (随机区组设计), 记录辽东栎幼苗出苗量, 并监测幼苗同生群在 3 种生境中 3a 间的生长状况, 以确定种子及微生境在辽东栎幼苗补充过程中的限制作用。播种实验样方大小 30 cm × 30 cm, 共计 216 个样方。结果显示, 在辽东栎林及油松林内, 增加种子和干扰强度 (去除枯落物), 能引起出苗量和幼苗补充量的显著增加, 且 2 种处理方式间存在交互作用, 表明在郁闭林冠下, 辽东栎幼苗的补充受到了种子和微生境的双重限制, 枯落物是导致微生境限制的主要因素之一。在灌草丛生境, 各种处理方式均不能增加幼苗的补充量, 表明辽东栎无法在开阔生境 (强光照、干旱) 中完成实生幼苗的补充更新。3 种生境中的幼苗同生群生存分析表明, 辽东栎幼苗在森林群落中存活率显著高于灌草丛群落。根据幼苗生长指标判断, 在 3 种生境中, 人工油松林是辽东栎幼苗定居的最佳场所。与实验预期相反, 灌木对辽东栎幼苗的补充无显著影响。

关键词: 辽东栎; 播种实验; 种子限制; 微生境限制; 黄土高原

Recruitment limitations of *Quercus wutaishanica* seedlings in three habitats in Mt. Ziwuling

GUO Hua, WANG Xiaohan*, ZHU Zhihong

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

Abstract: An important task of plant population ecology is to understand what factors affect seedling recruitment, such as seed and microsite availability. Sowing experiments, i. e. seed addition into existing populations (augmentation experiments) or seed introduction into unoccupied habitats (introduction experiments), may provide unambiguous evidence for different types of limitation, such as seed or microsite availability limitation. Liaodong oak (*Quercus wutaishanica*), an endemic woody species, is a dominant species of the forest community in Mt. Ziwuling, but it has low natural regeneration rates and recruitment from acorns is difficult. In order to determine whether seedling recruitment in *Q. wutaishanica* is limited by seed availability, microsite availability, or both, a field sowing experiment was performed in 216 plots (30 cm × 30 cm) in three typical stands (Liaodong oak forest, conifer plantation, and grassland, 72 plots per stand). The seed addition, disturbance (removing the litter) and shrub cover were selected as influencing factors. The numbers of emerged seedlings were tagged and monitored from April 2007 to October 2009. Light, soil moisture, and growth parameters (height, stem basal diameter and the wormholes per leaf) were measured bimonthly from April to October every year. Seedling data (number of oak seedlings per plot) in every stand were log-transformed to approximate normality. The effects of three treatments were analyzed with GLM Multivariate in SPSS version 13.0. The effects of treatments (seed addition and disturbance) on the number of recruited seedlings, variation of seedling growth across different years, and differences in light intensity and soil moisture among three stands were analyzed by One-Way ANOVA (Tukey HSD multiple comparison test). The results showed that, in the oak forest, leaf wormholes were significantly more numerous than in the conifer forest and the grassland. In the conifer forest, stem basal diameter was significantly higher than in the oak forest and the

基金项目: 国家重点基础研究与发展规划 (973) 资助项目 (2002CB111505)

收稿日期: 2010-05-18; **修订日期:** 2010-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxa@snnu.edu.cn

grassland. Furthermore, We found that seed addition and disturbance always significantly increased seedling emergence and recruitment in oak and conifer forests. There was an interaction between seed addition and disturbance. We demonstrated that recruitment of *Q. wutaishanica* seedlings was limited by seed and microsite availability in closed forests. Litter is one of the factors leading to microsite limitation in oak and conifer forests. However, in grassland, no treatment could improve oak recruitment, indicating that the open site was not suitable for seedling recruitment because of intense light and soil drought. It was also found that the survival rate of Liaodong oak seedling was significantly higher in forests than in grassland and that the conifer plantation was safer for seedling establishment according to the seedling growth in the three forest stands. Unexpectedly, shrub cover did not affect the recruitment of Liaodong oak seedlings. To conclude, we suggest that lack of viable seeds and suitable habitat are the main limiting factors for *Q. wutaishanica* recruitment in this region, and conifer plantation is the most suitable habitat for oak seedling survival. In early successional grasslands, Liaodong oak is unlikely to recruit successfully regardless of manipulations. We suggest that co-limitation by seed and microsite availability underlies the mechanism of *Q. wutaishanica* population recruitment.

Key Words: *Quercus wutaishanica*; seed sowing experiment; seed limitation; microsite limitation

补充限制是影响植物种群大小及动态的重要生态过程,也是影响群落局域尺度上物种组成、多度及多样性的重要因素^[1-2]。幼苗是植物生活史周期中易受到外界环境影响的敏感阶段,植物种群的幼苗补充过程都受到了多种因素的限制,植物种群生态学及群落生态学的重要目标之一就是确定限制幼苗补充的生态因子^[3-4]。植物种群的补充限制可分为2种基本类型,即“种子限制”和“微生境限制”^[5-7]。在植物种群动态研究中,确定物种的补充限制类型受到了生态学家的关注^[8-12]。大量有关补充限制的研究报告中,既有受种子或微生境限制的物种,亦有受种子和微生境双重限制的物种^[5,13]。在此类研究中,播种实验被认为是获取划分植物种群补充限制类型相关证据的可靠方法^[13]。

