

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

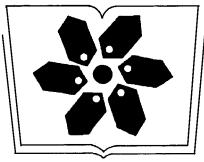
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **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 1 期

2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光和不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说: 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb201108281253

刘振, 董智, 李红丽, 李钢铁. 浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局. 生态学报, 2013, 33(1): 0294-0301.

Liu Z, Dong Z, Li H L, Li G T. Spatial pattern of seedling regeneration of *Ulmus pumila* woodland in the Otindag Sandland. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0294-0301.

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局

刘 振¹, 董 智^{1,*}, 李红丽¹, 李钢铁²

(1. 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室, 泰山森林生态站, 山东农业大学林学院, 泰安 271018;

2. 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010019)

摘要:榆树疏林广泛分布于浑善达克沙地, 是适应半干旱、半湿润气候的沙地植被类型。采用 Ripley 的 K 函数统计方法, 分析了浑善达克沙地固定沙丘与丘间低地封育状态下的榆树幼苗空间分布及更新格局。结果表明: 两种生境下榆树幼苗密度分别为 88 株/hm² 和 77 株/hm², 丘间低地更适合幼苗的生长。固定沙丘和丘间低地榆树幼苗均呈聚集分布, 但丘间低地的幼苗聚集强度更高。固定沙丘上榆树幼苗与成熟树种群在小尺度上呈负关联, 而丘间低地幼苗与成熟树种群呈现较显著的正关联, 但二者在大尺度上均无关联性。研究对揭示浑善达克沙地榆树幼苗分布、更新空间格局及其恢复保护具有重要意义。

关键词:榆树疏林; 幼苗更新; 空间格局; 空间关联; 浑善达克沙地

Spatial pattern of seedling regeneration of *Ulmus pumila* woodland in the Otindag Sandland

LIU Zhen¹, DONG Zhi^{1,*}, LI Hongli¹, LI Gangtie²

1 Shandong Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration/ Taishan Forest Ecosystem Research station, Forestry College of Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 College of forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

Abstract: *Ulmus pumila* woodland widely distributing in the Otindag sandland, is a kind of sand vegetation types and adapted to semi-arid and semi-humid climate. It is a important local species to protect the ecosystem from desertification and defense the sandstorms. However, the seedlings and small trees are found to be few in natural ecosystem because of overgrazing and felling of great trees, which has seriously affected the distribution of *U. pumila* and regeneration of population. The aims of the study are to investigate the patterns for seedlings regeneration and the relationship between seedlings density and mature trees in two different habitats of fenced sites. With Ripley's K function statistical method, the seedlings distribution and regeneration spatial pattern of *Ulmus pumila* were analyzed in fenced fixed sand dunes and lowland between dunes in the Otindag sandland. The results showed that the vegetation was regenerated very well in *U. pumila* sparse forest after exempt from the damage of animals and human being by fence. The coverage of shrubs and grasses is getting to about 60% of land area and the density of seedlings in the two different habitats was 88 seedlings per hectare and 77 seedlings per hectare. The seedlings with the same ages have a better growth conditions in lowland between dunes than those in fixed sand dunes. So the lowland between dunes is thought to be more suitable for seedlings development than the fixed sand dunes. The patterns for distributions of *Ulmus pumila* seedlings were aggregated distributions in two habitats in the area with radius being 0 to 50 m, but the aggregation intensity of seedlings was higher in lowland between dunes than the fixed sand dunes. The distribution patterns were affected by seed shadow, aggregation of seedlings, arid environment

基金项目: 国家自然科学基金(31260202, 30972420)

