

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	

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^{1,2}, 张文辉^{2,*}, 薛瑶芹², 马 闯², 周建云²

(1. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学西部环境与生态教育部重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:栓皮栎(*Quercus variabilis*)是中国暖温带和亚热带林区的主要建群种,也是重要的栲胶、软木资源树种。为了阐明栓皮栎在不同生境条件下的种子成苗、实生苗生长及其与环境因素的关系,采用典型样地调查的方法,对秦岭北坡栓皮栎林3种生境中(林窗、林缘、林下)的栓皮栎种子库中种子数量、实生苗的存活数量、生长情况及生物量分配进行了研究,对影响实生苗生长发育的环境因素进行了相关分析。结果表明:林下、林窗和林缘的种子库中种子数量差异显著($P < 0.05$),3种生境中能够萌形成1a苗的种子数量少,种子能否萌发明显受枯枝落叶层厚度、光照强度和空气湿度的影响;栓皮栎种群有充足的苗库,其中较大年龄实生苗数量是种群能否持续更新的关键,林下、林窗和林缘中8a苗分别占该年龄实生苗总量的22.53%、45.60%和31.87%,林窗中较大年龄实生苗的数量比林下和林缘多,林窗为栓皮栎实生苗的定居提供了有利条件;栓皮栎实生苗的生长与光照强度和空气湿度显著正相关,与土壤含水量显著负相关,林窗中实生苗的生长状况和生物量积累均优于林缘、林下。林窗对栓皮栎种群更新有利。在今后的栓皮栎林的经营过程中,可以适当间伐,增加林窗数量,为种群可持续发育提供有利条件。

关键词:栓皮栎; 林下; 林窗; 林缘; 环境因素

Growth characteristics and influencing factors of *Quercus variabilis* seedlings on the north slope of Qinling Mountains

MA Liwei^{1,2}, ZHANG Wenhui^{2,*}, XUE Yaoqin², MA Chuang², ZHOU Jianyun²

1 College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: *Quercus variabilis* distributed widely in the warm temperate and the subtropical area of China is not only an important constructive species of local forest but also a resource for tannin extracts and cork production. In order to understand the characteristics of seed bank, seed germination, seedling development and their influencing factors, 15 sampling plots belonging to 3 classes of habitats (understory, forest gap and forest edge) in *Q. variabilis* forests on the north slopes of Qinling Mountains where was the core distribution area of this species were studied. The number of *Q. variabilis* seeds in soil seed bank was investigated in 2008, the age structure, survival number of young seedlings, and the growth and biomass in relation to age development were investigated during the following year. Meanwhile, 7 environmental factors which might affect the germination of seeds and the growth of seedlings were also measured and analyzed. The main results were as follows: The number of intact seeds in seed banks, being different significantly ($P < 0.05$), were 3.60×10^3 , 1.94×10^3 and 2.80×10^3 per 100 m^2 respectively among plots for understory, forest gap and forest edge. They were resulted from that the processes of remove and predation, mildewing and immaturity affected the number of seeds to different extent among the 3 kinds of habitats. While remove and predation were the main way for the loss of seeds in the 3 kinds of habitats. Few seeds were able to germinate and develop to one-year-old seedlings, and the germinating process was observably influenced by the thickness of litter, radiation condition and air humidity according to the result of the correlation analysis. *Q. variabilis* population had plenty of young seedlings, however, the number of seedlings decreased dramatically

基金项目:国家自然科学基金项目(30872018);陕西省科学技术研究发展重点基础研究项目(2009JZ005);国家林业局国家级重大林业科学技术推广项目(2009)

收稿日期:2010-05-16; 修订日期:2010-10-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwhckh@163.com

with the age increase. The elder seedlings might play a key role in sustained regeneration of the population. The eight-year-old seedlings in understory, forest gap and forest edge accounted for 22.53%, 45.60% and 31.87% of the total number of the seedlings respectively. The number of seedlings in forest gap was more than that in the other 2 habitats. Forest gap was a kind of habitat which might be beneficial for the seedling establishment. The growth of height and biomass of the seedlings showed significant positive correlations with radiation condition and air temperature, but was negatively correlated with soil moisture significantly. The morphological traits including basal diameter, height, leaf area index and length of main root, and the biomass of stem, leaf and root of seedlings in forest gap were greater than those either at forest edge or in understory. The forest gap turned out to be favorable for the population regeneration of *Q. variabilis*. It might for the reason that the forest gap made the environmental factors, such as the radiation condition, air temperature and soil moisture etc. are different from those at forest edge or in understory, which were benefit to the growth of *Q. variabilis* seedlings. In the future, appropriate thinning techniques should be used to improve the number of the forest gap and provide favorable conditions for sustainable development of the *Q. variabilis* forests.