黄土高原子午岭地区,自20世纪以来,以辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林为代表的原始森林植被遭到严重的过度砍伐。为恢复植被,20世纪60年代后,油松(*Pinus tabulaeformis*)在该地区广泛种植。自1995年天然林保护工程实施以来,人工油松林、次生栎林受到保护,坡度大于25°的耕地被恢复为人工林或草地。目前该地区的植被景观主要由人工针叶林、阔叶次生林(多以辽东栎为建群种)和灌草丛镶嵌分布而成。辽东栎作为该地区气候顶极群落的建群种^[14],其天然更新过程是否存在补充限制,补充限制属何种类型(受种子或微生境的限制,亦或受二者的双重限制),在不同生境下有无差异,国内以往研究未得出明确结论^[15]。另外,关于不同生境中辽东栎幼苗同生群的生长动态仅见于高贤明等^[15]对东灵山地区辽东栎幼苗生长初期(1a)的监测。因此,本文依据补充限制理论及栎属植物有关补充限制的研究,在子午岭地区,选择3种主要生境类型(人工针叶林、栎林、灌草丛),开展3因素(种子、干扰、遮荫)两水平的播种实验,以确定本地区辽东栎种群的幼苗补充过程中是否存在种子或微生境限制,同时对播种实验建立的幼苗同生群进行了为期3a的跟踪调查,以了解辽东栎幼苗在定居过程中的数量动态及生长特性,讨论不同生境对辽东栎幼苗补充的影响。

1 研究区概况

陕西省旬邑县东部的马栏林区地处黄土高原子午岭南端,位于108°27′—108°52′E, 35°9′—35°33′N,海拔高度1200—1700 m,相对高差200—400 m,属泾河水系。林下土壤为棕色森林土,枯枝落叶较多,但腐化不好。年平均气温7℃,≥0℃积温3134℃。年降水量580 mm,但季节分布不均,干旱季节由当年12月至翌年2月,降雨多集中在7、8、9等3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^[16]。林区主要植被类型包括以油松(*P. tabulaeformis*)林为主的人工林和自然分布的辽东栎(*Q. wutaishanica*)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^[14]。人工油松林现已遍布全林区,主要分布在海拔1350—

1 650 m 的沟谷台地、阴坡、半阴坡以及平缓的梁脊上,生物多样性低下^[17-18]。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,目前在整個林区均有分布^[19-20]。自退耕还林政策实施以来,林区内形成一定面积的灌草丛(农田撂荒后产生),为该地区群落演替进程中的早期群落类型^[14]。

2 研究方法

2.1 样地设置

采取典型取样法设置样地。

样地 I:辽东栎林(1 hm²),辽东栎为乔木层优势物种,林龄约 60 a,乔木层高度 7—12 m,郁闭度约 80%,灌木层主要物种有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*),陕西荚蒾(*Viburnum schensianum*)和葱皮忍冬(*Lonicera ferdinandii*),地被层草本植物种类丰富,枯落层厚度 2—5 cm。

样地 II:人工针叶林(1 hm²),油松为乔木层优势物种,林龄约 40 a,乔木层高度 8—15 m,郁闭度约 90%,有少量辽东栎混生,灌木层主要物种有毛樱桃(*Cerasus tomentosa*),冻绿(*Rhamnus utilis*)和灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*),地被层草本植物稀少,枯落层厚度 5—10 cm,距离样地 I 约 50 m。

样地 III:灌草丛(1 hm²),为弃耕地撂荒 7 a 后形成,样地中艾蒿(*Artemisia argyi*)为优势物种,其它主要物种包括委陵菜(*Potentilla chinensis*),凤毛菊(*Saussurea japonica*),刺儿菜(*Cephalanoplos segetum*),主要灌木物种包括狼牙刺(*Sophora viciifolia*)和胡枝子(*Lespedeza bicolor*),灌木零散分布于样地内,距辽东栎林约 50 m。

3 样地坡向大致相同(西偏北 5—12°),坡度 15—21°,海拔 1450—1480 m 之间。在 3 样地中随机设置 5 个 10 m × 10 m 的样方,每个样方划分为 25 个 2 m × 2 m 的小样方,用于调查各群落基本特征及实生幼苗库。

2.2 实验设计

在每个样地中设置 3 因素 2 水平的随机区组播种实验。3 种因素分别为:S 种子(播种,不播种);D 干扰(干扰,不干扰);SC 灌丛遮荫(遮荫,不遮荫)。其中干扰方式为人工去除枯落物,并对地表土进行翻耕。每个样地设置 9 个区组,一个区组代表一次重复。每个区组设置 8 个 0.3 m × 0.3 m 小样方^[12,15,21],8 个小样方包括了 3 种因素的完全交叉处理。

2006 年 9 月采集自然脱落的辽东栎成熟种子,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 2460 粒,种子采集 3 日内播种。每样方等间距播种 20 粒,每样地共播种 720 粒。每个播种样方用孔径 1 cm 的金属网覆盖,以避免自然坠落种子的影响,第 2 年对出土幼苗进行挂牌标记后将金属网去除。其余 300 颗种子,分为 6 组(每组 50 粒),于实验室检测种子萌发率。于 2007—2009 年,每年分 4 次采集数据(间隔 2 个月),每次记录幼苗数量、株高(cm)、基径(mm)(用游标卡尺紧贴地面测量)及叶片平均虫孔数(每株幼苗叶片上的虫孔平均数量)等指标。本研究将 2007 年记录到的幼苗定义为出苗率,将 2009 年 10 月记录到的存活幼苗定义为补充量。

