

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

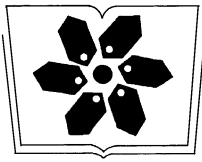
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

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 32 卷 第 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张 荣, 刘 彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201107161059

吕朝燕, 张希明, 刘国军, 吴俊侠, 闫海龙, 邓潮洲. 准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征. 生态学报, 2012, 32(19): 6270-6278.

LÜ C Y, Zhang X M, Liu G J, Wu J X, Yan H L, Deng C Z. Characteristics of seed rain of *Haloxylon ammodendron* in southeastern edge of Junggar Basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6270-6278.

准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征

吕朝燕^{1,2}, 张希明^{1,*}, 刘国军¹, 吴俊侠^{1,2}, 闫海龙^{1,3}, 邓潮洲^{1,4}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 新疆维吾尔自治区发展和改革委员会经济研究院, 乌鲁木齐 830002; 4. 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市环境监察支队, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 为了研究梭梭种子散布规律, 通过布设种子雨收集器结合室内实验分析, 对准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征进行了研究。研究显示: (1) 梭梭种子雨的累积密度达到平均 189 粒/m², 其中有活力种子占约 80%; (2) 种子散布的高峰集中在 11 月初到 11 月 15 日时间段, 其落种量占整个种子雨的 65%。其后种子雨密度随时间逐渐减小; (3) 整个种子雨过程, 不同时期散落的种子雨质量存在差异, 表现为不同时期散落种子的萌发率呈现出先增大后减小的趋势; (4) 变异函数分析表明, 梭梭种子雨在 8.12 m 的有效变程内, 种子雨具有明显的空间格局, 其由空间自相关和随机因素引起的空间异质性各占 50.0%。准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨密度大且质量较高, 同时其时空分布异质性较高, 这些特征均将影响梭梭种群的分布格局和种群更新。

关键词: 梭梭种群; 种子雨密度; 时间动态; 空间格局; 准噶尔盆地

Characteristics of seed rain of *Haloxylon ammodendron* in southeastern edge of Junggar Basin

LÜ Chaoyan^{1,2}, ZHANG Ximing^{1,*}, LIU Guojun¹, WU Junxia^{1,2}, YAN Hailong^{1,3}, DENG Chaozhou^{1,4}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Academy of Economy Research, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Development and Reform commission, Urumqi 830002, China

4 Environmental Monitoring Detachment of Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract: The Junggar Basin, located in the northern part of Xinjiang Autonomous Region, China, lies at the northern edge of the arid region in northwestern China. The Gurbantünggüt Desert, in the middle of the basin, makes up the main part of the Junggar Basin. The most concentrated populations of *Haloxylon ammodendron*, an important species for stabilizing desert ecosystems, are in the Junggar Basin. This study looked at seed rain patterns of this species in the southeastern edge of the Junggar Basin. Precipitation rarely occurs in this area of high temperatures. This basin is mainly composed of fixed and semi-fixed sand dunes so the natural environment of this species is quite fragile. *H. ammodendron* is a special desert shrub which grows larger than other desert shrubs. It is the most important native species here and is very well adapted a variety of harsh desert environments. This key species is widely distributed in gaps between the fixed and semi-fixed sand dunes and also grows into the lower part of the fixed and semi-fixed sand dunes and even forms pure forest. The local desert vegetation dominated by *H. ammodendron*, called *H. ammodendron* forest, provides a green barrier which benefits local economic and social development, and has significant effects on maintaining and stabilizing the local desert ecosystem. The key to sustainably maintaining and developing local desert vegetation is achieving natural regeneration of *H. ammodendron*. The seed is both the starting and end point of the plant life cycle. The stage at which seed rain occurs, an

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30870472, 31000195)

收稿日期: 2011-07-16; 修订日期: 2012-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhxm@ms.xjb.ac.cn

important phase of the plant life cycle, is the key link to natural regeneration, directly impacting the spread of plant seeds and decisively influencing seed germination, seedling survival, plant growth and a series of ecological processes. The seed rain of *H. ammodendron* on the southeastern edge of the Junggar Basin was studied by laying seed rain traps and using laboratory experiments. The aim was to survey the temporal dynamics and spatial distribution of seed rain to determine the laws and factors impacting seed dispersal. This study focused on the quality and quantity of seeds during different phases of seed rain. The results show (1) the cumulative annual seed rain intensity reached 189 seeds/m², although in some small local environments it reached as high as 2413 seeds/m² with viable seed comprising 80% of the total seed rain. (2) The peak period of seed rain was early November, producing 65% of the total seed rain. Subsequently seed rain density decreased gradually with time. The seed rain density stabilized in early December and the process of seed rain essentially ended by mid-January. (3) Seed quality varied considerably during the process of seed rain and the germination rate of seeds dehiscing in different times tended to increase at first and then decreased later. The highest quality seeds fell in early December and had a germination rate as high as 82.57%. (4) Semivariogram analysis revealed significant spatial seed rain patterns within an effective range of 8.12 m; 50.0% of the spatial heterogeneity was caused by spatial autocorrelation and 50.0% was caused by random factors. In summary, *H. ammodendron* produces a high quality and high intensity seed rain at the southeastern edge of the Junggar Basin with a relatively high temporal and spatial heterogeneity. These characteristics would be expected to influence the distributional patterns and regeneration of *H. ammodendron* populations.