Key Words: *Quercus variabilis*; understory; forest gap; forest edge; environmental factors

森林幼苗更新是森林持续发育的基础,只有林内幼苗数量足够丰富,森林才可能实现持续发育。林窗、林缘导致了资源的再分配和微生境的异质性^[1-2],是森林更新和林木生长最活跃的空间。对比研究林下、林窗和林缘的种子库中种子数量和实生苗年龄结构,分析影响实生苗形成、定居、生长发育的环境因素对促进森林持续发育有重要意义。

栓皮栎(*Quercus variabilis*)为壳斗科(Fagaceae)栎属(*Quercus* L.)植物,落叶乔木,是重要的用材、软木、栲胶和能源树种。栓皮栎速生、耐旱、耐瘠薄,分布广泛,是我国暖温带落叶阔叶林和亚热带常绿落叶阔叶混交林的重要建群种^[3]。以往对栓皮栎的研究主要集中在种群生殖动态、种群年龄结构和生物学生态学特性等方面^[4-6],有关栓皮栎天然更新以及林内不同生境的实生苗生长发育特点的研究还未见报道,而这是栓皮栎次生林恢复和持续经营中亟待解决的问题。

本研究调查了不同生境中(林下、林窗、林缘)栓皮栎种子的命运、实生苗密度、生长情况和生物量积累,对比分析不同生境中栓皮栎种子库中种子数量、实生苗生长发育情况及其与主要环境因素之间的关系,阐明栓皮栎林内不同生境种群的更新规律,为栓皮栎次生林恢复和持续经营提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究区位于秦岭北坡中段的楼观台、太白山和南五台(107°39'—108°37'E 和 33°42'—34°14'N),海拔 570—1020m,属暖温带大陆性季风气候,年平均气温为 13.2℃,极端最高气温 42.4℃,极端最低气温 -18.1℃,年均降水量 650—800mm,土壤为山地褐土。地带性植被为暖温带落叶阔叶林,栓皮栎为当地地带性植被的建群种,其他伴生树种有侧柏(*Platycladus orientalis*)、槲树(*Quercus dentata*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、绿叶胡枝子(*Lespedeza buergeri*)、苔草(*Carex tristachya*)和麦冬(*Ophiopogon japonicus*)等。秦岭北坡的栓皮栎林属于水源涵养林,近年来没有进行过采伐或大规模破坏活动,林相发育较好。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

该研究区域中阴坡的栓皮栎林林相较好,本研究以阴坡的栓皮栎林为研究对象。该林是 1985 年皆伐后,未经任何管理措施,形成的天然次生林。栓皮栎占林分组成 90% 以上,郁闭度为 75%—80%。于 2008 年分别在林下、林窗和林缘 3 个生境共设置 15 个固定样地。

林下样地 选在林相相对整齐,林木分布均匀的地段,设置 5 个 20m×20m 的样地(样地中心距林缘距离 >40m)。

林缘样地 选在森林边缘,即森林与农田或空地的交汇处,设置 5 个面积为 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的样地(样地由林缘向林下延伸)。

林窗样地 在林内寻找林窗(样地中心距林缘距离 $>40\text{m}$),记录林窗长轴长度和短轴长度,依照公式 $S = \pi \times a \times b / 4$ (其中 S 为林窗面积, a 为长轴长, b 为短轴长)计算林窗面积,选择 5 个林窗作为样地,每个样地面积为 $100\text{—}150\text{m}^2$ 。

种子库样方设置 2008 年 7 月下旬,在林下和林缘样地中,分别沿每个样地的左下角到右上角对角线均匀设置 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的小样方 10 个,其中 5 个为四周具有土楞的水平地面样方,用于接收自然降落或滚动进入的种子;另外 5 个为尼龙网制成的种子收集筐,收集筐设在距地面高 50cm 处,周围用木棍围住,用于观测种子雨动态及其数量。在每个林窗样地内设 10 个小样方,其中林窗中心分别设置种子收集筐($1\text{m} \times 1\text{m}$)和地面样方($1\text{m} \times 1\text{m}$)各 1 个,其余 4 个种子收集筐和 4 个地面样方分别沿林窗样地的长半轴方向和短半轴方向,设置在林窗中心距离边缘的一半处和边缘处,具体的种子收集筐和地面样方设置情况如图 1 所示。

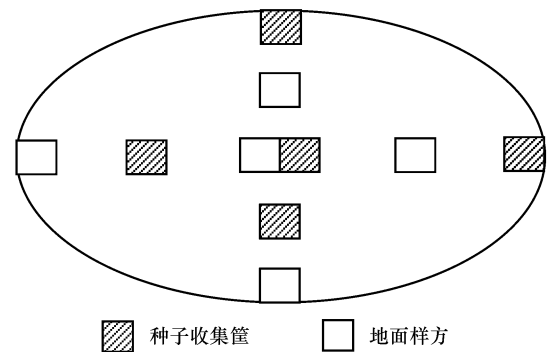


图 1 林窗样地中种子库样方设置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the location of seed bank quadrates in forest gap

实生苗、灌木和草本调查样方的设置 在林下和林缘样地中,沿右下角到左上角对角线分别设置 3 个 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 样方用于实生苗和灌木调查;3 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的样方用于草本调查。在林窗样地中设置 9 个 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的小样方,1 个设置在林窗中央,其余 8 个分别沿林窗样地的长、短轴方向,设置在林窗中央距边缘一半处和林窗边缘处^[7],将以上 9 个小样方用于样地实生苗和灌木调查;依照上述小样方($2\text{m} \times 2\text{m}$)的设置方法设置 9 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的草本样方用于草本调查。