样地生境指标包括光强(lx)、地表下 10 cm 土壤温度(℃)、土壤湿度(m³/m³)。使用 HOBO Pendant 型光强/温度自动记录仪测量光强,每次采集幼苗数据时,在每个样地随机抽取 5 个小样方,各放置 1 个监测探头,探头距地表距离 15 cm,计数间隔 5 min,连续记录 8h(9:00—17:00)。使用 Hydra 型土壤水分/温度记录仪测量各样地中随机抽取的 5 个小样方的土壤含水量,每个小样方中测量 3 次。

2.3 数据分析

播种实验所得幼苗数量数据进行转换($\lg(x+1)$)后用于处理间差异显著性分析。采用 SPSS13.0 中的一般线性模型(GLM)进行多因素方差分析,种子、干扰、遮荫均作为固定变量,选择全因子模型进行数据分析。生境之间的生境指标差异、样地间幼苗数量及生长指标差异采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),具体分析方法为新复极差检验法。幼苗数量与时间的关系采用生命表法进行生存分析。幼苗死亡率与环境因子及幼苗生长指标的相关关系采用 Pearson 指数进行分析。

3 结果

3.1 幼苗存活及生长

实验室条件下检测种子萌发率达到 87.1%。3 样地的生境指标见表 1。2007 年共记录到 435 株幼苗(辽东栎林 219 株;人工针叶林 193 株;灌草丛 23 株)。2a 后,至 2009 年 10 月,共存活 176 株(辽东栎林 85 株;人工针叶林 85 株;草地 6 株)。幼苗补充率较低(均值为 36.3%),排除对照样方中自然出土的幼苗,出苗率仅为 18.1%。3 种生境中辽东栎幼苗的累积生存率曲线如图 1,经 Kaplan-Meier 分析显示,辽东栎林和人工针叶林下,辽东栎幼苗存活率间无显著差异,但均显著高于草地。幼苗死亡率与光强正相关($r = 0.73$, $P = 0.05$),与土壤湿度负相关($r = -0.63$, $P = 0.05$),与土壤温度、幼苗高度、基径及叶片虫孔数均无相关关系。

同一样地中,至 2009 年 10 月存活的辽东栎幼苗,其 2008 及 2009 两年间的幼苗高度数据无显著性差异($df = 7$, $P = 0.073$),基径亦无显著性差异($df = 7$, $P = 0.242$)。油松林下辽东栎幼苗基径显著高于其它两种生境中的幼苗,且叶片虫孔数显著低于辽东栎林内幼苗(图 2)。

表 1 3 种样地生境指标

Table 1 The environmental factors in three stands

生境 Habitats	土壤湿度 Soil moisture/(m^3/m^3) 平均数 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE	光强 Light intensity/ $\times 10\text{lx}$ 平均数 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE	土壤温度 Soil temperature/ $^{\circ}\text{C}$ 平均数 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE
I	0.224 ± 0.014 b	183.08 ± 2.23 b	15.63 ± 0.16 ab
II	0.265 ± 0.011 a	130.49 ± 0.41 c	15.34 ± 0.19 b
III	0.093 ± 0.015 c	421.49 ± 3.08 a	16.17 ± 0.18 a