收稿日期: 2011-08-28; 修订日期: 2012-09-06

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

and sand blown by the wind. The patterns for distribution of mature trees were aggregated distributions in radius being 0 to 30 m, and random distribution with radius > 30 m. The soil water content and nutrients were poorer in fixed sand dunes than in lowland between dunes. The mature trees in fixed sand dunes have a large canopy and a compete advantage to absorb soil water and nutrients from soil, which restricts the seedlings to establish and develop under the mature trees. Therefore, there was a negative correlation between seedlings density and mature trees population in a radius being 0 to 2 m on fixed sand dunes. By comparison, the soil water content and nutrients availability were higher in lowland between dunes than that of fixed sand dunes, and the mature trees have lower crown density and less inhibition to seedlings. So a positively correlation was recorded in similar scale in lowland between dunes. But there was no correlation between seedlings density and mature trees in a larger scale in two different habitats. The establishment and develop of seedlings were independent of the mature trees in both fixed sand dunes and lowland between dunes. The results suggested that *U. pumila* seedlings displayed various adaptive mechanisms in the different habitats. The study revealed the seedlings distribution and regeneration spatial patterns and provided important scientific evidences for regeneration of *Ulmus pumila* sparsed forest in practice.

Key Words: *Ulmus pumila* woodland; seedling regeneration; spatial pattern; spatial association; Otindag Sandland

沙地榆树 (*Ulmus pumila* L.) 疏林广泛分布于浑善达克沙地,是适应半干旱、半湿润气候的沙地植被类型,对保护沙区环境、防风固沙起到重要作用^[1]。榆树是浑善达克沙地最适生的树种之一,它根系发达,蒸腾强度小,冠幅大,空间利用充分,具有喜光、耐寒、耐旱、抗病性强等特点,是沙地中重要的保土、防风、固沙、护牧树种^[2-3],在沙区景观及生态保护方面占有显著的位置。然而,近年来由于人类不合理利用及牲畜的啃食,使得幼苗及幼树较少见,严重影响了沙地榆树的分布和天然更新过程。近年来很多专家学者对其进行了研究,主要集中于榆树生态系统空间异质性^[4]、天然更新幼苗发育^[5]、封育更新^[6]、种子散布空间格局^[7]、恢复机理与途径^[8-9]和种群格局^[10]等方面,而有关浑善达克沙地封育状态下榆树疏林的幼苗更新格局及其与成熟树之间的关联性尚不清楚。

森林更新是生态系统中森林资源再生产的一个自然生物学过程,受物理环境条件、自然干扰和人为干扰、更新树种的生理生态学特性、现存树种与更新树种的关系、竞争植物种和其它生物种的特性等因素及其相互作用的影响,更新空间格局不仅反映过去各种生态学过程的作用结果,而且也会制约未来的生态学过程^[11]。认识和定量研究更新中的空间格局特征,分析形成更新格局的原因和效应,可从更深的层次了解更新动态中潜在的规律性^[12]。为更好地揭示沙地榆树疏林幼苗更新格局及其与生境的关系,本研究以浑善达克沙地固定沙丘和丘间低地两种生境条件下榆树疏林的幼苗与成熟种群为研究对象,利用点格局分析法分析幼苗种群的空间分布格局及其与成熟树间的空间关联性,揭示幼苗更新格局特征,以期为人工作促进榆树疏林的天然更新及沙地榆树疏林的保护和可持续利用提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于浑善达克沙地南缘正蓝旗境内桑根达来镇。该区属温带半干旱区大陆性气候,多年平均气温 1.8 °C,极端最低温度-38 °C,≥10°C 年积温 2000 °C;年均降水量 313.8 mm,降水量年内分配不均,其中夏季占 68.3%。研究区内固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘和丘间低地镶嵌分布;榆树疏林主要集中在固定沙丘和丘间低地。