Key Words: *Haloxylon ammodendron* population; seed rain intensity; time dynamic; spatial distribution; Junggar Basin

植物的自然更新影响着群落的物种组成和动态变化,是种群得以增殖、扩散、延续和维持群落稳定的一个重要生态过程^[1]。种子植物自然更新的过程大致包括以下 3 个阶段或时期:种子生产、种子运动(主要为种子扩散的过程)和种子在适宜的地点萌发、建成,最后发育为成熟植物^[2]。种子雨指种子成熟后在特定时间和空间内依靠自身的重力和外界力量(如风力等)从母株上降落到地面的过程^[3]。种子雨阶段是植物自然更新的关键环节,直接影响到植物种子的散布^[4],进而对种子萌发、幼苗存活、生长等一系列生态过程产生决定性的影响^[5-7]。它影响种子密度、被捕食率、种子与母树的距离、种子到达的生境类型以及建成的植株将与何种植物竞争等,从而影响幼苗的存活和建成,最终影响植物种群的生长和繁衍^[8-10]。它代表种子的扩散运动及寻求最佳的萌发时间和空间的过程^[11]。由于种子雨格局受到植物物候、果实或种子特征(如大小、形态和开裂方式)等自身特性和外界环境(如风、动物等传播媒体)的影响,不同植物以及同一植物不同种群之间都可能存在着差异,而这些差异正是物种或种群对特定环境长期适应的结果^[12]。因此,认识不同区域种群种子雨的时空格局特征,对于种群的繁殖、种群的扩展、种群遭破坏后的恢复和物种抵抗不良环境有着重要意义。

国外关于植物种子雨的研究起步较早,始于 20 世纪 30 年代^[5]。曾有学者对桉(*Encalyptus regrou*)^[13]等种子雨的空间分布特征,以及对禾草^[14]、北美五针松(*Pinus strobus*)^[15]等种子雨的时间动态特征进行过研究,对种子的传布能力也有过研究^[16]。20 世纪 70 年代之后出现了对植物种子扩散研究的热潮^[17-19]。近年来国内学者也开始关注这一领域,研究对象涉及森林和草地,涵盖种群、群落等不同的尺度。研究内容主要涉及种子雨散布的时间动态和空间格局^[20-21],种子雨与动物捕食及种子的后扩散^[22-23],种子雨与幼苗建成和更新^[24-25],等方面。

梭梭[*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey) Bunge], 是藜科(Chenopodiaceae)梭梭属(*Haloxylon* Bunge)灌木或小乔木,是一种典型的沙生植物和优良的防风固沙种质材料^[26]。准噶尔盆地是我国梭梭分布最集中的地区,约占我国梭梭总面积的 68.2%^[27]。准噶尔盆地东南缘自然条件恶劣,生态环境脆弱,以梭梭为优势种的植物群落是当地经济与社会发展的绿色屏障,对于当地荒漠生态系统的稳定与维持意义重大。然而,由于人类活动的破坏,梭梭在该地区退化明显,为国家渐危三级保护植物^[28]。以前的学者对梭梭地理分布、生物学

和生理生态学特性^[29-32]进行了大量的研究。但针对梭梭种群种子雨时空分布规律的研究尚未见报道。本文选择准噶尔盆地东南缘严酷自然环境下的梭梭种群,结合野外观测和室内实验,对梭梭种子雨的时空动态以及不同落种期种子的数量和质量特征进行了深入分析,以期对梭梭种群的研究提供科学的数据支持,促进梭梭种群的保护和科学利用。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于准噶尔盆地东南缘奇台县西北湾牧场与古尔班通古特沙漠交错带奇台县荒漠化防治站(44°11.401'N, 89°33.357'E)附近。该区属中温带大陆性气候,夏季炎热,冬季寒冷,干燥少雨。年平均气温 4.7℃,7 月极端最高气温 43℃,1 月极端最低气温 -42.6℃,年平均降水量 176 mm,蒸发量 2141 mm,无霜期平均 156 d。地下水潜水位 2—3 m,且随季节略有变动。土壤类型主要为风沙土。植物群落以梭梭(*Haloxylon ammodendron*)为优势种,伴生有白梭梭(*Haloxylon persicum*)、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、淡枝沙拐枣(*Calligonum leucocladium*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarium*)、对节刺(*Horaninovia ulicina*)等^[33]。

1.2 研究方法

1.2.1 种子雨样品收集

在古尔班通古特沙漠边缘选择一条东西向沙垄,在它们之间的丘间地上的天然生梭梭林设置样地。样方呈东西向,南北宽 25 m,东西长 150 m。种子收集器的布置采用典型网格法,以 5 m 为间隔,在样方中均匀布置,共布设 96 个收集器。种子雨收集器由周长 1 m 的铁丝围成的圆形收集框和网目 1 mm 的尼龙网组成。圆形收集框由 3 根长约 40 cm 的铁条支撑。收集器框口离地面距离为 30 cm,尼龙网底部离收集框框口 25 cm,离地面约 5 cm。种子雨收集器的布设于 2008 年 10 月 20 日完成。

种子收集工作自 2008 年 11 月初种子自然下落起,至 2009 年 1 月中旬种子雨基本结束止。将收集器中所收集到的种子、同化枝和其他凋落物一同带回。对收集物进行人工分拣,统计种子的数量。

1.2.2 种子质量检测

把不同时间收集到的种子用于种子萌发以测定其生活力。将 50 粒种子均匀放入底部垫有两层滤纸的直径 90 mm 的培养皿中,加入蒸馏水至滤纸饱和,盖上盖子,置于光照培养箱中,每天记录培养皿中萌发的种子的数量并将已萌发的种子拣出。种子萌发实验持续 10 d,每一处理 4 个重复。萌发条件为 10℃ 恒温,每天光照 12 h^[34]。