I 辽东栎林; II 人工针叶林; III 灌草丛; 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

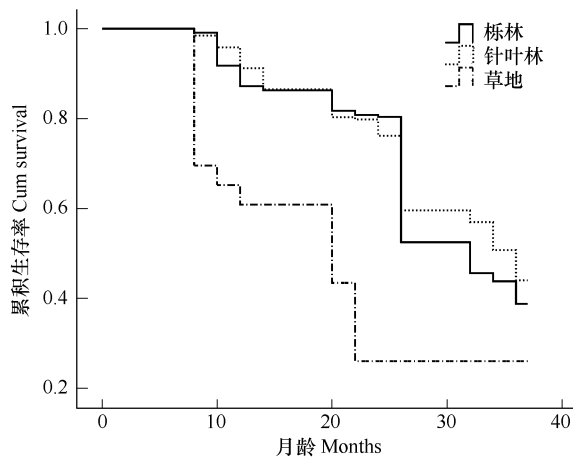


图 1 3 种生境中幼苗生存分析

Fig. 1 Survival analysis of seedlings in three habitats

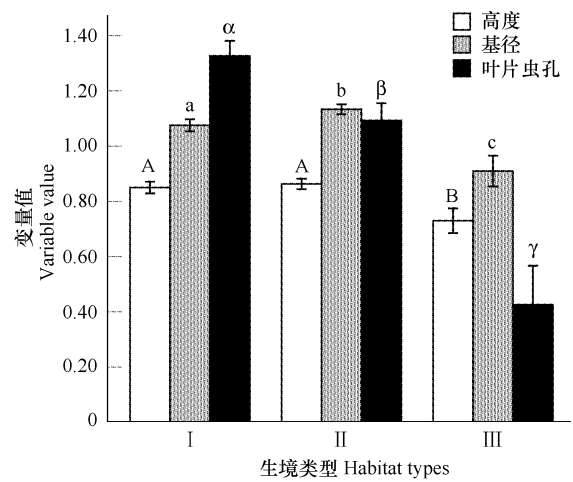


图 2 3 种生境中幼苗生长指标

Fig. 2 The growth index of seedlings in three habitats

纵轴变量值为对数标尺,数据做如下转换:高度 = $\lg(x)$;基径 = $\lg(10x)$;叶片虫孔 = $\lg(x+1)$

3.2 3 种因素对出苗及幼苗补充的影响

2006 年 3 个样地中实生幼苗密度分别为:辽东栎林(1.21 ± 0.04)株/ m^2 ,油松林(0.45 ± 0.07)株/ m^2 ,灌草丛(0.12 ± 0.07)株/ m^2 。不同处理方式对出苗和幼苗补充量的影响见表 2。在所有样地中,与未添加种子的对照样方比较,增加种子均会导致明显的出苗量增加(表 2)。在辽东栎林内,干扰会引起出苗量的增加(表 2),但在油松林及草地样地中均未引起出苗量的增加。干扰与增加种子之间存在交互作用,3 种生境均使出苗量显著增加。在辽东栎林样地及油松林样地,单一播种处理或播种与干扰交叉处理均可提高幼苗补充量,单一干扰处理仅在辽东栎林样地内可提高幼苗补充量。灌草丛样地中,所有处理方式均不能提高幼苗补充量。与前期预判相反,灌丛遮荫对出苗和补充均无影响,仅在灌草丛样地中,可与其它两种因子产生交互作

用共同影响出苗量。

表 2 实验处理对出苗及幼苗补充的固定效应方差分析结果

Table 2 Results of ANOVA on the fixed effects of experimental treatments on number of emerged and recruited seedlings							
变异来源 Source of variation	自由度 df	栎林出苗 Emergence in oak forest		针叶林出苗 Emergence in conifer forest		草地出苗 Emergence in grassland	
		F	P	F	P	F	P
S	1,71	41.94	<0.001	226.96	<0.001	4.277	0.053
D	1,71	26.60	<0.001	4.815	0.062	2.471	0.121
C	1,71	0.002	0.964	4.532	0.061	1.643	0.204
S × D	1,71	43.63	<0.001	155.69	<0.001	6.574	0.013
S × C	1,71	0.002	0.964	0.039	0.854	0.084	0.773
D × C	1,71	0.007	0.933	4.904	0.053	3.161	0.080
S × D × SC	1,71	1.149	0.288	3.261	0.076	7.672	0.007

变异来源 Source of variation	自由度 df	栎林补充 Recruitment in oak forest		针叶林补充 Recruitment in conifer forest		草地补充 Recruitment in grassland	
		F	P	F	P	F	P
S	1,71	56.206	<0.001	189.57	<0.001	0.001	0.997
D	1,71	67.155	<0.001	3.887	0.074	0.691	0.409
C	1,71	0.004	0.949	3.247	0.072	0.696	0.407
S × D	1,71	70.183	<0.001	155.06	<0.001	2.777	0.100
S × C	1,71	2.698	0.105	0.515	0.475	0.000	0.999
D × C	1,71	0.893	0.348	3.247	0.072	0.696	0.407
S × D × SC	1,71	0.581	0.449	4.137	0.056	0.000	0.999

S = 增加种子;D = 干扰;SC = 灌丛遮荫;P < 0.05 的效应用粗体表示

3.3 补充限制

播种实验的结果可根据以下逻辑判断补充限制类型,其中,U 为无干扰, D 为干扰;S 为增加种子;C 为对照(即不增加种子)。如果 US > UC 并/或 DS > DC,则补充受种子限制;如果 DS > US 并/或 DC > UC,则补充受微生境限制;如果 DS > US 并 DS > DC,则补充受种子和微生境的双重限制;如果 DS = US = DC = UC,则表明生境中不存在种子限制,或存在与实验中干扰方式无关的微生境限制及其它因子(如,食种子动物)的限制^[6]。

在辽东栎林和油松林样地中,不同处理对幼苗补充量的影响满足 DS > US 与 DS > DC 的条件(图 3),根据上述逻辑关系,可以判断在这两种生境中辽东栎的幼苗补充受到了种子和微生境的双重限制。在草地样地中,不同处理对幼苗补充量的影响满足 DS = US = DC = UC 的条件(即各种处理间无差异)(图 3c),故草地生境中辽东栎幼苗的补充可能受到生境条件(与干扰无关)或其它因素的限制。

4 讨论

4.1 幼苗生长及死亡

辽东栎幼苗出土后高生长迅速,主茎高度一般在

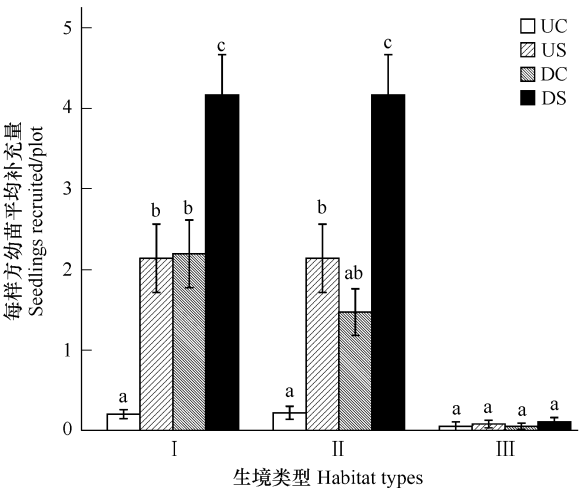


图 3 3 类生境中辽东栎幼苗平均补充量
Fig. 3 Number of recruited *Q. wutaishanica* seedlings per plot in three habitats

