

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余丹, 叶勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉, 陈俊, 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林青, 曾军, 张涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊伟, 杨婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈涛, 常庆瑞, 刘京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111111707

杨允菲, 白云鹏, 李建东. 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新. 生态学报, 2013, 33(2): 0374-0381.

Yang Y F, Bai Y P, Li J D. Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0374-0381.

科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新

杨允菲*, 白云鹏, 李建东

(东北师范大学草地科学研究所植被生态科学教育部重点实验室, 长春 130024)

摘要:家榆是典型的风播植物, 在科尔沁沙地可以形成单一优势种林地。通过对林缘和孤立树不同方向从树基部向外的有序取样与林下和林窗的随机取样调查, 分析了家榆林下和林窗不同生境的种子沉降和幼苗分布特征、林缘和孤立树种子散布方向的差异性与规律性。结果表明, 家榆种子密度在林下生境阴坡和阳坡明显大于丘顶和丘底, 在林窗生境丘顶明显大于丘底。家榆向周围不同方向种子散布的距离和累积数量均有较大差异, 其中林缘和孤立树均以当地多逆风频率的西南方向最近, 累积数量也最少; 孤立树以多顺风频率的东北方向最远, 累积数量也最多。林缘和孤立树共 6 个方向断面从树基部向外单位面积种子数量频度均适合于韦伯分布和对数-正态分布 ($X^2_{(a)} < 0.500$) 密度函数, 具有相同的种子散布格局。家榆幼苗密度在林下阴坡明显大于阳坡, 林下和林窗均为丘顶明显大于丘底。林缘 19 m 内家榆幼苗呈连续分布。在科尔沁沙地, 如果不加限制或人为扰动, 家榆林不仅可以很好地进行自然更新, 而且可以在适宜的沙地生境逐渐扩大其分布空间。

关键词:家榆; 林下; 林缘; 孤立树; 种子散布; 幼苗更新; 风播植物

Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China

YANG Yunfei*, BAI Yunpeng, LI Jiandong

Key Laboratory of Vegetation Ecology, Ministry of Education, Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract: *Ulmus pumila*, a typical anemochorous plant, is the single dominant species of many woodlands in the Keerqin Sandy Land, China. To understand habitat differences in the characteristics of seed deposition and seedling distribution in *U. pumila*, we randomly surveyed the numbers of seed and seedlings in the habitats of both understory and the woodland gaps. We also measured the abundance of seed and/or seedlings along transects of different directions starting from the woodland edges and the bases of isolated trees to illustrate differences and regulation of seed dispersal directions on the woodland edges and isolated trees. For the understory habitats, *U. pumila* seed densities on either shady or sunny slopes were significantly higher than both at the top of sand dunes or on the bottom of sand dunes. For the canopy gaps, seed densities on the bottom of sand dunes were greater than at the top of sand dunes. The number and distance of seed dispersal differed apparently among directions with the least amount of cumulative number of seed dispersal and the nearest dispersal distance were observed in the southwest direction (southwesterly winds are prevailing winds for the studied area); whereas the greatest amount of cumulative number of seed dispersal and the farthest dispersal distance were observed in the northeast direction for both woodland edges and isolated *U. pumila* trees. In the six sampled directions, seed dispersal patterns of both woodland edges and isolated trees can be described by density functions of the Weibull distribution and the Log-normal distribution ($X^2_{(a)} < 0.500$). For the understory habitats, the seedling densities on the shady slope were higher than on the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31170504, 30770397); 高等学校博士学科点专项科研基金 (20110043110005)

收稿日期: 2011-11-11; 修订日期: 2012-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangyf@nenu.edu.cn

sunny slope. We also observed that the seedling densities at the top of sand dunes were greater than on the bottom of sand dunes for both the understory habitats and gaps. The seedlings were continuously distributed within a range of 19 m starting from the woodland edges. In the Keerqin Sandy Land, without restrictions and human disturbance, *U. pumila* woodlands could not only be renewed naturally but also gradually expand its distribution in suitable habitats.