1.3 数据处理

1.3.1 种子雨密度的计算

种子雨密度 = 种子数量 / 收集面积

1.3.2 种子雨的空间分析

种子雨的空间分布用变异函数^[35]的主要参数块金值、基台值、尺度、空间结构比等来反映,并以此为基础用插值法,分析了空间格局。变异函数的主要参数的计算使用了 GS+ 7.0 软件。

1.3.3 数据分析

对不同时期散落种子的萌发率进行单因素方差分析(One-way ANOVA),差异显著度水平为 0.05。采用最小显著差异法(LSD)对不同时期散落种子的萌发率进行多重比较,以确定其差异是否达到差异显著性水平($P < 0.05$)。所用软件为 SPASS 13.0 和 Origin 7.0。

2 结果与分析

2.1 梭梭种子雨的大小

2008—2009 年度梭梭种子雨从 2008 年 11 月初开始,到 2009 年 1 月中下旬基本结束,持续将近 3 个月时间。不同时间不同的种子雨收集框所收集到的梭梭种子雨密度从最少的 0 粒/m² 到最多的 175 粒/m²,变异较大。从整个种子雨过程来看,梭梭种子雨的累积密度达到平均 189 粒/m²,局部小环境种子雨累积密度达

到 2413 粒/ m^2 (表 1)。

表 1 不同取样时间种子雨的基本特征

Table 1 Basic characteristics of seed rain at different sampling times

取样时间 Sampling time	种子雨密 Seed density /(粒/ m^2)			变异系数 Coefficient of variation/%
	平均值 Mean value	最小值 Min value	最大值 Max value	
2008-11-8	71	0	1175	259
2008-11-15	52	0	400	154
2008-11-22	38	0	788	337
2008-12-06	15	0	563	564
2009-01-15	13	0	388	378
All	189	0	2413	201

2.2 梭梭种子雨密度的时间动态

准噶尔盆地东南缘梭梭种子开始散布的时间是在 11 月初。从一开始,梭梭种子散布量就迅速达到了其整个种子散布过程的最高峰。梭梭种子散布的高峰集中在 11 月初到 11 月 15 日时间段,其落种量占整个种雨的 65%(图 1)。其后,梭梭种子散布量随时间迅速减小,到 12 月初趋于稳定,种子散布量保持在较低的水平。到第 2 年的 1 月中旬梭梭种子散布基本结束,此时也是梭梭种子散布量最小的时期(图 1)。

2.3 梭梭种子雨活力的时间动态

在梭梭整个种子雨过程中,不同时期所散落的种子的萌发率差异显著($P<0.05$)。种子雨过程初期散落的种子,其种子质量相对较差,种子平均萌发率相对较低,为 75.33%。其后,散落种子的平均萌发率逐渐升高。到 12 月初,此时散落的种子质量最好,种子的平均萌发率最高,达到 82.57%。1 月以后,散落种子的平均萌发率较 12 月初降低,但在整个种子雨过程中仍处于较高的水平。整个种子雨过程,不同时期散落种子的平均萌发率呈现出先增大后减小的趋势。同时,整体上梭梭种子雨中有活力种子约占总散落量的 80%(图 2)。

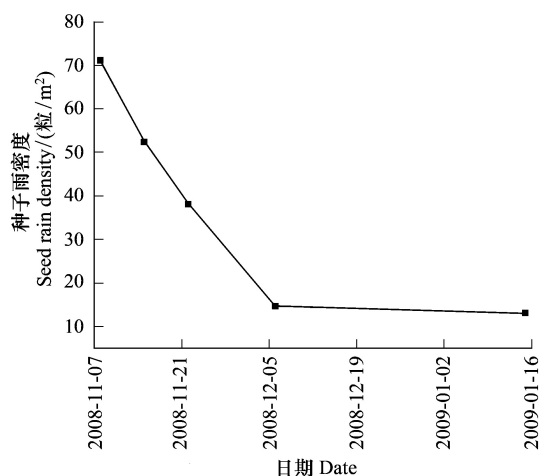


图 1 种子雨密度随时间的变化
Fig. 1 Temporal variation of seed rain density

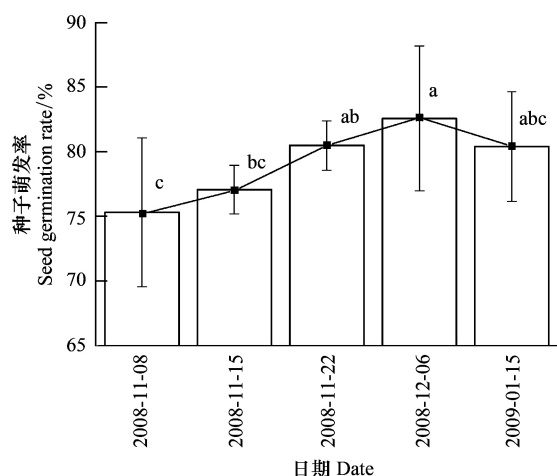


图 2 种子萌发率随时间的变化
Fig. 2 Temporal variation of seed germination rate($P<0.05$)