注:误差线为平均数 ± 1 标准误;I: 辽东栎林;II: 人工针叶林;III: 草地;UC 为未干扰,对照(未添加种子);DC 为干扰,对照;US 为未干扰,增加种子;DS 为干扰,增加种子;误差线上的字母不同表示不同处理间存在显著性差异(P < 0.05, Tukey test)

2—3 周时间内达到最高点^[15]。本实验的数据采集周期为 2 个月,故未监测到这一现象。但实验发现辽东栎幼苗在出苗后第 2 年与第 3 年,高度与基径无明显增高或加粗,且幼苗死亡率与幼苗高度及基径间无相关关系。此现象表明,辽东栎幼苗在完成出苗后的第 1 轮快速生长后,径向生长及高生长将变得非常缓慢。

叶片虫孔数量可指示不同生境下昆虫活动性对辽东栎幼苗的抑制效应。人工针叶林下辽东栎幼苗叶片虫孔明显低于辽东栎林下幼苗,且人工针叶林下幼苗基径大于辽东栎林下幼苗基径。据此推测辽东栎林下昆虫对幼苗生长的限制作用更加强烈,人工针叶林可能更适合辽东栎幼苗的定居。这一结果与 Gómez^[21]的研究结论一致,他指出,人工针叶林生境更适合 冬青栎(*Q. ilex*)的定居。草地生境中幼苗叶片虫孔几乎为零,但幼苗死亡率却最高,表明草地生境中昆虫的取食不是限制幼苗生长的主要因素。幼苗死亡率与叶片虫孔量之间无相关关系,表明在幼苗前 3a 的生长中,昆虫对幼苗的影响主要体现在限制生长,但在更大的时间尺度,其是否会对幼苗死亡率造成影响则需进一步的观察。

辽东栎幼苗的出苗率及定居成功率较低,在其它有关辽东栎更新研究中也发现了类似现象^[22-26]。在本研究区域,幼苗高死亡率可能是造成各类生境中辽东栎实生幼苗数量较少的主要原因之一,种子萌发失败是种子丧失的主要因素^[27]。本文结果支持以上结论,幼苗在灌草丛生境中生长 3a 后,幼苗死亡率高达 73.91%,在郁闭林下生境中,辽东栎林及人工针叶林下幼苗死亡率分别为 61.19% 和 55.96%。据此推测,辽东栎幼苗在开阔生境中定居,更易受到生境条件的限制。播种实验的种子均为挑选过的种子,同批种子实验室测得萌发率达 87.1%,但出苗率依然很低(18.1%),因此同批种子在自然状况下和实验室测得的种子萌发率之间可能有较大差异。本实验无法获知种子在土壤中的萌发率,所以自然状况下种子萌发率与出苗率之间是否存在较大差异有待进一步研究。Gómez^[21]指出埋藏和适合微生境虽然可提高冬青栎(*Q. ilex*)幼苗萌发率及幼苗定居成功率,但幼苗后续生长过程中的不确定因素使其更新依旧无法完成。本研究结果显示,虽然可以通过播种、去除枯落物等方式提高幼苗补充量,但是否能够对种群更新的后续过程起到积极效应则值得商榷。如果幼苗的高死亡率持续下去,有可能造成这批幼苗补充的彻底失败。本播种实验是否会导致幼苗定居成功率的增加,还需要对该幼苗同生群进行长期监测。

辽东栎幼苗的生长主要受到光线和水分条件的限制^[28]。在本实验中,3 类样地间存在明显的光强及土壤水分梯度(表 1):郁闭林冠下,光照弱,土壤湿度大;开阔生境,光照强,土壤干燥。在森林群落中,幼苗处于郁闭较好的林冠下层,较弱的光照条件可能导致其生长缓慢,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,林窗的出现对幼苗的后期生长将提供必要的光照条件。在开阔的灌草丛生境中,过于强烈的光照可能引起温度上升,进而导致土壤水分含量下降,从而造成干旱胁迫;另一种可能的原因是强烈的光照产生了光胁迫,对辽东栎幼苗的光合作用产生了抑制效应,这很可能是造成灌草丛生境中辽东栎幼苗死亡率高的原因。

4.2 枯落物及灌丛对幼苗的效应

枯落物对栎属植物幼苗的影响具有双重效应。栎属植物种子在坠落地表后,如果得不到保护而失水,种子活性会迅速降低,而受到枯落物覆盖保护的种子,其水分损失会明显降低,种子活性将显著提高^[29]。另一方面,枯落物会对种子萌发及出苗造成障碍,会增加幼苗的黄化,并增加真菌感染几率^[30]。王巍等^[24]指出,辽东栎林中,枯落层阻碍了出苗和幼苗的生长。本实验中,在郁闭的辽东栎林和油松林下,通过干扰去除了枯落层,种子直接接触土壤,结果导致出苗量和补充量的增加。根据这一结果判断,在郁闭林冠下,无枯落物覆盖引起的种子水分丧失的负效应,对辽东栎种子的萌发和出苗影响不大。在辽东栎和油松林群落中,枯落层对出苗的影响很可能是由于较厚的枯落层阻止了种子接触土壤,从而限制了种子的正常萌发。草地生境中,枯落物对辽东栎幼苗的补充无影响。