固定沙丘植物种较为丰富,主要有褐沙蒿 (*Artemisia intramongolica* H. C. Fu.)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng)、沙生冰草 (*Agropyron desertorum* (Fisch.) Schult)、寸草苔 (*Carex duriuscula* C. A. Mey)、叉分蓼 (*Polygonum divaricatum* Linn.)、防风 (*Saposhnikovia divaricata* (Turez.) Schischk)、黄柳 (*Salix gordeivii* Chang et SkV.) 等,土壤为固定风沙土。丘间低地林下植物茂密,形成草甸植被。优势种为耧斗叶绣线菊 (*Spiraea aquilegifolia* Pall.)、小红柳 (*Salix microstachya* Turcz.)、杞柳 (*Salix integra* Thunb.)、羊草 (*Leymus*

chinensis (Trin.) Tzvel.)、轮叶沙参 (*Adenophora tetraphylla* (Thunb.) Fisch.)、地榆 (*Sanguisorba officinalis* L.)、芦苇 (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.) 等,土壤为草甸土、盐化草甸土。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

根据榆树疏林种群在固定沙丘与丘间低地的分布规律,兼顾各类样地大小的一致性,在研究区建立了固定沙丘(A)和丘间低地(B)两类典型样地,每个样地面积为 100 m×100 m,两个样地均于 2005 年封育。研究区范围 42°42.2′—42°47.45′N,115°56.25′—115°53.59′E。2009 年 8 月,分别对样地内植被特征、土壤理化性状和地貌形态进行了系统调查、取样,并用 GPS 定位。然后将其划分为 10 m×10 m 的相邻网格,对每一个格子内的榆树采用坐标定位的方法进行每株调查。根据浑善达克沙地榆树龄级与胸径的关系^[8],将 DBH>5 cm 的确定为成熟树,记录其空间位置,量测其胸径(cm)、树高(m)、冠幅(m²)和枝下高(m)及生长状况,并记录样地内天然更新的榆树幼苗的空间位置、地径(cm)、树高(m)和冠幅(m²)及生长状况。天然更新的榆树幼苗主要指年龄 10a 以下的实生苗,树高一般不超过 2 m。在样地四角及中部分别选取 1 m²,从地表向下按 0—10 cm 和 10—20 cm 分层取土样并混匀。土壤密封带回实验室进行土壤理化性质分析,包括:土壤含水量(%) (烘干法)、土壤有机质(g/kg) (重铬酸钾容量法)、土壤全氮(g/kg) (半微量凯氏法)、土壤全磷(g/kg) (酸溶-钼锑抗比色法) (表 1)。

表 1 榆树疏林群落内环境因子统计

Table 1 Statistics of environment factors in *Ulmus pumila* woodland

样地 Plot	样地 A (固定沙丘) Plot A (Fixed sand dunes)	样地 B (丘间低地) Plot B (Sandy lands between dunes)
土壤含水量 Soil Water Content/%	0.67±0.25	2.53±0.80
有机质含量 Organic content/(g/kg)	0.87±0.73	1.70±0.11
土壤全氮含量 Total soil nitrogen content/(g/kg)	0.18±0.05	0.27±0.08
土壤全磷 Total soil phosphorus content/(g/kg)	0.22±0.05	0.24±0.10
土壤类型 Soil type	风沙土	草甸土

2.2 空间格局分析

2.2.1 种群不同发育阶段个体点格局分析

种群的每个个体视为二维空间的一个点,以全部个体组成的二维点图为基础进行格局分析^[13],Ripley's *K* 函数的基本公式为:

$$\hat{K}(r) = \left(\frac{A}{n^2}\right) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_{ij}} I_r(u_{ij}) \quad (1)$$

式中,*A* 为样地面积;*n* 为总点数;*I_r*(*u_{ij}*) 为指示函数,*u_{ij}* 为点 *i* 和点 *j* 之间的距离,当 *u_{ij}* ≤ *r* 时,*I_r*(*u_{ij}*) = 1,当 *u_{ij}* > *r* 时,*I_r*(*u_{ij}*) = 0;*W_{ij}* 为权重值,表示以点 *i* 为圆心,*u_{ij}* 为半径的圆周长在面积 *A* 中的比例。