Key Words: *Ulums pumila*; understory; woodland edge; isolated tree; seed dispersal; seedling recruitment; anemochorous plant

植物的种群更新和生态位空间扩展依赖于繁殖体的传播,植物的繁殖体具有多样性,除了有性生殖的种子,还有营养繁殖的构件^[1],虽然营养繁殖的构件更有利于种群更新,但对生态位空间扩展的可动性是非常有限的,其种群更大的空间扩展仍依赖于种子散布^[2-3]。在漫长的趋同适应和进化过程中,植物形成了借助各种传播因子的种子散布类型^[1]。其中,风播植物是易于远距离传播的重要类型之一,容易将种子传播到其他群落。虽然风播植物受风向、风速和立地条件影响,其种子散布过程较为复杂^[4-5],但从种子源向外扩散往往具有某些规律性格局^[6-8],便于定量描述和预测群落动态^[9-12],甚至开展种群生活史策略等进化生态学机理的深入分析^[13-14]。所以,有关风播植物种子散布的研究迄今已有大量报道^[15-22]。

家榆(*Ulums pumila*)是科尔沁沙地原生森林植被类型最具有代表性的建群种^[23],果实具宽翅,是典型的风播植物。历史上广泛形成大面积单一优势种家榆林,但目前很少连片分布,只在沙丘连绵、地形起伏多样的局域地段保留原植被景观,大部分被农田切割为岛屿状分布,或完全被人工杨树林所替代。尽管如此,这些残余家榆林对于维护立地乃至沙地区域生态平衡及生物多样性等仍在发挥着重要的作用。

本研究以科尔沁沙地具有代表性的原生家榆林为对象,通过对林缘和孤立株不同方向从基部向外的有序取样与林下不同生境的随机取样调查,分析家榆林内和不同方向林缘的种子沉降特征;林缘和孤立树的种子散布格局,以及林下不同生境和林缘不同距离的幼苗分布特征等,揭示家榆林的维持与更新现状,为家榆林保护提供科学参考。

1 研究地点和方法

1.1 研究区的自然概况

研究区位于吉林省西部的前郭尔罗斯蒙古族自治县查干花种畜场三场(44°36.385' N, 124°06.521' E)。该区属北温带大陆性季风气候,年平均气温 4.5 °C, 1 月份极端最低气温 -36.1 °C, 7 月份极端最高气温 37 °C, 无霜期 135—140 d, 年降雨量 400—500 mm 之间,多集中在 7、8 月份,约占全年降水量的 2/3。春季多风,春夏秋三季以西南风为主,冬季则多刮西北风,5 月份平均风速为 4.1 m/s^[24]。研究样地为起伏较大而不宜开垦的固定沙丘群,面积在 500 hm² 左右,是现时保存较好的榆树疏林“岛屿”,具有原生外貌景观,最大树龄在 60a 以上。家榆成株树干弯曲,中上部多分枝,不同龄株高差异不大,为 6—8 m,但主径和树冠幅有较大差异,在沙丘的阴坡和阳坡家榆主径较粗,树冠较大;而生长在丘顶和丘底的植株相对主径较细,树冠较小。土壤类型为风沙土。群落中木本层种类构成简单,除建群种家榆外,仅伴生少量黄榆(*Ulmus macrocarpa*)、桑(*Morus alba*)、山杏(*Amygdalus sibirica*)。层间植物有草白薹(*Ampelopsis aconitifolia*)。草本层以狗尾草(*Setaria viridis*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)和绿珠藜(*Chenopodium acuminatum*)、黄蒿(*Artemisia scoparia*)等一年生、二年生植物为优势类群,伴生糙隐子草(*Celestogenes squarrosa*)、燕麦芨芨草(*Achenatherum avinoides*)、羊草(*Leymus chinensis*)等多年生植物^[23]。林缘开阔地多为放牧场,面积大的多开垦为农田。

1.2 种子散布取样

2009 年 5 月 30 日,在家榆种子全部脱落后分别做如下取样:

1) 林下和林窗的随机取样。按沙丘部位,林下设置 4 个小生境的样地:阳坡、阴坡、丘顶、丘底,各样地

的家榆生长较为均匀一致,郁闭度为 0.7 以上,株距 1.4—3.2 m,地表覆盖枯叶和 1 年生草本枯株;林窗设置 2 个小生境样地,丘顶为草层盖度在 30% 左右的黄蒿群落,面积为 20 m×40 m,丘底为草层盖度在 80% 左右的糙隐子草+羊草群落,面积为 20 m×50 m。每个样地取样均 10 次重复。