灌丛的遮蔽会对幼苗(尤其是木本植物)的定居产生积极地影响^[31-35]。Callaway 和 D'Antonio^[35]指出,灌丛能够显著提高 *Q. afrifolia* 的种子萌发及幼苗存活率,因为灌木可以为种子和幼苗提供有效遮荫,并避免食种子动物和食草动物的捕食。与实验预期相反,在郁闭林地内,灌丛无法引起出苗量和补充量的增加,在草

地生境中,灌丛能够与种子、干扰之间形成交互作用,增加出苗量,但灌草丛生境中幼苗数量明显低于其它生境。此结果与李庆康等^[36]的研究结果不符:在演替早期的灌草丛中,辽东栎种子萌发较好。可能的原因是本研究的森林生境中,灌木的遮荫可能被乔木的遮荫所抵消(辽东栎林郁闭度达 80%,油松林郁闭度达 90%)。而在草地生境,光照强度很高(表 1),表明演替早期灌木还未形成连续的灌木层,还不足以对其下的幼苗形成有效遮荫,从而导致灌丛对幼苗的保护作用有限。但随着灌木的生长,其对幼苗生存的积极影响可能会逐渐体现。

4.3 补充限制

本播种实验证明辽东栎种群实生幼苗的补充受到种子和微生境的双重限制。种子限制的证据:在两类生境中(辽东栎林和油松林),增加种子均会导致幼苗补充量的增加。可确定辽东栎在这两种生境中的幼苗补充受到种子限制。栎属植物种子限制的可能原因之一是受到啮齿动物捕食坚果的影响^[36]。有学者指出,啮齿动物对植物种群动态的影响,只有在种群更新仅受种子限制而不受微生境限制时才起作用^[37-39]。本实验无法确定辽东栎幼苗补充过程中的种子限制是否由啮齿动物捕食坚果引起,但幼苗定居过程中的高死亡率,可能会远大于啮齿动物捕食坚果对幼苗补充造成的影响。有关欧洲草本植物补充限制的研究得出了类似结论^[36]。种子扩散不力是造成种子限制另一种原因^[12],人工油松林下,动物活动性差,种子限制的形成原因很可能是由于辽东栎种子扩散不良引起。

微生境限制的证据:在辽东栎林和人工针叶林下,干扰处理导致出苗和补充量的增加,而且干扰与增加种子之间存在交互效应(图 3)。这表明在这两类生境中同时存在微生境限制,且本实验的干扰方式可以增加群落中辽东栎幼苗补充所需的有效微生境。在灌草丛生境中,增加种子与实施干扰均不能导致幼苗补充量增加(图 3),显然,草地生境不适合辽东栎幼苗的定居,据此可判断此类生境不存在种子限制,而缺乏幼苗定居所需的适合微生境是限制幼苗补充的主要限制因素之一。强光照及干旱是造成微生境限制的主要原因。当然,辽东栎幼苗无法在草地生境中定居,很可能还有其它因素起作用(如:食草动物的捕食,蚁类的活动等)。

综上,在局域尺度,辽东栎种群幼苗补充过程中,存在种子限制和微生境限制。但不同生境中情况有所区别,在演替顶极群落(人为顶极:人工油松林;气候顶极:辽东栎林)中,受到种子和微生境的双重限制,在演替早期的草地群落,则主要受到微生境的限制。因此,本地区辽东栎幼苗的补充不仅需要大量种子,而且需要幼苗定居的适合生境。

在植物种群更新研究中,播种实验的直接目的是检验群落内是否存在非生物条件(土壤基质、微地形、小气候等)对幼苗补充造成的障碍,即是否存在微生境限制,或种群的补充是否受到种子的限制^[13]。但 Eriksson 指出,简单的将植物种群的补充限制分为种子限制或微生境限制,会误导对植物种群补充过程的理解,而多元补充限制理论对植物种群补充过程理解更具指导意义^[6,9]。种子限制和微生境限制看做一个连续轴的两个端点,而某物种的补充限制可以处于这个连续轴中任意一点。在栎属植物的补充限制研究中,Crawley 等指出 *Q. robur* 在无遮荫的开阔生境受种子限制,在郁闭林冠下受微生境限制^[37];Tanouchi 等指出 *Q. gilva* 和 *Q. acuta* 的幼苗在郁闭栎林下受种子和微生境的双重限制,很难完成实生更新^[40];Gómez 指出 *Q. ilex* 在人工针叶林下的更新受到种子限制^[21];Clark 指出在栎属植物大多数情况下受种子限制,且多因扩散较差引起^[12]。本研究结果证实了栎属植物中的辽东栎种群的补充过程在局域尺度下存在多种限制模式,支持多元补充限制理论。而下一步的工作重点应该放在对种子限制与微生境限制的定量化分析上,但这需要设计更加精细的针对性实验。

4.4 管理建议

本林区大量的人工油松林存在生物多样性差、生态系统服务功能低下的问题。其作为当地的人为顶极群落,与气候顶极群落(辽东栎为建群种的群落)共存是本地区森林植被的特征之一。改造油松林,促进辽东栎种群向油松林侵入以增加生物多样性,是子午岭地区森林植被恢复工作中的重要方向。本研究结果显示,人工油松林缺乏健康的辽东栎种子、枯落层较厚、林冠下光照条件差,阻碍辽东栎幼苗的补充。因此建议人工扰