2.4 梭梭种子雨的空间特征

对梭梭种子雨进行各向同性的变异函数分析显示,滞后距离大于 40 m 时,计算的变异函数值摆动性较大。但在 40 m 的滞后距离内,变化具有规律性。即在小的分隔距离内,有较低的变异函数值,随着分隔距离的加大,变异函数值也增大,并逐渐趋于平稳。以 40 m 为最大滞后距离进行理论模型拟合,结果显示种子雨

的自相关尺度为 8.12 m。在该尺度内,种子雨具有明显的空间格局。其空间结构方差与总变异方差的比值为 0.500(表 2),说明种子雨由空间自相关和随机因素引起的空间异质性各占 50.0%。而在这个尺度之外,种子雨在空间上的变化,表现出随机性。同时,由图 3 可以看出,种子雨高密度斑块面积较大,梭梭种子在空间上呈聚集分布。

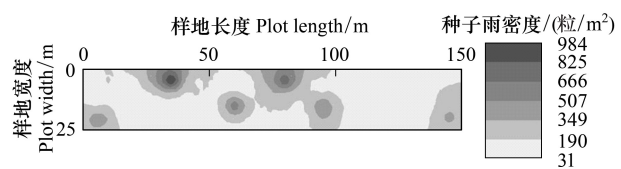


图 3 种子雨密度的空间变异

Fig. 3 Spatial variation of seed density

表 2 变异函数分析结果

Table 2 Variogram analysis results of seed rain

理论模型 Model	块金值 Nugget Co	基台值 Sill Co+C	空间变异比 Proportion C/(Co+C)	自相关尺度 Effective ranges/m A	决定系数 R ²
指数模型 Exponential	85500	171100	0.500	8.120	0.662

3 讨论

3.1 梭梭种子雨的大小

种群种子雨密度的大小反映了树木结实能力的大小以及更新的潜在能力。梭梭在整个种子雨期间其平均累积种子雨密度为 189 粒/m²。由于植物种之间的种子产量的千差万别,不同种群之间的种子雨密度也会相差也较大^[36]。例如:川西南高山栲(*Castanopsis delavayi*)种群^[37]年种子雨强度 2.3—2.8 粒/m²,四川米亚罗亚高山云杉(*Picea asperata*)种群^[38]年种子雨强度(57.99±28.93)粒/m²,甘肃子午岭油松(*Pinus tabulaeformis* carr.)种群^[39]年种子雨强度(146.9±5.25)粒/m²,福建南平和旗山南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)种群^[40]年种子雨强度(252.9±185.3)粒/m²,云南西双版纳白背桐(*Mallotus paniculatus*)种群^[41]年种子雨强度 745 粒/m²,湖北三峡地区柏木(*Cupressus funebris*)种群^[42]年种子雨强度 5982.12 粒/m²。可见,相对于其它树种,梭梭种子雨的密度处于中等偏上水平,梭梭种子雨的总量较大。

种子雨大小具有年际变化^[18,43],有时这种差异不很明显^[36],但是这种变异有时也相当大^[44]。65a 人工云杉(*Picea asperata*)林^[25]种子雨密度 2004 年为 2.17 粒/m²,而 2002 年为 2088.16 粒/m²;辽东山区长白落叶松(*Larix olgensis*)^[45]种子雨密度 2004 年为 937.2 粒/m²,2005 年为 64.4 粒/m²;都江堰常栲树(*Castanopsis fargesii*)^[46]3 a 的观测表明,2001 年是种子雨强度的丰年(81.5 粒/m²),2002 年和 2003 年是平年。目前还未见对于梭梭种子降落年际变化的观测报道,要更准确的掌握梭梭种子雨的年际变化需要更进一步的长期定位调查。

同时,梭梭种子雨中有活力种子占散落种子总量的约 80%。相对于其它树种来说,川西亚高山 65 年人工云杉(*Picea asperata*)林^[25]无活力种子占种子雨重量的 29.42%;东北帽儿山刺五加(*Acanthopanax senticosu*)种群^[47]种子雨中未成熟所占比例较高,平均为 49.7%,最高竟达 63.1%;辽东山区长白落叶松(*Larix olgensis*)^[45]种子雨中无活力的种子占整个总数的 70%;川西南山地高山栲(*Castanopsis delavayi*)种群^[37]败育种子占种子雨总量的 89.2%—94.7%。可见,梭梭种子雨中有活力种子的比例较高,种子雨质量整体较好。

3.2 梭梭种子雨的时间格局

种子传播是一个时态过程。对一个种群,尽管个体成熟时间参差不齐,种子雨仍有一定的期限^[21]。从开始到结束梭梭的整个种子雨过程表现出明显的时间异质性(图 1)。梭梭种子雨过程从 11 月初开始,并迅速达到种子雨量的最大值,其后散落量逐渐减少,到翌年的 1 月下旬基本结束,历时近 3 个月时间。不同的树种种子雨降落的动态也不相同,黑龙江蒙古栎(*Quercus mongolica*)^[48]种子雨的起始时间及结束的时间基本一致,从 8 月 20 日开始下落,到 9 月 20 日结束,持续 1 个月的时间;福建青冈(*Cyclobalanopsis chungii*)天然林^[49]