2) 林缘和孤立树的顺序取样。用 GPS 仪定位方向。在不少于 80 m 开阔且地表相对平坦、草层盖度在 60%—80% 左右的林缘草地作为样地。由于这样的地段多数被开垦为农田,所以林缘仅东南和西南 2 个方向符合取样标准,每个方向 3 个纵断面重复。为了真实反映风向对家榆种子散布的影响,结合当地的风向特点,以半径不少于 50 m 且具有代表性和地表平坦的结实成株孤立树(树高 8 m 左右)作为样本,3 株重复,按顺(东北)、逆(西南)风向及其他方向的取样。同林缘一样,由于局部地形的原因或被开垦,在其他方向中仅有西北、东南 2 个方向符合取样标准,全体顺序取样均从树基部开始,用米尺向外拉一条样线,每 1 m 设一个样方做各纵断面的单位面积取样,至不再出现家榆的翅果为止。全部调查样方的面积均为 20 cm×20 cm。计数样方内完整而没有霉变,即当年落下的白色或淡黄色的家榆翅果(种子)数量。

1.3 幼苗更新取样

2009 年 8 月 15 日,家榆幼苗已经生长为 15—20 cm,个别已经出现分枝。在沙丘的阳坡和阴坡、沙丘顶上和底下的林下,以及沙丘顶上和底下的林窗,即种子沉降调查的 6 个生境,分别做家榆实生苗数量的随机调查,10 个样方重复;在林缘,先用米尺拉出一个 1 m 宽,20 m 长的样线断面,再从树基部开始向外每 1 m 作为一个调查样方,顺序记录家榆实生苗数量,3 个断面重复。全部调查样方的面积均为 1 m×1 m。

1.4 数据分析

分别将取样面积的种子数量换算为常规的 1 m² 单位面积的数量。统计林下和林窗种子和实生苗数量、林缘和孤立树不同方向断面累积单位面积种子数量,并做其生境或不同方向的多重比较。林缘和孤立树各方向单位面积种子数量先计算出重复取样的平均值后,再分别计算其相对频率:

$$F = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \times 100\%$$

式中, F 为 i 距离种子的频度; x 每单位面积的种子数; $\sum x$ 为各距离单位面积种子数之和; $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

根据统计分布原理^[25],拟采用 2 种理论分布的密度函数形式来反映不同方向断面依次远离种子源单位面积的种子散布频度的格局。

(1) 韦伯分布

$$f(x; \alpha, \beta, \mu) = \frac{\alpha}{\beta} (x - \mu)^{\alpha-1} e^{-\left[\frac{x-\mu}{\beta}\right]^\alpha}, 0 \leq x \leq +\infty$$

式中, $\alpha > 0$ 为形状参数; $\beta > 0$ 为尺度参数; $\mu \geq 0$ 为位置参数。

(2) 对数-正态分布

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x)^2}{2\sigma^2}}, x > 0$$

式中, μ 和 σ 分别为自然对数的平均数和标准差。

对林缘和孤立树各方向断面远离种子源单位面积种子散布的观测值和由韦伯分布理论频度还原的期望值逐一做相关性分析。利用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 统计软件(Version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)处理与分析数据

2 结果与分析

2.1 林下和林窗的种子沉降特征

家榆种子沉降的密度,林下以阴坡和阳坡明显大于丘顶和丘底,林窗又以丘顶明显大于丘底(图 1)。其中,林下的丘底又明显大于和丘顶。竖线的标准误也可以在一定程度上反映生境内种子分布的均匀性,从图 1 还可以看出,在林下,阴坡和阳坡种子沉降的数量较丘顶和丘底的变异性大,在林窗丘顶较丘底的变异

性大,反映了种子密度越大越不均匀的种子沉降特征。

2.2 林缘和孤立树不同方向的种子沉降特征

家榆向周围不同方向种子连续散布的距离,林缘 2 个方向和孤立树 4 个方向(图 2)均以当地多逆风频率的西南方向最近,分别是 15 m 和 13 m,并且累积数量均最少,分别为 (1383.3 ± 147.4) 粒和 (683.3 ± 122.8) 粒;孤立树以多顺风频率的东北方向最远,为 25 m,并且累积数量也最多,为 (6191.7 ± 733.2) 粒,孤立树的东南方向也显著多于西南方向,达 4.2 倍。由此反映了家榆不同方向种子沉降的不均匀性特征。

2.3 林缘和孤立树不同方向种子散布格局

经韦伯分布和对数-正态分布 2 种理论分布密度函数参数拟合的适合性检验,无论林缘,还是孤立树的各个方向顺序远离种子源散布到各单位面积种子数量频度均达到了极适合水平($X^2_{(\alpha)} < 0.500$)。其中,又均以韦伯分布密度函数拟合的普遍更好(表 1)。各方向纵断面单位面积种子散布的平均观测值频率及其韦伯