1.2.2 样地调查

不同生境的生态因子调查 用 GPS (MagellanGPS315) 测定样地海拔和地理坐标;用罗盘仪测定坡度、坡向;选择晴朗(前 5d 无雨)的天气,在 3 个生境的样地内,分别于 10:00、12:00、14:00、16:00 测定各样地中心地表以上 0.5m 处的空气温度、湿度(DHM2 型通风干湿温度计)、地表以上 0.5m 处的光照强度(ZDS-10 型照度计)。沿林下、林缘样地的对角线和林窗样地的长轴均匀布置 3 个土壤取样点,取地表以下 $0\text{—}15\text{cm}$ 混合土样,密封后带回室内,用烘干法测定土壤含水量。将测得的各个样地生态因子的数值按照生境分类、取平均值(表 1)。

样地内乔灌木调查 于 2009 年 8—10 月份进行。栓皮栎种群调查:在每个林下、林缘样地中,以样地与坡面等高线平行的边为 X 轴,以垂直边作为 Y 轴建立直角坐标系,记录每一高度 $\geq 2.5\text{m}$ 栓皮栎个体的坐标值、胸径、高度和冠幅。灌木和草本调查:在林下、林缘样地的 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的样方和林窗样地的 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的样方内调查每个灌木物种的平均高度、平均多度、盖度等;在各个样地的 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的样方内调查草本物种,调查内容与灌木一致。

实生苗数量调查 分别在 3 种生境样地的灌木样方中,仔细寻找每一高度 $<2.5\text{m}$ 的栓皮栎实生苗(主干基部没有明显伐桩痕迹),测量每个实生苗的地径,用于确定实生苗年龄;记录样方中实生苗数量,推算整个样地内实生苗的密度。

实生苗年龄的确定方法 分别在林内、林窗和林缘样地中选取各个年龄的实生苗各 6 株,其中 1—4a 实生苗个体年龄通过主茎上的芽鳞痕、茎干颜色确定,4a 以上(不包括 4a)实生苗个体的年龄通过观察主茎上的芽鳞痕,砍伐不同地径的实生苗,用放大镜观察基部年轮数确定^[6]。分别求出 3 个生境中同一年龄实生苗地径的平均值,用平均地径与年龄在 origin7.5 软件中拟合曲线,得到 3 个生境中栓皮栎实生苗地径与年龄的

关系方程:

$$y_1 = -11.81899 \exp^{(-x/0.09574)} - 14.72548 \exp^{(-x/4.62366)} + 16.27307 \quad R^2 = 0.96725 \quad (1)$$

$$y_2 = -6.1217 \exp^{(-x/3.60805)} - 6.1217 \exp^{(-x/3.60809)} + 12.62217 \quad R^2 = 0.99256 \quad (2)$$

$$y_3 = -14.61307 \exp^{(-x/4.4068)} - 14.40035 \exp^{(-x/0.07694)} + 15.63925 \quad R^2 = 0.98418 \quad (3)$$

式中, y_1 、 y_2 和 y_3 分别为林下、林窗和林缘样地中实生苗的年龄, x 为实生苗的地径。分别应用(1)式、(2)式和(3)式计算各个年龄实生苗地径的理论值,并与实测值比较,经卡方检验, $P < 0.01$,说明拟合方程符合实际要求。林下、林窗和林缘样地中栓皮栎实生苗个体的年龄分别由(1)式、(2)式和(3)式确定。

实生苗生长发育测定 在结束所有样地的乔灌木和实生苗数量调查后,在林下、林窗、林缘3种生境的样地中选取各个年龄的实生苗各3株作为标准株(高度、地径、冠幅、叶片数接近平均值),测量其高度、地径、冠幅。由于1—4a实生苗叶片数量较少,直接测得叶片数量;对4a以上实生苗,用标准枝法调查整株叶片数量^[8]。将标准株挖出清洗干净,分为茎、叶、根3部分,测量主根长。将1—4a实生苗的茎、叶、根全部带回实验室在80℃下烘干至恒重,称量每株实生苗各部分干重并以其总和作为单株的总生物量;对4a以上实生苗,分别称取每个标准株的茎、叶、根的鲜重,并分别对3部分取样,带回实验室烘干,测得各部分含水率,根据含水率计算茎、叶、根的生物量和总生物量。叶片在带回实验室后先用 EPSON PERFECTIO N 4870 扫描仪将叶片扫描成图片文件,用 WinFOLIA 2004a 软件分析叶面积 (leaf area, LA)^[9],然后再烘干。依据公式计算单株的叶面积指数: $LAI = LA \times N / (\pi \times R^2)$ (LAI 为叶面积指数; LA 为平均单叶面积; N 为单株实生苗总叶片数; R 为实生苗冠幅的半径);茎生物量比率(茎重/总生物量)、叶生物量比率(叶重/总生物量)、根生物量比率(根重/总生物量)^[10]。将同一生境样地数据合并,比较统计各个生境中栓皮栎实生苗的数量、形态特征和生物量及其分配情况。