的种子和壳斗在 10 月中旬开始掉落,到 12 月下旬结束,历时 2 个月;湖北三峡柏木(*Cupressus funebris*)^[42] 种子雨从 8 月份开始降落到次年的 5 月份基本结束,历经 9 个月左右。可见,梭梭种子雨持续时间相对较长。同时,高山栲(*Castanopsis delavayi*)^[37]、云杉(*Picea asperata*)^[38]、油松(*Pinus tabulaeformis* carr.)^[39]、白背桐(*Mallotus paniculatus*)^[41] 等树种整个种子雨过程中,从种子雨过程初期开始,种子雨量较小,其后逐渐增大,直到达到最大值。种子雨过程后期种子雨量又逐渐减少至较低水平。而梭梭从种子雨过程一开始,种子雨量就达到了整个种子雨过程种子雨量的最大值,其后种子雨量随时间逐渐减少,到种子雨后期,种子雨量维持在相对较低的水平。造成这种现象可能的原因是梭梭种子雨过程与气象因子关系密切。据观察,梭梭种子在 10 月底 11 月初成熟,此时,偶然的一场大风或降雨(雪)都将会造成梭梭种子的集中大量散落。

从梭梭种子雨种子质量的时间动态来看,种子雨过程初期,种子雨质量相对较差,种子活力相对较低。种子雨过程中后期,虽然种子雨密度较低,但种子雨质量较好(图 1,图 2)。种子雨开始阶段质量较差的种子大量集中散落,这可能是由于形成种子的早期胚胎很多,竞争作用十分强烈,从而产生较多败育的种子^[45]。由于其生存活力较低,果实较早与母株形成离层,且质量较小,易受风、雨等外界因素的影响和干扰,容易在早期脱落。早期掉落的质量较差的种子,有可能成为部分摄食动物的食物,有利于保护中后期饱满成熟有萌发能力的种子存留在种子库中,为实生苗更新提供了足够的种子保证^[20]。同时,相对集中的种子散布高峰期^[50-51],种子集中于较短时间内大量散落,使摄食动物的摄食量占种子雨量的比例减小,提高了不良环境条件下种子留存的机会,从而有利于种子存留在种子库中^[20]。

3.3 梭梭种子雨的空间格局

种子传播是一个空间过程。种子散布的空间格局构造了一个潜在的空间模板,它将对未来种群甚至整个群落都产生重要的影响^[6]。在种子雨的格局研究中,采用地统计学的方法研究种群种子雨散布格局是近年来生态学中常用的方法^[52]。

梭梭种子在散落过程中主要依靠重力和风力的共同作用进行扩散,在群落内部由于不同植株树冠的相互阻挡减小了风的作用力,从而使种子主要降落在母树树冠范围内,而母树的聚集分布直接导致了种子雨的聚集分布^[53]。梭梭种子雨陆续下落的种子形成了异质性的空间分布格局。在母株附近,有聚集分布的特征。远离母株后,倾向于随机分布(图 3)。种子雨以母树为中心的扩散格局一直是许多生态学家研究的重点,并且大多都得出一致的结论,即种子主要集中在母树周围一定范围内,并随距母树距离的增加而减小^[12, 51-52]。梭梭种子雨空间分布格局也得到了类似的结论。

通过种子雨散落的种子或是其他繁殖体,必须经受环境筛选的考验,只有那些落入“安全岛”的种子才有生根出苗的机会^[3]。从格局尺度看,梭梭种子雨的自相关尺度较小(8.12 m)。“逃逸假说”认为种子扩散的意义在于减少幼苗与母树的竞争、幼苗之间的竞争以及母树附近的密制约性死亡率。远离母树的种子和母树附近的种子相比,出苗成功率较高^[54]。小尺度的种子雨异质性格局,对种群更新具有深刻的意义。因为这样的格局,使扩散的种子分布于多种小生境或微立地,可躲避密度制约的摄食和死亡,从而有更多的更新机会^[55]。

现有研究没有对影响格局的因素进行调查分析,实际情况中影响种子雨散布格局的因素非常复杂,可分为生物因素和非生物因素,前者主要有母树的分布情况^[52]、植株高度^[56]、种子重量^[57]以及动物捕食^[58]等,后者主要包括地形^[59]和风向^[60]等。要对梭梭种群种子散布格局进行详尽的分析,需要将各种影响因素考虑在内,进行更进一步的长期定位研究。

3.4 梭梭种群更新

种群能否实现更新,是种群能否长久存在与发展的关键。种子植物自然更新的过程大致包括以 3 个阶段或时期:种子生产、种子运动(主要为种子扩散的过程)和种子在适宜的地点萌发、建成,最后发育为成熟植物^[2]。然而,最为基础也最为关键的是多样性种子的生产^[61]。梭梭不同种子雨时期散落种子萌发率的差异,一定程度上反映了梭梭种子的异质性。它体现了梭梭种子的多样性,也为自然选择提供了物质基础。

同时,梭梭种子质量的异质性同种子雨过程的时空异质性紧密联系、相互协调。种子雨过程早期大量相

对质量较差的种子的集中散落,为后来质量较好的种子的散落提供了一定程度的保护。种子雨中后期,质量较好的种子散落时,整个地区均处于冬季最寒冷的时候,大地被厚厚的积雪覆盖,此时温度较低,动物活动很少,是外界环境条件最有利于梭梭种子活力保持的时期。质量较好的种子选择在外界环境条件最有利于其活力保持的时期散落,这个时间的选择是非常精巧的,这体现了梭梭其物种自身的繁殖策略对于所处生境的积极适应,有利于梭梭自然更新过程的实现。同时,梭梭种子雨在空间上的分布具有异质性,其空间自相关尺度较小(8.12 m)。异质性的空间分布和较小的空间自相关尺度使梭梭种子散布于多样的微生境成为可能,有利于幼苗的萌发、生长,有利于梭梭种群的更新。