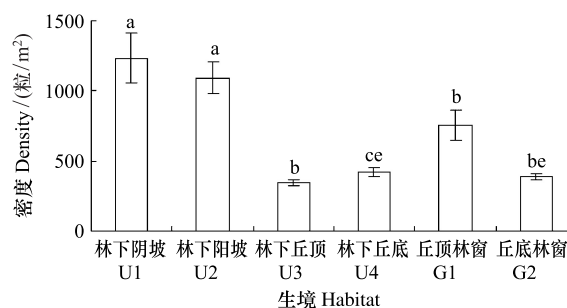


图 1 不同生境家榆的种子密度($M \pm SE$, 不同字母在 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著)

Fig. 1 The densities of seeds of *Ulmus pumila* in different habitats (Means $\pm$ standard error, the different letter means significant difference at $P \leq 0.05$; U1: understory in the shade slope sand dune, U2: understory in the sunny slope sand dune, U3: understory at the top of sand dune, U4: understory on the bottom of sand dune, G1: canopy gap at the top of sand dune, G2: canopy gap on the bottom of sand dune, the same below)

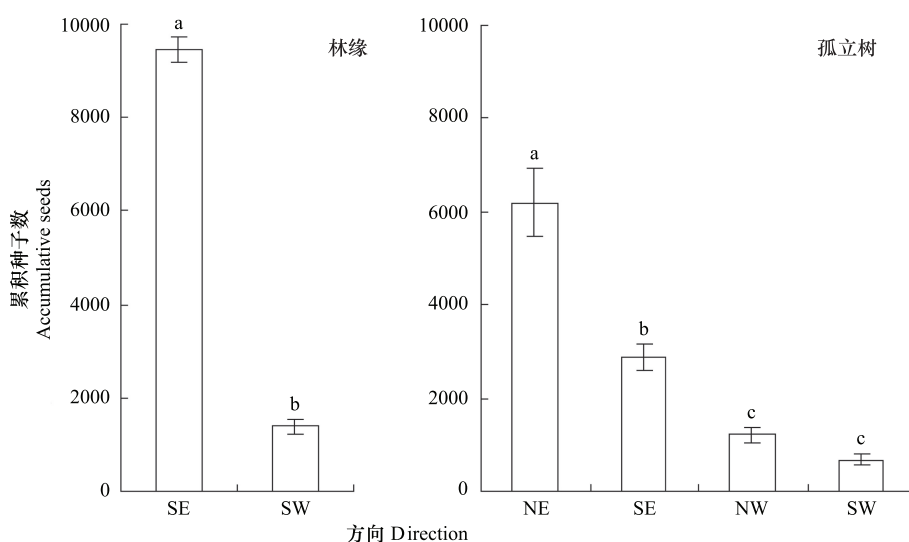


图 2 林缘和孤立树不同方向纵断面单位面积累积的家榆种子数量

Fig. 2 The total cumulative seeds of *Ulmus pumila* per unit area away from seed source in woodland edges and isolated tree along vertical sections of different directions

分布拟合曲线见图 3,各方向密度平均观测值和由韦伯分布理论频度还原的期望值及其极显著($P < 0.01$)的相关性直线见图 4。由此反映了尽管家榆不同方向种子沉降的数量有较大差异,但仍具有相同的种子散布格局。

2.4 不同生境和林缘的幼苗数量特征

经统计比较,家榆幼苗的密度,林下以阴坡明显大于阳坡、丘顶明显大于丘底,林窗也是丘顶明显大于丘底(图 5);林缘 3 个样带在 19 m 内实生苗密度的平均值呈连续性分布,在 15 m 处出现最大值 (12.0 ± 5.7) 株/ m^2 ,既没有规律性变化,不同间距实生苗 (0.3 ± 0.3) — (12.0 ± 5.7) 株/ m^2 的差异大多数也均未达到显著水平($P > 0.05$)(图 5);此外,从其标准误差线也可看出,各生境及林缘不同距离的变异性均较大,反映了家榆

幼苗分布的不均匀性特征。

表 1 林缘和孤立树不同方向纵断面家榆种子散布频度的两种分布参数与 χ^2 检验

Table 1 Parameters and χ^2 tests of two distribution types on seed dispersal frequency of *Ulmus pumila* away from tree bases in woodland edges and isolated trees along vertical sections of different directions