为了更直观地解释实际的空间格局,Besag 提出了 Ripley 的 *L* 函数^[14-15]:

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}(r)}{\pi}} - r \quad (2)$$

式中, $\hat{L}(r)$ 是 $\hat{K}(r)$ 的修正函数,它保持了方差稳定,更加便于解释。当 $\hat{L}(r) = 0$ 时,为随机分布;当 $\hat{L}(r) > 0$ 时,为聚集分布;当 $\hat{L}(r) < 0$ 时,则为均匀分布。

利用 ADE-4 软件通过 10 000 次 Monte Carlo 随机模拟计算 99% 的置信区间,当 $\hat{L}(r)$ 位于上包迹线之上时为聚集分布,位于上下包迹线之间时为随机分布,位于下包迹线之下时为均匀分布。当种群表现为聚集分布时,把偏离随机置信区间最大值作为最大聚集强度指标,而聚集规模是以聚集强度为半径的圆^[15]。

2.3.2 种群两个发育阶段空间关联性分析

两个发育阶段的空间关联性分析实际上是两个发育阶段种群的点格局分析,其定义和计算原理与单种格局相近。应用 Ripley's $K_{12}(r)$ 函数进行双变量空间关系分析,其公式如下:

$$\hat{K}_{12}(r) = \frac{A}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{1}{W_{ij}} I_r(u_{ij}) \quad (3)$$

式中, n_1 和 n_2 分别为种 1 和种 2 的个体数(点数), i 和 j 分别代表种 1 和种 2 的个体;同样,该函数修正形式为:

$$\hat{L}_{12}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}_{12}(r)}{\pi}} - r \quad (4)$$

当 $\hat{L}_{12}(r) = 0$ 时两个变量相互独立,当 $\hat{L}_{12}(r) > 0$ 时两个变量空间正关联,当 $\hat{L}_{12}(r) < 0$ 时两个变量负相关。通过 Monte Carlo 方法模拟了 99% 置信区间,当 $\hat{L}_{12}(r)$ 位于上包迹线之上时为显著正相关,位于上下包迹线之间时无关联,位于下包迹线之下时为显著负相关。

3 结果与分析

3.1 两种生境下榆树疏林结构

由表 2 可知,固定沙丘和丘间低地沙地榆树的幼苗密度分别为 88 株/hm² 和 73 株/hm²。二者相比,丘间低地的密度略低于固定沙丘的密度,但其幼苗的平均苗高、地径和冠幅均大于固定沙丘中的榆树幼苗。榆树实生苗的生长速度较慢,而两种生境下榆树幼苗生长状况差异较大,其主要原因可归因于生境差异。丘间低地的地下水位较高,在 1 m 左右,土壤水分较好,且风沙影响小,因而有利于榆树幼苗的生长,使其生长状况明显优于固定沙丘。

表 2 榆树疏林结构特征

Table 2 The structure of *Ulmus pumila* woodland

		样地 A(固定沙丘) Plot A (Fixed sand dunes)	样地 B(丘间低地) Plot B (Sandy lands between dunes)
幼苗 Seedlings	密度/(株/hm ²)	88	73
	平均苗高/m	0.55±0.024	0.79±0.042
	平均地径/cm	0.28±0.010	0.46±0.024
	平均冠幅/m ²	0.63±0.067	1.91±0.31
成熟树 Mature trees	密度/(株/hm ²)	27	37
	平均树高/m	10.36±0.47	6.3±0.32
	平均胸径/cm	31.98±0.96	20.1±1.00
	平均冠幅/m ²	77.5±8.13	31.78±3.27