References:

- [1] Li X S, Peng M C, Dang C L. Research progress on natural regeneration of plants. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 2081-2088.
- [2] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. Models of plant regeneration based on propagules of seeds. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 70-75.
- [3] Harper J L. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press, 1977.
- [4] Yu S L, Lang N J, Peng M J, Zhao L, Guo Y Q, Zheng K, Zhang L X, Wen S L, Li H. Research advances in seed rain. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(10): 1646-1652.
- [5] Clark J S, Fastie C, Hurtt G, Jackson S T, Johnson C, King G A, Lewis M, Lynch J, Pacala S, Prentice C, Schupp E W, Webb T III, Wyckoff P. Reid's paradox of rapid plant migration: dispersal theory and interpretation of paleoecological records. *Bioscience*, 1998, 48(1): 13-24.
- [6] 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.
- [7] Parciak W. Environmental Variation in seed number, size, and dispersal of a fleshy-fruited plant. *Ecology*, 2002, 83(3): 780-793.
- [8] Clark J S, Silman M, Kern R, Macklin E, HilleRisLambers J. Seed dispersal near and far: Patterns across temperate and tropical forests. *Ecology*, 1999, 80(5): 1475-1494.
- [9] Li H J, Zhang Z B. Relationship between animals and plant regeneration by seed II. Seed predation, dispersal and burial by animals and relationship between animals and seedling establishment. *Biodiversity Science*, 2001, 9(1): 25-37.
- [10] Seidler T G, Plotkin J B. Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. *PLoS Biology*, 2006, 4(11): e344-e344.
- [11] Ban Y. Evolution of life history strategy in plants. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(3): 33-39.
- [12] Hu X M, Cai Y L, Li K, Zhang T S. Spatial and temporal pattern of *Castanopsis fargesii* seed rain in evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park of Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 815-819.
- [13] Cremer K W. Dissemination of seed from *Eucalyptus* regnans. *Australian Forestry*, 1966, 30: 33-37.
- [14] Mortimer A M. *Studies of germination and establishment of selected species with special reference to the fates of seeds [D]*. UK: University of Wales, 1974.
- [15] Graber R E. Natural seed fall in White Pine (*Pinus strobus* L.) stands of varying density // Northeastern Forest Experiment Station. 1970, NE-119: 1-6.
- [16] Sheldon J C, Burrows F M. The dispersal effectiveness of the achene-pappus units of selected Compositae in steady winds with convection. *New Phytologist*, 1973, 72(3): 665-675.
- [17] Urbanska K M, Erdt S, Fattorini M. Seed rain in natural grassland and adjacent ski run in the Swiss alps; a preliminary report. *Restoration Ecology*, 1998, 6(2): 159-165.
- [18] Armesto J J, Díaz I, Papic C, Willson M F. Seed rain of fleshy and dry propagules in different habitats in the temperate rainforests of Chiloé Island, Chile. *Austral Ecology*, 2001, 26(4): 311-320.
- [19] Arrieta S, Suárez F. Spatial dynamics of *Ilex aquifolium* populations seed dispersal and seed bank: understanding the first steps of regeneration. *Plant Ecology*, 2005, 177(2): 237-248.
- [20] Cha T G, Sun X Y, Wang D Z, Yan H P. Seed rain of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) plantation in Beijing West-Mountain area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(1): 28-31.
- [21] Zou C J, Xu W D, Liu G T. The spatial-temporal distribution of seed rain in *Picea Mongolica* population. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(3): 16-19.
- [22] Meng L Z, Gao X X, Chen J. Seed dispersal and spatial-temporal variation of seed predation of *Musa acuminata* in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 133-142.
- [23] Lu J Q, Li H J, Zhang Z B. Seedrain of wild apricot and predation by small rodents. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5): 528-532.
- [24] Liu J M, Zhong Z C. Natural of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis fargesii* community on Fanjing Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(4): 402-407.
- [25] Yin H J, Cheng X Y, Lai T, Lin B, Liu Q. Seed rain, soil seed bank and seedling regeneration in a 65-year *Picea asperata* plantation in subalpine coniferous, western Sichuan, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(1): 35-44.
- [26] Jia Z Q, Lu Q, Guo B G, Zhao M, Liang Y Q. Progress in the study of Psammophyte-Haloxylon. *Forest Research*, 2004, 17(1): 125-132.
- [27] Liang Y Q, Ren B Y, Wang Y H, Ning H S, Wei R Y. Study on regeneration technology of *Haloxylon ammodendron* in Xinjiang, China. *Xinjiang*