动枯落层,同时进行人工播种,以促进辽东栎在人工针叶林下的更新。种子埋藏虽然能够带来较高的萌发率^[41],但在大面积改造人工针叶林时可行性较差。辽东栎林虫害严重、林冠下光照弱、枯落层较厚等因素限制了辽东栎的自然更新,对地表枯落层进行干扰后直接播种有利于天然更新。演替早期的灌草丛群落,因强烈的光照和干旱,对辽东栎幼苗定居不利,干扰及播种均无法提高幼苗补充量,因此不建议在草地群落中营造辽东栎林,可待该群落中灌木进一步发育后再进行造林。

5 结论

在郁闭森林生境中,辽东栎的更新受种子和微生境的双重限制,缺乏健康种子及适合的微生境是其更新限制的主要因素。较厚的枯落层是造成微生境限制的主要因素之一,林下灌丛对辽东栎幼苗补充无显著影响。演替早期的灌草丛生境,因强烈的光照及干旱,导致辽东栎种子萌发困难,幼苗死亡率高,辽东栎在此类生境中无法完成天然更新。人工油松林对辽东栎幼苗的定居更加有利。幼苗早期生长过程中的高死亡率是造成辽东栎实生更新困难的主要因素之一。多元补充限制理论对全面理解本地区辽东栎种群幼苗补充过程更具指导意义。

致谢:王世雄、郭江超、任萍、孙嘉男、郝江勃、崔长美、石慧等同志参加了野外工作,北京师范大学张大勇教授对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Tilman D. Plant Strategies and Dynamics and Structure of Plant Communities. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [2] Hubbell S P, Foster R B, O'Brien S T, Harms K E, Condit R, Wechsler B, Wright S J, Loo de Lao S. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a Neotropical forest. *Science*, 1999, 283(5401): 554-557.
- [3] Harper J L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977.
- [4] Silvertown J W. Introduction to Plant Population Ecology. London: Longman, 1987.
- [5] Eriksson O, Ehrlén J. Seed and microsite limitation of recruitment in plant population. *Oecologia*, 1992, 91: 360-364.
- [6] Eriksson O. Evolution of seed dispersal and recruitment in plants. *Oikos*, 1992, 63: 439-448.
- [7] Crawley M J. The population dynamics of the plants. *Philosophical Transactions of the Royal society of London Biology*, 1990, 330: 125-140.
- [8] Grime J P, Hillier S H. The contribution of seedling regeneration to the structure and dynamics of plant communities, ecosystems and larger units of the landscape//Fenner M ed. *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Wallingford: CABI Publishing, 2000: 361-374.
- [9] Eriksson O. Seedling dynamics and life histories in clonal plants. *Oikos*, 1989, 55: 231-238.
- [10] Clark J S, Macklin E, Wood L. Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern Appalachian forests. *Ecological Monographs*, 1998, 68(2): 213-235.
- [11] Münzbergová Z, Herben T. Seed, dispersal, microsite, habitat and recruitment limitation: identification of terms and concepts in studies of limitations. *Oecologia*, 2005, 145: 1-8.
- [12] Clark J S, Beckage B, Camill P, Cleveland B, HilleRisLambers J, Lichter J, McLachlan J, Mohan J, Wyckoff P. Interpreting recruitment limitation in forests. *American Journal of Botany*, 1999, 86(1): 1-16.
- [13] Turnbull L A, Crawley M J, Rees M. Are plant population seed-limited? A review of seed sowing experiments. *Oikos*, 2000, 88: 225-238.
- [14] Fan W Y, Wang X A, Guo H. Analysis of plant community successional series in the Ziowuling area on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 706-714.
- [15] Gao X M, Du X J, Wang Z L. Comparison of seedling recruitment and establishment of *Quercus wutaishanica* in two habitats in Dongling Mountainous Area, Beijing. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(3): 404-411.
- [16] Shaaxi Forestry Department. Manual of Shaaxi forestry. Beijing: China Forestry Publishing House, 1964: 22-53.
- [17] Yue M. Species diversity of higher plant of *Quercus liaotungensis* forests in Qinling Mountain and the Loess Plateau. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 1998, 18(1): 124-131.
- [18] Duan R Y, Wang C, Wang X A, Zhu Z H, Guo H. Differences in plant species diversity between conifer (*Pinus tabulaeformis*) plantations and natural forests in middle of the Loess Plateau. *Russian Journal of Ecology*, 2009, 40(7): 501-509.
- [19] Zhu Z C. A preliminary study on the *Quercus liaotungensis* forests in the Qinling Mountain and the Loess Plateau of northern part of the Shaanxi Province. *Acta Phytocologica Geobotany Sinica*, 1982, 6(2): 95-104.
- [20] Zhu Z C. The type and succession of the *Quercus liaotungensis* forests on woodland of Loess plateau in North Shaanxi Province). *Journal of Northwest University*, 1991, 21(01): 57-71.
- [21] Gómez J M. Importance of acorn burial and microhabitat on *Quercus ilex* early recruitment: non-additive effects on multiple demographic processes. *Plant Ecology*, 2004, 172: 287-297.