种子库调查 从2008年8月初到10月上旬,每5d调查1次,10月中旬后,每15d调查1次,11月中旬结束本年度调查。每次调查时,分别记录种子收集筐和样方内种子总数、腐烂种子数、未熟种子数和完好种子数。由于有地面种子库的保护,动物几乎不会取食、搬运种子收集筐中的种子,所以根据种子收集筐与地面样方种子平均数量之差,可以估计出动物从样方中搬运和取食的种子数^[11]。最后,分别计算此期间每次调查所得种子总数、被动物搬运、取食的种子数、腐烂种子数、未熟种子数和完好种子数的总和,将相同生境数据合并,计算3种生境中单位面积内各类型的种子数量。

1.3 数据处理

利用 SPSS17.0 中的 One-way ANOVA 分析和 Duncan 法对比分析3种生境中的栓皮栎种子库数量和实生苗的生长发育状况,使用相关分析法对影响种子萌发与实生苗生长发育的环境因子进行分析。使用 Origin7.5 进行图形处理。

2 结果与分析

2.1 不同生境中栓皮栎种子命运

种子库是种子雨和动物搬运、取食等输出作用综合影响的结果。单因素方差分析表明,3个生境地种子库的种子数量有显著差异($P < 0.05$) (表2),种子库中的种子总数依次为林下 > 林缘 > 林窗。3个生境中完好种子分别占各自种子库中种子总数的22.63%、20.19%和16.49%,完好种子数量在生境间存在显著差异($P < 0.05$);林窗中动物搬运、取食种子数量显著多于林缘和林下相应途径的种子损失数

表1 不同生境栓皮栎林生态因子特征

Table 1 Ecological characters of *Q. variabilis* forestry in different habitats

生态因子 Ecology characters	林下 Understory	林窗 Forest gap	林缘 Forest edge
枯枝落叶层厚度 Coverage of Litter/cm	4.63	3.58	2.10
草本层盖度 Coverage of herbage/ %	47.50	73.33	69.33
灌木层盖度 Coverage of shrub/ %	35.00	32.17	36.25
土壤含水量 Soil moisture / (L/m ³)	364.6	256.75	326.28
光照强度 Light/ (×10 ³ lx)	5.67	18.16	8.02
空气温度 Air temperature/℃	22.45	25.79	23.13
空气湿度 Air humidity/ %	76.67	72.73	75.54
海拔 Altitude/m	620—660	570—620	620—640
坡向 Aspect/(°)	210—310	70—310	130—310
坡度 Slope/(°)	22—26	20—23	21—27

量($P < 0.05$),动物取食或搬运的种子数量分别占林窗、林缘和林下种子库中种子总数的48.74%、38.25%和30.53%;3种生境中的霉变和未熟种子数量都表现为林下 > 林缘 > 林窗,且均存在显著性差异($P < 0.05$)。以上结果说明,在3种生境中,不同的种子损失方式对种子库的影响不同,但在林窗、林缘、林下中动物搬运、取食是导致种子数量减少的主要因素。林窗、林缘、林下的1a苗数量与完好种子数量的比率分别为0.18%、0.20%和0.11%,3种生境中完好种子的萌芽成苗率为林缘 > 林窗 > 林下,与不同生境中的完好种子数不相关。林下、林窗和林缘中损失的种子数量、完好种子数量和种子萌发成苗情况各不相同,说明3种生境对种子的命运产生了不同影响。

表2 不同生境中栓皮栎种子命运
Table 2 Fate of *Q. variabilis* seeds in different habitats

生境 Habitats	种子库种子数 Seed bank/ (粒/100m ²)	动物搬运、 取食种子数 Removal and predacious seed/ (粒/100m ²)	霉变种子数 Moldy seed/ (粒/100m ²)	未熟种子数 Immature seed/ (粒/100m ²)	完好种子数 Intact seed/ (seeds/100m ²)	1a幼苗数 1 year's seedling/ (seeds/100m ²)
林下 Understory	1.50 × 10 ⁴ ± 231.35a	5.84 × 10 ³ ± 103.52a	3.42 × 10 ³ ± 95.53a	3.60 × 10 ³ ± 108.93a	3.31 × 10 ³ ± 89.43a	16.33 ± 0.13a
林窗 Forest gap	1.07 × 10 ⁴ ± 170.71b	4.81 × 10 ³ ± 145.25b	1.80 × 10 ³ ± 105.34b	1.94 × 10 ³ ± 115.67b	1.77 × 10 ³ ± 95.11b	19.49 ± 0.32b
林缘 Forest edge	1.28 × 10 ⁴ ± 215.57c	4.91 × 10 ³ ± 131.71c	2.53 × 10 ³ ± 100.12c	2.80 × 10 ³ ± 90.48c	2.59 × 10 ³ ± 93.26c	25.25 ± 0.22c