分布类型 Distribution type	参数及检验 Parameters and tests	林缘 Woodland edge		孤立树 Isolated tree			
		Southeast <i>n</i> = 21	Southwest <i>n</i> = 15	Northeast <i>n</i> = 25	Northwest <i>n</i> = 16	Southeast <i>n</i> = 19	Southwest <i>n</i> = 13
韦伯分布 Weibull distribution	α	1.8431	1.5013	1.7011	1.2617	1.4461	1.3433
	β	7.8969	5.1515	10.2388	5.2053	7.2829	4.2633
	μ	1.7321	1.2559	1.9651	1.2017	1.5743	1.0289
	χ^2	5.1885	3.0897	4.7232	7.3952	4.5918	8.7537
	$\chi^2_{(\alpha)}$	<0.995	<0.995	<0.995	<0.900	<0.995	<0.500
对数正态分布 Logarithm-normal distribution	μ	1.8454	1.4331	2.2644	1.3999	1.7174	1.2492
	σ^2	0.6431	0.6737	0.7195	0.7699	0.7581	0.7055
	χ^2	18.0240	3.5963	15.1984	5.9609	6.1212	4.4411
	$\chi^2_{(\alpha)}$	<0.500	<0.990	<0.750	<0.950	<0.990	<0.950

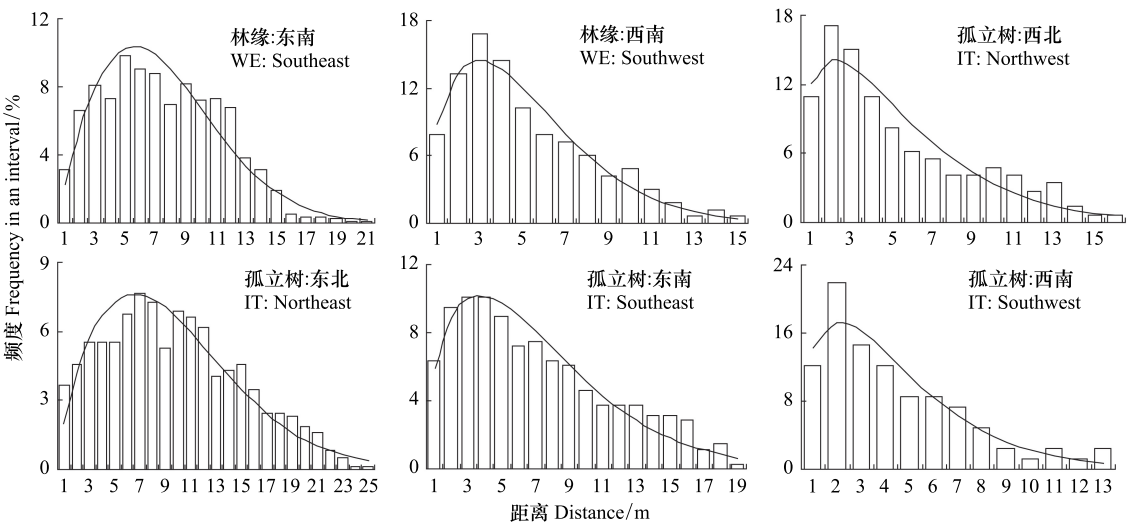


图 3 林缘和孤立树不同方向纵断面单位面积家榆种子散布的平均观测值频率及其韦伯分布拟合曲线

Fig. 3 The seed dispersal frequencies of observed average values (column) of *Ulmus pumila* per unit area and the expected curves of Weibull distribution away from seed source in woodland edges (WE) and isolated trees (IT) along vertical sections of different directions

3 结论与讨论

家榆种子沉降的空间变异性在生境间和生境内将分别具有不同的作用因素。其中，不同生境间种子沉降数量的差异主要与种子源量的差异有关。一般是植株越大，结实越多，样地内沙丘的阴坡和阳坡小生境的家榆植株普遍比丘顶和丘底小生境的大，致使种子密度出现林下以阴坡和阳坡明显大于丘顶和丘底的空间变异。而同一小生境种子分布的均匀性则与种子再传播有关。家榆翅果具典型的风播表型，沉降于地表后，受大地形、微地形，以及地表的覆盖或裸露程度等不同影响，一些种子还将二次或多次传播^[3-4]。沙丘坡的微地形较丘顶和丘底更复杂多样，种子的可动性也更大；盖度小的丘顶林窗要比盖度大的丘底林窗种子的可动性更大，致使这些小生境内种子分布更不均匀。

林缘 2 个方向在 15—21 m 内、孤立树 4 个方向在 13—25 m 内，家榆的种子呈连续分布，不同方向的散布距离及其断面累积单位面积的种子数量均存在不同程度的差异。这主要是种子脱落时的风向和风速的差异所致，因为风速的大小将会影响种子传播距离，风向将会影响不同方向种子沉降的数量，通常顺风向频率