- Agricultural Sciences, 1990, (5): 218-220.
- [28] National Environmental Protection Agency, Conversation Secretary of Protected Areas and Species Management. Rare and endangered plant protection and research. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1991: 157-170.
- [29] Hu S Z. *Haloxylon ammodendron* desert in Northwest China. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1963, (1/2): 81-108.
- [30] Tobe K, Li X M, Omasa K. Effects of irrigation on seedling emergence and seedling survival of a desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae). Australian Journal of Botany, 2005, 53(6): 529-534.
- [31] Shi S Q, Shi Z, Qi L W, Sun X M, Jiang Z P, Li C X, Xiao W F, Zhang S G. Molecular responses and expression analysis of genes in a xerophytic desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) to environmental stresses. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(12): 2667-2676.
- [32] Huang P Y, Xiang B, Li Q J, Xu Z H. Relationship between *Haloxylon ammodendron* seedling dynamics and habitat before Summer. Journal of Desert Research, 2009, 29(1): 87-94.
- [33] Liu G J, Zhang X M, Li J G, Fan D D, Deng C Z, Hou J G, Xin R M. Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum*. Journal of Desert Research, 2010, 30(5): 1085-1091.
- [34] Huang Z Y, Zhang X S, GUTTERMAN Y, Zheng G H. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron*. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(3): 275-280.
- [35] Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(6): 651-657.
- [36] Urbanska K M, Fattorini M. Seed rain in high-altitude restoration plots in Switzerland. Restoration Ecology, 2000, 8(1): 74-79.
- [37] Fei S H, Peng Z H, Yang D S, Zhou J X, He Y P, Wang P, Chen X M, Jiang J M. Seed rain and seed bank of *Castanopsis delavayi* populations in mountainous area of southwest Sichuan. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(2): 49-55.
- [38] Ying H J, Liu Q. Seed rain and soil seed banks of *Picea asperata* in subalpine spruce forests, western Sichuan, China. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(1): 108-115.
- [39] Zhang X B, Wang R J, Shanguan Z P. Dynamics of seed rain and soil seed bank in *Pinus tabulaeformis* Carr. forests in eroded hilly loess regions of the Loess Plateau in China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1877-1884.
- [40] Yue H J, Tong C, Zhu J M, Huang J F. Seed rain and soil seed bank of endangered *Taxus chinensis* var. *mairei* in Fujian, China. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4389-4400.
- [41] Tang Y, Cao M, Zhang J H, Sheng C Y. Study on the soil seed bank and seed rain of *Mallotus paniculatus* forest in Xishuangbanna. Acta Phytocologica Sinica, 1998, 22(6): 505-512.
- [42] Chen F Q, Mei G Z, Wang C H. Seed rain and seed banks of *Cupressus funebris* forest in the Three Gorges region. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2007, 34(4): 13-19.
- [43] Yang Y F, Zhu T C. The study on seed rain change of *Stipa grandis* community in the Songnen plain of China. Acta Phytocologica Sinica, 1991, 15(1): 46-55.
- [44] Molau U, Larsson E L. Seed rain and seed bank along an alpine altitudinal gradient in Swedish Lapland. Canadian Journal of Botany, 2000, 78(6): 728-747.
- [45] 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.
- [46] Du X J, Guo Q F, Gao X M, Ma K P. Seed rain, soil seed bank, seed loss and regeneration of *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) in a subtropical evergreen broad-leaved forest. Forest Ecology and Management, 2007, 238(1/3): 212-219.
- [47] Zhu N, Wang Y H. Reproductive ecology study of *Acanthopanax senticosus* (II) — seed dispersal, seed bank and recruitment. Journal of Northeast Forest University, 1992, 20(5): 12-17.
- [48] Liu T, Zhou Z Q. Seed Rain and Soil Seed Bank of *Quercus mongolica* Populations. Journal of Northeast Forest University, 2007, 35(5): 22-23.
- [49] Huang Y R, Ma X Q, Zhuang K, Liu M X, Huang D D. Seed Rain and Soil Seed Bank of *Cyclobalanopsis chungii* Forest in Minqing, Fujian Province. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2010, 18(1): 68-74.
- [50] Maria G S, Tabarelli M. Seed dispersal, plant recruitment and spatial distribution of *Bactris acanthocarpa* Martius (Arecaceae) in a remnant of Atlantic forest in northeast Brazil. Acta Oecologica, 2001, 22: 259-268.
- [51] 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.
- [52] Liu S, Jin G Z. Spatiotemporal dynamics of seed rain in a broadleaved-Korean pine mixed forest in Xiaoxing'an Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5731-5740.
- [53] Han Y Z, Wang Z Q. Spatial pattern of Manchurian ash seed dispersal in secondary hardwood forests. Acta Botanica Sinica, 2002, 26(1): 51-57.
- [54] 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.
- [55] Janzen D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. The American Naturalist, 1970, 104(940): 501-528.
- [56] Howe H F, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. Annual Review of Ecology and Systematics, 1982, 13: 201-228.
- [57] Li J, Zheng S Z, Qian J, Ren W W, Ye P H. Seed rain of *glycine soja*. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(4): 372-376.

- [58] Moles A T, Falster D S, Leishman M R, Westoby M. Small-seeded species produce more seeds per square meter of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology*, 2004, 92(3): 384-396.
- [59] Wang W, Ma K P, Gao X M. Spatial and temporal patterns of *Quercus liaotungensis* acorn predation by vertebrates in Dongling Mountain, Northern China. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(3): 289-293.
- [60] Shen Z H, Lü N, Zhao J. The topographic pattern of seed rain of a mountain mixed evergreen and deciduous forest community. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1981-1987.
- [61] Greene D F, Quesada M, Calogeropoulos C. Dispersal of seeds by the tropical sea breeze. *Ecology*, 2008, 89(1): 118-125.
- [62] Hofgaard A. Seed rain quantity and quality, 1984—1992, in a high altitude old-growth spruce forest, northern Sweden. *New Phytologist*, 1993, 125(3): 635-640.