算术平均值 ± 标准误差;不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 栓皮栎实生苗年龄结构

实生苗的年龄结构对于种群的更新和发育趋势有着重要的意义。由图2可知,栓皮栎实生苗库较大。1a苗的数量占实生苗总量的35.52%,8a苗数量仅占实生苗总量的1.03%,实生苗数量随着年龄的增加而急剧减少。但由于生境差异,不同生境中实生苗年龄结构表现略有不同,除1a和2a苗的数量表现为林缘 > 林窗 > 林下外,其它各个年龄阶段实生苗的数量都表现为林窗 > 林缘 > 林下。随着实生苗年龄的增长,3种生境中实生苗的存活量为林窗 > 林缘 > 林下,其中8a苗尤为明显。林窗、林缘和林下的8a苗数量分别占8a苗总量的45.60%、31.87%和22.53%,林窗有利于较大实生苗的存活。

2.3 栓皮栎实生苗的生长发育状况

2.3.1 栓皮栎实生苗的形态特征

林窗、林缘、林下的无机环境和生物环境都存在不同程度的差异,使得实生苗在高度、地径、叶面积及根长生长方面产生不同的适应策略,以保证植株在资源利用和竞争中取得优势。随着实生苗年龄的增长,3个生境中实生苗的地径、高度、叶面积指数和主根长(图3)均有较大增长,但林窗、林缘和林下的实生苗在生长量上有一定区别,且各年龄实生苗的各项生长指标均是林窗 > 林缘 > 林下,并且随着实生苗年龄的增长,这种差异愈来愈显著($P < 0.05$)。林窗中8a苗的地径、高度、叶面积指数和主根长分别比林缘同龄实生苗的相应参数大23.3%、18.0%、79.7%和5.7%,比林内同龄实生苗大38.1%、25.9%、173.5%和17.1%。从上述实生苗形态特征的生长状况可以看出,林窗较林缘、林下更有利于栓皮栎实生苗的生长发育,形成大的实生苗,对种群的持续更新有积极影响。

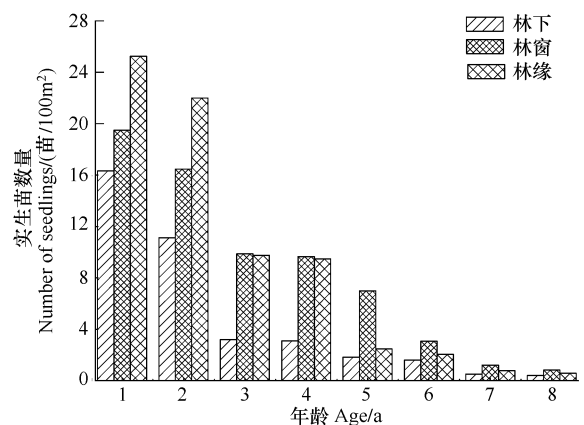


图2 不同生境中栓皮栎实生苗的年龄组成

Fig. 2 Age structure of *Q. variabilis* seedlings in different habitats

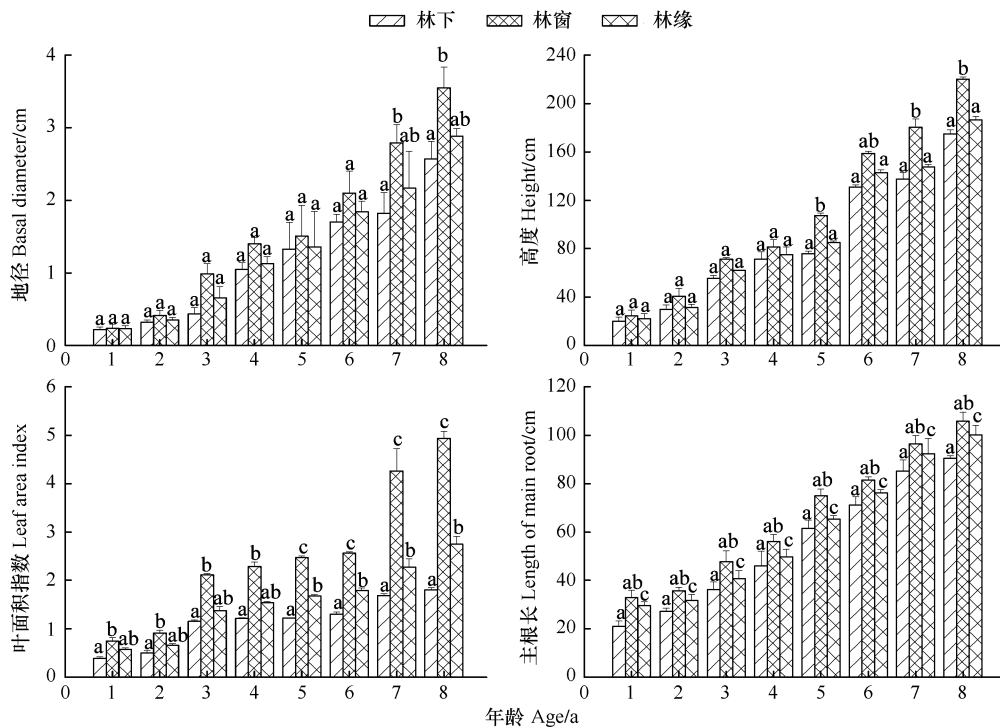


图3 不同生境栓皮栎实生苗形态特征

Fig. 3 Morphological trait of *Q. variabilis* seedlings in different habitats注:算术平均值 ± 标准误差;不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3.2 栓皮栎实生苗生物量及其分配