- [22] Cheng J M, Zhao L P, Cheng J. Seed quality and forest regeneration of a 60-year *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwouling region, northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(2): 10-16.
- [23] Wang W, Li Q K, Ma K P. Establishment and spatial distribution of *Quercus liaotungensis* Koidz. seedlings in Dongling Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 595-600.
- [24] Wang W, Liu C R, Ma K P, Yu S L. Population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* in two broad-leaved deciduous forests in Dongling Mountain, Northern China. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(4): 425-432.
- [25] Zhang L Z, Wang X A, Guo H, Li F. Gap characteristics and its effects on community regeneration of *Quercus liaotungensis* forest on Loess Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(11): 1835-1840.
- [26] Tian L, Wang X A, Guo H, Zhu Z H. Studies on the regenerative characteristics of *Quercus wutaishanica* in Malan Forest Region on the Loess Plateau. *Guihaia*, 2007, 27(02): 191-196.
- [27] Chen Z P, Wang H, Yuan H B. Studies on soil seed bank and seed fate of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwu Mountains. *Journal of Gansu Agriculture University*, 2005, 40(1): 7-12.
- [28] Han H R, He S Q, Zhang X P, Wang Y J, Zhang H D. The effect of light intensity on the growth and development of *Quercus liaotungensis* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(04): 97-100.
- [29] Harmer R. Natural regeneration of broadleaved trees in Britain III. Germination and establishment. *Forestry*, 1995, 68: 1-9.
- [30] Facelli J M. Multiple indirect effects of plant litter affect the establishment of woody seedlings in old fields. *Ecology*, 1994, 75: 1727-1735.
- [31] Joffre R, Rambal S. Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Acta Oecologia*, 1988, 9: 405-422.
- [32] Maron J L, Simms E L. Effect of seed predation on seed band size and seedling recruitment of bush lupin (*Lupinus arboreus*). *Oecologia*, 1997, 111: 76-83.
- [33] Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gómez J M, Hódar J A, Castro J, Baraza E. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications*, 2004, 14: 1128-1138.
- [34] Rey P J, Alcántara J M, Valera F, Sánchez-Lafuente A M, Garrido J L, Ramírez J M, Manzaneda A J. Seedling establishment in *Olea europaea*: seed size and microhabitat affect growth and survival. *Ecoscience*, 2004, 11: 310-320.
- [35] Callaway R M, D'Antonio C M. Shrub facilitation of coast live oak establishment in central California. *Madrono*, 1991, 38: 158-169.
- [36] Li Q K, Ma K P. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz. under mature mixed oak forest over story and in shrubland. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176: 133-146.
- [37] Crawley M J, Long C R. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur* L. *Journal of Ecology*, 1995, 83: 683-696.
- [38] Maron J L, Gardner S N. Consumer pressure, seed versus safe-site limitation and plant population dynamics. *Oecologia*, 2000, 124: 260-269.
- [39] Edwards G R, Crawley M J. Rodent seed predation and seedling recruitment in mesic grassland. *Oecologia*, 1999, 118: 288-296.
- [40] Tanouchi H, Sato T, Takeshita K. Comparative studies on acorn and seedling dynamics of four *Quercus* species in an evergreen broad-leaved forest. *Journal of Plant Research*, 1994, 107: 153-159.
- [41] Zhang, Z B. Effect of burial and environmental factors on seedling recruitment of *Quercus liaotungensis* Koidz. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 375-384.

参考文献:

- [14] 范炜熠, 王孝安, 郭华. 黄土高原子午岭植物群落演替系列分析. *生态学报*, 2006, 26(3): 706-714.
- [15] 高贤明, 杜晓军, 王中磊. 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. *生态学报*, 2003, 27(3): 404-411.
- [16] 陕西省林业厅. 陕西省林业手册. 北京: 中国林业出版社, 1964: 22-53.
- [17] 岳明. 秦岭及陕北黄土区辽东栎林群落物种多样性特征. *西北植物学报*, 1998, 18(1): 124-131.
- [19] 朱志诚. 关于秦岭及陕北黄土高原区辽东栎林地初步研究. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1982, 6(2): 95-104.
- [20] 朱志诚. 陕北黄土高原辽东栎林的类型和演替. *西北大学学报*, 1991, 21(01): 57-71.
- [22] 程积民, 赵凌平, 程杰. 子午岭 60 年辽东栎林种子质量与森林更新. *北京林业大学学报*, 2009, 31(2): 10-16.
- [23] 王巍, 李庆康, 马克平. 东灵山区辽东栎幼苗的建立和空间分布. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 595-600.
- [24] 王巍, 刘灿然, 马克平, 于顺利. 东灵山两个落叶阔叶林中辽东栎种群结构和动态. *植物学报*, 1999, 41(4): 425-432.
- [25] 张吕醉, 王孝安, 郭华, 李峰. 辽东栎林林隙特征及其对群落更新的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(11): 1835-1840.
- [26] 田丽, 王孝安, 郭华, 朱志红. 黄土高原马栏林区辽东栎更新特性研究. *广西植物*, 2007, 27(2): 191-196.
- [27] 陈智平, 王辉, 袁宏波. 子午岭辽东栎林土壤种子库及种子命运研究. *甘肃农业大学学报*, 2005, 40(1): 7-12.
- [28] 韩海荣, 贺顺钦, 张学培, 王英杰, 张宏达. 辽东栎苗木早期生长与光的关系. *北京林业大学学报*, 2000, 22(4): 97-100.
- [41] 张知彬. 埋藏和环境因子对辽东栎种子更新的影响. *生态学报*, 2001, 21(3): 375-384.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元