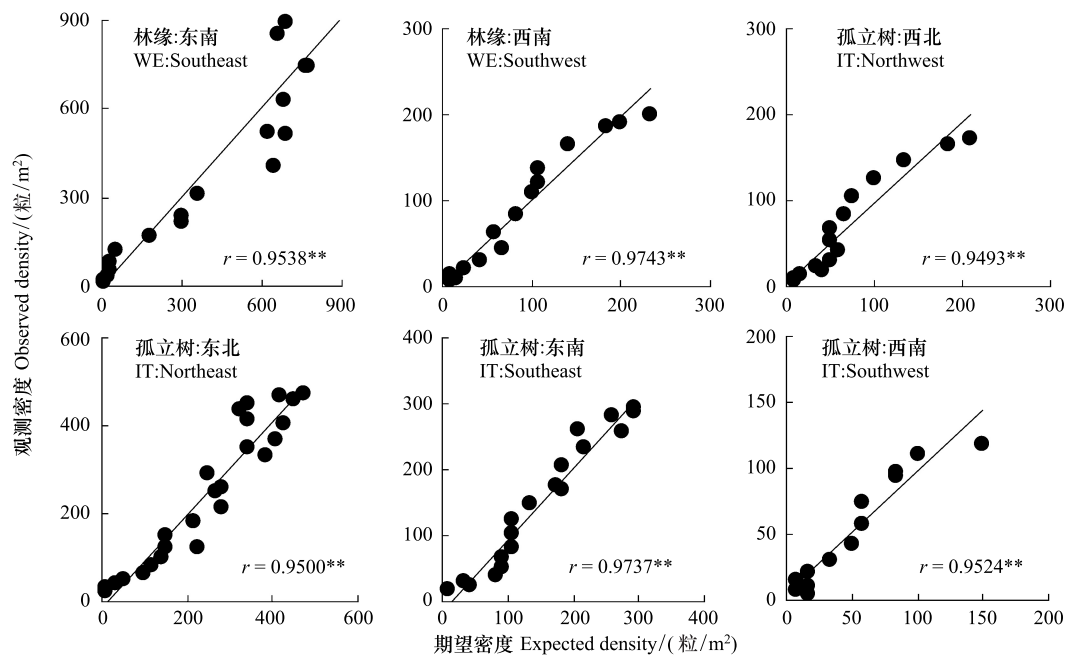


图4 林缘和孤立树各方向纵断面家榆种子密度观测值与韦伯分布理论频度还原的期望值的相关性

Fig. 4 Correlation on between observed values of seed densities of *Ulmus pumila* and the restored expected values through theoretical frequency of Weibull distribution in woodland edges (WE) and isolated trees (IT) along vertical sections of different directions

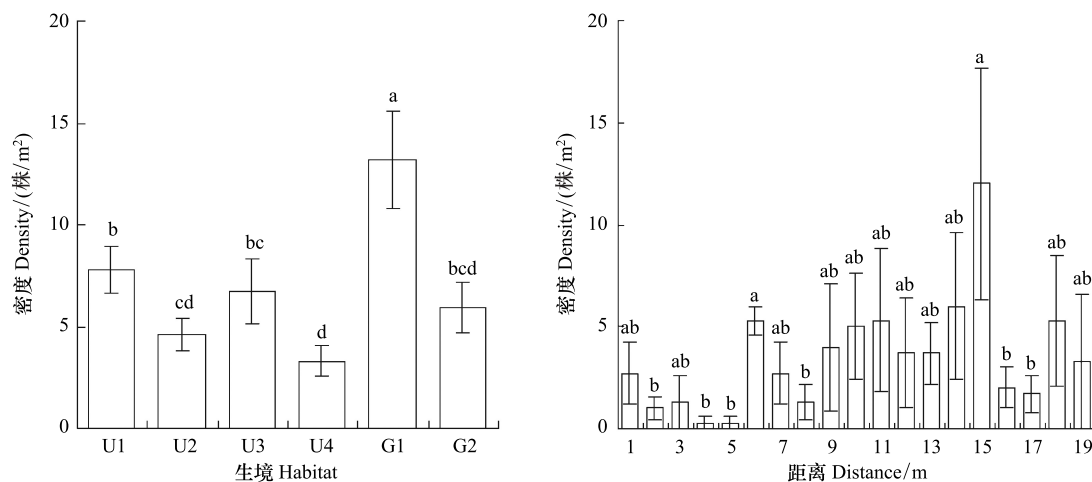


图5 不同生境和林缘不同距离家榆幼苗密度

Fig. 5 The seedling densities of *Ulmus pumila* in the different habitats and in different distance of woodland edges