植物生物量的增长是植物自身与环境因素共同作用的结果,它既反映了植物对环境条件的适应及利用状态,也反映了植物本身的生存能力和生长发育规律^[12]。由图4的A1、B1和C1可以看出,3个生境中栓皮栎实生苗的茎、叶和根的生物量均呈指数形式增长,1—4a时生物量增长缓慢,5a后实生苗茎、叶和根的生物量都急剧增长。由图4A2、B2和C2可知,3个生境中实生苗茎的生物量比率在前4a均呈下降趋势,5a后逐渐升高;实生苗叶生物量比率随年龄的增长一直下降;根则是在前4a占有较高的生物量比率,5a后生物量比率持续降低,说明在1—4a阶段,实生苗倾向于把更多的干物质贮藏在根部;5a以后,地上生物量所占比率高于地下,栓皮栎以地上生长为主。

林窗中1—8a苗的茎生物量、叶生物量和根生物量均显著大于林缘和林下相应部分的生物量 ($P < 0.05$),而且这种差异随着年龄的增长有扩大的趋势(图4),林窗中8a苗的茎生物量分别比林缘、林下的多6.1%、19.1%;叶生物量分别比林缘、林下的多3.1%、5.4%;根生物量分别比林缘、林下的多10.4%、24.9%。林窗中各年龄实生苗的根生物量比率较林缘、林下高,随着年龄的增长,林窗与林缘、林下的根生物量比率差异越来越显著 ($P < 0.05$)。而栓皮栎实生苗的茎生物量比率和叶生物量比率在3种生境间的差异随着年龄的增长逐渐减小。

2.4 环境因子对栓皮栎实生苗更新和生长发育的影响

在不同的生活史阶段,环境因子对植物种子的萌发、实生苗的生长及生物量增长的影响有所不同。从表3可以看出,栓皮栎种子萌发成苗与光照强度呈显著正相关,与枯枝落叶层厚度、空气湿度之间呈显著负相关,即枯枝落叶层厚,光照不足,湿度较大的环境增加了种子遭受真菌感染、霉变和虫蛀腐烂的机会,影响种子萌发^[13]。在实生苗的生长过程中,高度的变化是最明显的,高度的生长对个体能否进入主林层有着重要的意义,总生物量反映了实生苗生长过程中的物质积累情况,所以高度及总生物量最能代表实生苗的生长发育状

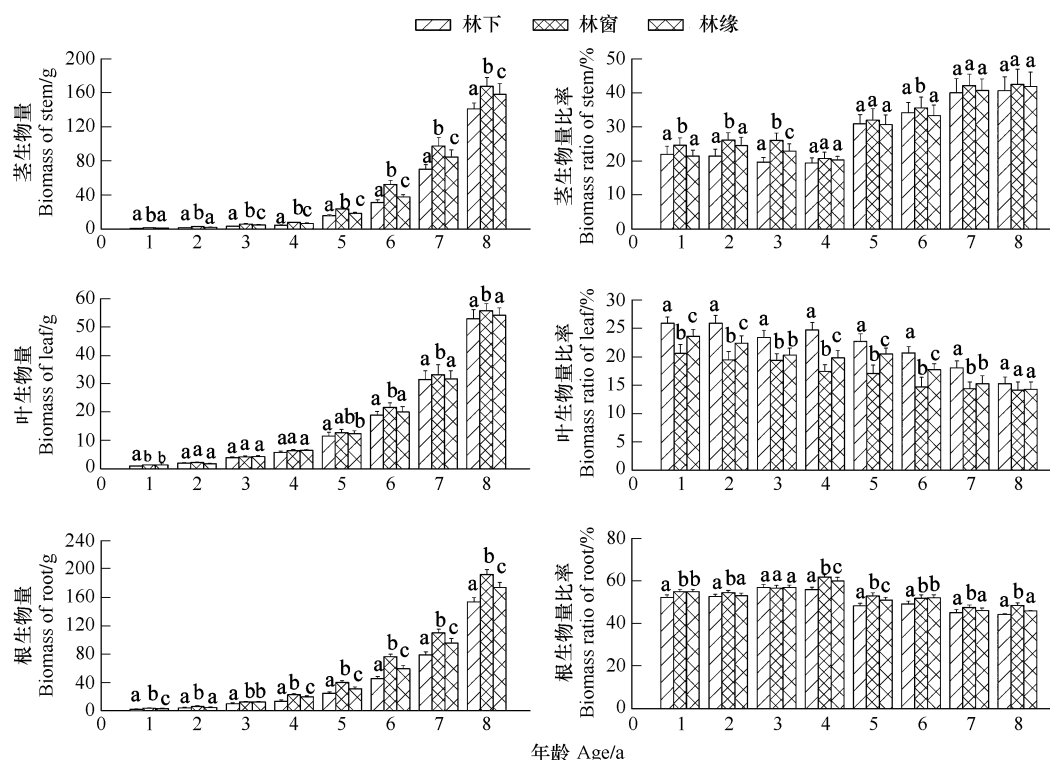


图4 不同生境中栓皮栎实生苗各构件生物量

Fig. 4 Modular biomass and its ratio of *Q. variabilis* seedlings in different habitats注:算术平均值 ± 标准误差;不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