参考文献:

- [1] 李小双, 彭明春, 党承林. 植物自然更新研究进展. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 2081-2088.
- [2] 肖治术, 张知彬, 王玉山. 以种子为繁殖体的植物更新模型研究. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 70-75.
- [4] 于顺利, 郎南军, 彭明俊, 赵琳, 郭永清, 郑科, 张立新, 温绍龙, 李晖. 种子雨研究进展. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1646-1652.
- [9] 李宏俊, 张知彬. 动物与植物种子更新的关系 II. 动物对种子的捕食、扩散、贮藏及与幼苗建成的关系. *生物多样性*, 2001, 9(1): 25-37.
- [11] 班勇. 植物生活史对策的进化. *生态学杂志*, 1995, 14(3): 33-39.
- [12] 胡星明, 蔡永立, 李恺, 张天澍. 浙江天童常绿阔叶林栲树种子雨的时空格局. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 815-819.
- [20] 查同刚, 孙向阳, 王登芝, 阎海平. 北京西山地区人工侧柏林种子雨的研究. *北京林业大学学报*, 2003, 25(1): 28-31.
- [21] 邹春静, 徐文铎, 刘广田. 沙地云杉种群种子雨的时空分布规律. *生态学杂志*, 1998, 17(3): 16-19.
- [22] 孟令曾, 高秀霞, 陈进. 小果野芭蕉种子散布和不同时空尺度上种子被捕食格局. *植物生态学报*, 2008, 32(1): 133-142.
- [23] 路纪琪, 李宏俊, 张知彬. 山杏的种子雨及鼠类的捕食作用. *生态学杂志*, 2005, 24(5): 528-532.
- [24] 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.
- [25] 尹华军, 程新颖, 赖挺, 林波, 刘庆. 川西亚高山 65 年人工云杉林种子雨、种子库和幼苗定居研究. *植物生态学报*, 2011, 35(1): 35-44.
- [26] 贾志清, 卢琦, 郭保贵, 赵明, 梁远强. 沙生植物——梭梭研究进展. *林业科学研究*, 2004, 17(1): 125-132.
- [27] 梁远强, 任步远, 王永红, 宁虎森, 韦如意. 新疆梭梭林更新技术研究. *新疆农业科学*, 1990, (5): 218-220.
- [28] 国家环境保护局自然保护司保护区与物种管理处. 珍稀濒危植物保护与研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 157-170.
- [29] 胡式之. 中国西北地区的梭梭荒漠. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1963, (1/2): 81-108.
- [32] 黄培佑, 向斌, 李启剑, 徐泽海. 入夏前梭梭实生苗生长动态与生境的关系. *中国沙漠*, 2009, 29(1): 87-94.
- [33] 刘国军, 张希明, 李建贵, 范冬冬, 邓潮洲, 侯建国, 信汝明. 供水量及沙埋厚度对两种梭梭出苗的影响. *中国沙漠*, 2010, 30(5): 1085-1091.
- [34] 黄振英, 张新时, Gutterman Y, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. *植物生理学报*, 2001, 27(3): 275-280.
- [35] 李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 651-657.
- [37] 费世民, 彭镇华, 杨冬生, 周金星, 何亚平, 王鹏, 陈秀明, 蒋俊明. 川西南山地高山栲树种群种子雨和地表种子库研究. *林业科学*, 2006, 42(2): 49-55.
- [38] 尹华军, 刘庆. 川西米亚罗亚高山云杉林种子雨和土壤种子库研究. *植物生态学报*, 2005, 29(1): 108-115.
- [39] 张希彪, 王瑞娟, 上官周平. 黄土高原子午岭油松林的种子雨和土壤种子库动态. *生态学报*, 2009, 29(4): 1877-1884.
- [40] 岳红娟, 全川, 朱锦懋, 黄佳芳. 濒危植物南方红豆杉种子雨和土壤种子库特征. *生态学报*, 2010, 30(16): 4389-4400.
- [41] 唐勇, 曹敏, 张建侯, 盛才余. 西双版纳白背桐次生林土壤种子库、种子雨研究. *植物生态学报*, 1998, 22(6): 505-512.
- [42] 陈芳清, 梅光舟, 王传华. 三峡地区柏木林种子雨和种子库的研究. *福建林业科技*, 2007, 34(4): 13-19.
- [43] 杨允菲, 祝廷成. 松嫩平原大针茅群落种子雨动态的研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, 15(1): 46-55.
- [45] 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.
- [47] 祝宁, 王义弘. 刺五加生殖生态学的研究 (II) 种子扩散、种子库及更新. *东北林业大学学报*, 1992, 20(5): 12-17.
- [48] 刘彤, 周志强. 蒙古栎种群种子雨与地表种子库. *东北林业大学学报*, 2007, 35(5): 22-23.
- [49] 黄雍容, 马祥庆, 庄凯, 刘明新, 黄丹丹. 福建闽清福建青冈天然林种子雨和种子库. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(1): 68-74.
- [51] 王巍, 李庆康, 马克平. 东灵山地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.
- [52] 刘双, 金光泽. 小兴安岭阔叶红松 (*Pinus koraiensis*) 林种子雨的时空动态. *生态学报*, 2008, 28(11): 5731-5740.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [57] 李军, 郑师章, 钱吉, 任文伟, 叶培宏. 野生大豆种子雨的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 372-376.
- [59] 王巍, 马克平, 高贤明. 东灵山地区脊椎动物对辽东栎坚果捕食的时空格局. *植物学报*, 2000, 42(3): 289-293.
- [60] 沈泽昊, 吕楠, 赵俊. 山地常绿落叶阔叶混交林种子雨的地形格局. *生态学报*, 2004, 24(9): 1981-1987.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiuqiang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《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 32 卷 第 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 2012)

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:1000717	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