大的方向将大于逆风向的方向^[13-14, 26]。家榆孤立树以东北方向最多、最远,林缘和孤立树均以西南方向最少、最近。这恰好与该地区夏初多刮西南风^[24],东北属于多顺风频率的方向,西南则为多逆风频率的方向相一致。

在家榆林缘和孤立树的6个方向上,顺序远离家榆种子源散布到各单位面积种子数量的频度同时适合于韦伯分布和对数-正态分布,意味着尽管受风向和风速的影响,家榆向不同方向散布的种子数量和距离和数量均存在或大或小的差异,但散布格局却是一致的。在种子散布格局的定量刻画模型中,韦伯分布的密度函数拟合的形状参数 α 的大小范围可以很好地解释种子散布机制^[14, 26]。即将 $\alpha < 1$ 时视为“近距离”种子散布, $\alpha > 1$ 时视为“远距离”种子散布, $\alpha = 1$ 时视为“随机距离”种子散布。林缘和孤立树6个方向家榆种子散布的韦伯分布参数同时出现 $\alpha > 1$,表明在科尔沁沙地自然条件下,无论是林缘还是孤立树,无论是顺风向

还是逆风向,家榆均具有稳定的“远距离”种子散布机制。

在种子散布两个半月以后,研究样地家榆实生树苗在林下和林窗 6 个生境内均有大量分布,在林缘 19 m 内的每 1 m 的间距中呈连续性分布,意味着家榆林不仅具有较强的幼苗更新力,也具有较大的空间扩展力。但是,目前在林缘很少见到不同龄级的幼株,这可能与频繁放牧的人为扰动有关。仅就家榆同生群幼苗在较大范围内呈连续性较高密度分布的现象,不难解释在科尔沁沙地天然条件下目前仍具备着形成单一优势种家榆林的生物学基础。由此也可以推测:如果不加限制和人为扰动,在历史上曾形成大片家榆林的科尔沁沙地,现存的家榆林仍可以很好地进行自然更新,仍可以在适宜的沙地生境逐渐扩大其分布空间。

经统计分析,无论林下还是林缘,种子沉降的数量与幼苗数量之间并没有相关性,这可能与幼苗调查时间有关。因为植物在苗期抗逆性弱,家榆为短命种子,在适宜的条件下,落地的种子很快就萌发,幼苗却极少能存活下来。有关家榆幼苗在干旱春季自然萌发与存活状况有待深入研究。

References:

- [1] Drake D R. Relationships among the seed rain, seed bank and vegetation of a Hawaiian forest. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9(1): 103-112.
- [2] Sagnarda F, Pichota C, Dreyfusa P, Jordano P, Fady B. Modelling seed dispersal to predict seedling recruitment: recolonization dynamics in a plantation forest. *Ecological Modelling*, 2007, 203(3/4): 464-474.
- [3] Howe H F, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1982, 13: 201-228.
- [4] Nathan R, Safriel U N, Noy-Meir I, Schiller G. Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* Trees. *Ecology*, 2000, 81(8): 2156-2169.
- [5] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. Effects of seed size on dispersal distance in five rodent-dispersed fagaceous species. *Acta Oecologica*, 2005, 28(3): 221-229.
- [6] Fernando B, Salvador T. Temporal and spatial patterns of seed dispersal in two *Cistus* species (Cistaceae). *Annals of Botany*, 2002, 89(4): 427-434.
- [7] Zhang Y B, Li J W, Zhang H, Zou D L, Wu F P, Cheng C L, Li J Q, Li S Y. Spatiotemporal patterns of seed dispersal in *Populus euphratica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1994-2000.
- [8] Han Y Z, Wang Z Q. Spatial pattern of Manchurian ash seed dispersal in secondary hardwood forests. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(1): 51-57.
- [9] Peart D R. Species interactions in a successional grassland. I. Seed rain and seedlings recruitment. *Journal of Ecology*, 1989, 77: 236-251.
- [10] Moles A T, Drake D R. Potential contribution of the seed rain and seed bank to regeneration of native forest under plantation pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 1999, 37(1): 83-93.
- [11] Godoy J A, Jordano P. Seed dispersal by animals: exact identification of source trees with endocarp DNA microsatellites. *Molecular Ecology*, 2001, 10(9): 2275-2283.
- [12] Zou L, Xie Z Q, Li Q M, Zhao C M, Li C L. Spatial and temporal pattern of seed rain of *Abies fargesii* in Shennongjia Nature Reserve, Hubei. *Biodiversity Science*, 2007, 15(5): 500-509.
- [13] Yang Y F. The study on seed dispersal of *Puccinellia tenuiflora* on alkalization meadow in the Songnen Plain of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(3): 288-290.
- [14] Yang Y F, Zhu L. Pattern of seed dispersal of *Hordeum brevisubulatum* of alkalized meadow in Songnen Plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36(8): 636-644.
- [15] Dow B D, Ashley M V. Microsatellite analysis of seed dispersal and parentage of samplings in bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Molecular Ecology*, 1996, 5(5): 615-627.
- [16] He T H, Krauss S L, Lamont B B, Miller B P, Enright N J. Long-distance seed dispersal in a metapopulation of *Banksia hookeriana* inferred from a population allocation analysis of amplified fragment length polymorphism data. *Molecular Ecology*, 2004, 13(5): 1099-1109.
- [17] Nathan R. Long-distance dispersal of plants. *Science*, 2006, 313(5788): 786-788.
- [18] Schnabel A, Nason J D, Hamrick J L. Understanding the population genetic structure of *Gleditsia triacanthos* L.: seed dispersal and variation in female reproductive success. *Molecular Ecology*, 1998, 7(7): 819-832.
- [19] Michael E. Seed Ecology. London and New York: Chapman and Hall, 1985: 57-116.
- [20] Liu Z G, Zhu J J, Yuan X L, Wang H X, Tan H. On seed rain and soil seed bank of *Larix olgensis* in montane regions of eastern Liaoning

- Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 579-587.
- [21] Liu J M, Zhong Z C. Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis fargesii* community of Fanjing Mountain. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2000, 24(4): 402-407.
- [22] Yang Y F, Bai Y P, Li J D, Li L. Spatial patterns of the seed dispersal in *Hemiptelea davidii* woodland in Keerqin sandy land, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 1967-1973.
- [23] Li J D, Yang Y F. Structure of different types on components of plant species in *Ulmus* open forest in the Songnen Plains of China. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(4): 277-282, 300-300.
- [24] <http://www.weather.com.cn/cityintro/101060801.shtml>
- [25] Fang K T, Xu J L. *Statistical Distribution*. Beijing: Science Press, 1987: 283-298.
- [26] Yang Y F, Zhu L. Analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia chinampoensis* on alkalized meadow in Songnen Plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(3): 222-230.

参考文献:

- [7] 张玉波, 李景文, 张昊, 邹大林, 武逢平, 程春龙, 李俊清, 李帅英. 胡杨种子散布的时空分布格局. *生态学报*, 2005, 25(8): 1994-2000.
- [8] 韩有志, 王政权. 天然次生林中水曲柳种子的扩散格局. *植物生态学报*, 2002, 26(1): 51-57.
- [12] 邹莉, 谢宗强, 李庆梅, 赵常明, 李传龙. 神农架巴山冷杉种子雨的时空格局. *生物多样性*, 2007, 15(5): 500-509.
- [13] 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸星星草种子散布的研究. *生态学报*. 1990, 10(3): 288-290.
- [14] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸野大麦的种子散布格局. *植物学报*, 1994, 36(8): 636-644.
- [20] 刘足根, 朱教君, 袁小兰, 王贺新, 谭辉. 辽东山区长白落叶松 (*Larix olgensis*) 种子雨和种子库. *生态学报*, 2007, 27(2): 579-587.
- [21] 刘济明, 钟章成. 梵净山栲树群落的种子雨、种子库及更新. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 402-407.
- [22] 杨允菲, 白云鹏, 李建东, 李丽. 科尔沁沙地刺榆种子散布的空间格局. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 1967-1973.
- [23] 李建东, 杨允菲. 松嫩平原榆树疏林植物组成的结构型. *草地学报*, 2003, 11(4): 177-282, 300-300.
- [25] 方开泰, 许建伦. *统计分布*. 科学出版社, 1987: 283-298.
- [26] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸朝鲜碱茅种子散布机制的分析. *植物学报*, 1995, 37(3): 222-230.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005	HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
Combined effects of elevated O ₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat	ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
Resource and Industrial Ecology	
The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland	GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau	CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation	WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions	LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
Urban, Rural and Social Ecology	
The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component	LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study	DAI Yanan, HE Xinguang (595)
The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress	ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake	SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil	WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
Effects of CA and EDTA on growth of <i>Chlorophytum comosum</i> in copper-contaminated soil	WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
Research Notes	
Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay	ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
Variations of <i>Leymus chinensis</i> community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors	TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in <i>Larix olgensis</i> Henry. seedlings	WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元