况。实生苗的高度和总生物量与空气温度、光照强度存在显著正相关关系,与土壤含水量存在极显著负相关关系(表3),实生苗的生长发育阶段与生长季内温度、光照、土壤含水量关系密切^[14],较强的光照、较高的环境温度有利于实生苗的生长,而过高的土壤含水量不利于实生苗生长。

表3 种子萌发、实生苗生长特征、实生苗生物量与影响因子的相关分析

Table 3 Correlation analysis between sprouting of seeds, trait and biomass of seedlings and effective factors

影响因子 Effective factors	种子萌发 Sprouting of seed	实生苗高度 Height of seedling	实生苗总生物量 Biomass of seedling
枯枝落叶层厚度 Deadwood	-0.519 *	-0.202	-0.139
草本层盖度 Coverage of herbage	-0.342	0.044	0.111
灌木层盖度 Coverage of shrub	-0.063	-0.145	-0.154
土壤含水量 Soil moisture	-0.012	-0.634 **	-0.630 **
光照强度 Light	0.523 *	0.571 *	0.568 *
空气温度 Air temperature	-0.041	0.687 **	0.669 **
空气湿度 Air humidity	-0.543 *	-0.498	-0.490

* 表示该影响因子对种子萌发、实生苗生长特征或实生苗生物量的影响是显著 ($P < 0.05$); ** 表示该影响因子对种子萌发、实生苗生长特征或实生苗生物量的影响是极显著 ($P < 0.05$)

3 讨论

植物生活史中由种子转化成实生苗,并实现定居是种群面临死亡风险最高的时间段,也是种群生活史中最脆弱的阶段^[15]。本研究对种子落地后种子在林窗、林缘和林下3种生境中的命运进行了调查,发现林窗较林缘和林下有光照强、空气温度高、空气湿度低且动物活动频繁的特点。林窗中完好种子数量最少,主要是由林窗中种子库中种子数量少且动物活动较林缘、林下频繁造成的。在本研究中,3个生境中不同的地被物盖

度改变了地表温度、湿度和光照条件,从而影响种子萌发成苗。林缘中萌发所形成的 1a 苗的数量多于林窗和林下,原因是林缘处被动物取食的种子数量少于林窗,林缘中适当的地表覆盖物厚度减小了地面温湿度的变化^[13],林缘中的温度、湿度和光照条件有利于栓皮栎种子的萌发成苗。本研究再次证明了没有动物取食、湿度较高的土壤表面有利于栎属植物种子的萌发^[16]。

栓皮栎实生苗数量随着年龄的增长大幅度减少,说明栓皮栎种群幼苗定居过程容易受环境影响,实生苗的数量,尤其是较大年龄实生苗的数量是否充足成为栓皮栎种群能否更新和持续发育的关键。锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)和巴山冷杉(*Abies fargesii*)在更新的过程中也存在类似的幼苗数量多但较大年龄幼苗少的现象^[17-18]。在本研究中,林窗内较大年龄的实生苗的数量明显多于林缘和林内,这是因为林窗中较高的空气温度、较强的光照条件和较低的土壤含水量满足栓皮栎喜光耐旱的生长特性。因此,林窗对于减少实生苗定居过程中的死亡率有积极作用。而实生苗的生长状况以及生物量均是林窗>林缘>林下,林窗中实生苗的生长好于林缘和林下的原因是:林窗到林缘、林下存在资源梯度,较大的实生苗通常位于初始存活率较低而资源有效性较高的林窗中,而较小的实生苗通常位于初始存活率较高而资源有效性较低的下^[19],即林窗的形成使得成熟木对水和养分的竞争压力下降^[20],林窗中光和水分的有效性增加,凋落物分解加快、积累减少^[7],所以,林窗中实生苗生长明显较快。本研究结果与刘足根^[21]等对于长白落叶松(*Larix olgensis*)幼苗生长的研究结论基本一致。

对于种群更新过程来说,林窗的出现使栓皮栎实生苗可以更好的利用资源,保持生长优势,缩短实生苗进入主林层的时间。在今后的经营过程中,可以适当间伐,增加林窗的数量,从而增加光照、温湿度等环境资源的异质性,为森林的可持续发育提供有利条件。

Reference:

- [1] Chazdon R L. Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Advances in Ecological Research*, 1988, 18: 1-63.
- [2] Qu C M, Han X G, Su B. Edge effects in fragmented forests: Implications for design and management of natural reserves. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 10(1): 160-167.
- [3] Zheng W J. Chinese Sylvae. Beijing: Chinese Forestry Press, 1985: 2330-2331.
- [4] Wu M Z, Liu Y C, Jiang Z L. The reproductive ecology and stable mechanism of *Quercus variabilis* (Fagaceae) population. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 225-230.
- [5] Han Z X, Shan L. Variation and adaptive countermeasures of *Quercus variabilis* population in Shaanxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 412(6): 16-22.
- [6] Zhang W H, Lu Z J. A study on the biological and ecological property and geographical distribution of *Quercus variabilis* population. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(5): 1093-1101.
- [7] Song X Z, Zhang Z T, Xiao W F, Li D S, Zhang H L. Regeneration dynamics of logging gaps in *Populus davidiana*-*Betula platyphylla* secondary forests in Changbai mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(3): 13-20.
- [8] Chen F, Zhou Z X, Wang P C, Li H F, Zhong Y F. Green space vegetation quantity in workshop area of Wuhan Iron and Steel Company. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 592-596.
- [9] Qi J, Ma K M, Zhang Y X. Comparisons on leaf traits of *Quercus liaotungensis* Koidz on different slope positions in Dongling Mountain of Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 122-128.
- [10] Xu F, Guo W H, Xu W H, Wang R Q. Effects of water stress on morphology, biomass allocation and photosynthesis in *Robinia pseudoacacia* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(1): 24-32.
- [11] Crawley M J, Long C R. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur*. *Journal of Ecology*, 1995, 83(4): 683-696.
- [12] Zhang W H, Zhang C X, Li J X. Aboveground biomass growth development of *Adenophorapotaninii* populations in West Sichuan Province. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(5): 44-53.
- [13] Cheng J M, Zhao L P, Cheng J. *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwuling region, northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(2): 10-16.
- [14] Liu S, Li A M, Guo C M, Liu Y M, Guo W, Yao Y L. Phenological observations on *Schisandra thinness* and impact of meteorological factors on

- its phonological characteristics. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(12): 39-42.
- [15] Hammond D S, Brown V K. Sees size of wood plants in relation to disturbance, dispersal, soil type in wet Neotropical forests. Ecology, 1995, 76: 2544-2561.
- [16] Watt A S. On the causes of failure of natural regeneration in British oak woods. Journal of Ecology, 1919, 7: 173-203.
- [17] Chen Z G, Fan D Y, Zhang W F, Xie Z Q. Effects of gap and understory environments on the regeneration of *Quercus Aliena* var. *Acuteserrata* and *Fagus Engleriana*. Acta Phytoecologica Sinica, 2005, 29(3): 354-360.
- [18] Fu C J, Liu Y H, Zhao B Y. Regeneration characteristics and influencing factors of *Abies fargesii* forests in Shennongjia National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4179-4986.
- [19] Gagnon J L, Jokela E J, Moser W K, Huber D A. Dynamics of artificial regeneration in gaps within a longleaf pine flatwoods ecosystem. Forest Ecology and Management, 2003, 172: 133-144.
- [20] Madsen P, Larsen J B. Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content. Forest Ecology and Management, 1997, 97: 103-113.
- [21] Liu Z G, Zhu J J, Yuan X L, Tan H. Investigation and analysis of the natural regeneration of *Larix olgensis* in mountain regions of Eastern Liaoning Province, China. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(1): 42-49.

参考文献:

- [2] 渠春梅, 韩兴国, 苏波. 片段化森林的边缘效应与自然保护区的设计管理. 生态学报, 2000, 10(1): 160-167.
- [3] 郑万均. 中国树木志. 北京: 中国林业出版社, 1985: 2330-2331.
- [4] 吴明作, 刘玉萃, 姜志林. 栓皮栎种群生殖生态与稳定性机制研究. 生态学报, 2001, 21(2): 225-230.
- [5] 韩照祥, 山仑. 栓皮栎种群变异与适应对策研究. 林业科学, 2005, 412(6): 16-22.
- [6] 张文辉, 卢志军. 栓皮栎种群的生物生态学特性和地理分布研究. 西北植物学报, 2002, 22(5): 1093-1101.
- [7] 宋新章, 张智婷, 肖文发, 李冬生, 张慧玲. 长白山杨桦次生林采伐林隙幼苗更新动态. 林业科学, 2008, 44(3): 13-20.
- [8] 陈芳, 周志翔, 王鹏程, 李海防, 钟颖飞. 武汉钢铁公司厂区绿地绿量的定量研究. 应用生态学报, 2006, 17(4): 592-596.
- [9] 祁建, 马克明, 张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎叶属性的比较. 生态学报, 2008, 28(1): 122-128.
- [10] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 刺槐幼苗形态、生物量分配和光合特性对水分胁迫的响应. 北京林业大学学报, 2010, 32(1): 24-32.
- [12] 张文辉, 张存旭, 李景侠. 川西泡沙参种群地上生物量生长发育的研究. 西北植物学报, 1999, 19(5): 44-53.
- [13] 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.
- [14] 刘实, 李爱民, 郭春明, 刘玉敏, 郭巍, 姚渝丽. 北五味子物候的观测及气象要素影响. 东北林业大学学报, 2009, 37(12): 39-42.
- [17] 陈志刚, 樊大勇, 张旺锋, 谢宗强. 林隙与林下环境对锐齿槲栎和米心水青冈种群更新的影响. 植物生态学报, 2005, 29(3): 354-360.
- [18] 符婵娟, 刘艳红, 赵本元. 神农架巴山冷杉群落更新特点及影响因素. 生态学报, 2009, 29(8): 4179-4986.
- [21] 刘足根, 朱教君, 袁小兰, 谭辉. 辽东山区长白落叶松天然更新调查. 林业科学, 2007, 43(1): 42-49.

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