两种生境下榆树成熟树种群生长的情况则正好相反,丘间低地成熟树的密度大于固定沙丘;而固定沙丘成熟树的平均树高达 10.2 m、平均胸径为 31.49 cm,平均冠幅达到 77.6 m²,远远大于丘间低地。据胸径与树龄的关系及实地调查可知,固定沙丘上的成熟树多为老龄树,缺乏幼龄及中龄树,出现了断代;而丘间低地除老龄树外,还有部分的幼龄及中龄树。两种生境下成熟树年龄结构的差异可能是放牧等人为活动干扰导致的幼苗保存率不同而造成的。因未进行围栏封育,使得近十几年内固定沙丘幼苗的保存率低于丘间低地,因而出现了断代现象。

3.2 榆树种群分布格局

由图 1 可知,固定沙丘榆树种群中,榆树幼苗(A1)在 $r=0-50$ m 尺度上, $\hat{L}(r)$ 位于上包迹线之上,表明幼苗整体呈聚集分布。成熟树(A2)在 $r=0-3$ m 尺度上时, $\hat{L}(r)$ 位于上包迹线之上,呈聚集分布;在 >3 m 尺

度上呈现随机分布。丘间低地榆树种群中,榆树幼苗(B1)在 $r=0-50$ m尺度上,榆树幼苗整体呈聚集分布,在 $r=20$ m时达到最大聚集强度, $\hat{L}(r)$ 的值为18.5。成熟树(B2)在 $r=0-3$ m,5—27 m尺度上时, $\hat{L}(r)$ 位于上包迹线之上,成熟树(B2)呈聚集分布,在其他尺度上呈现随机分布。

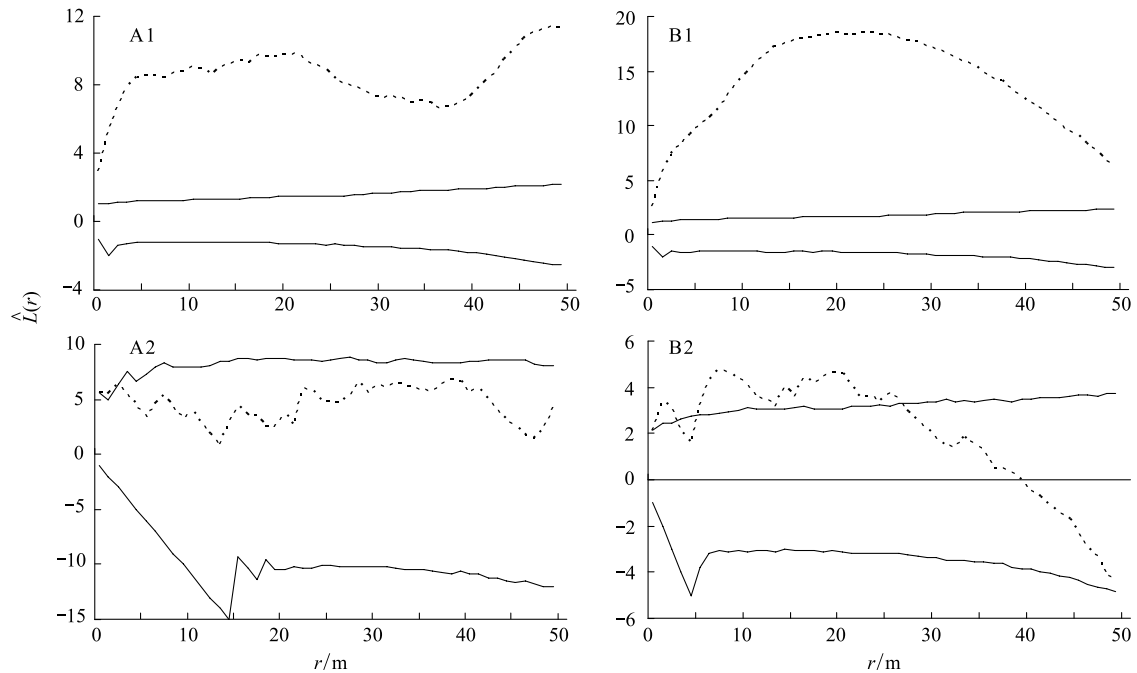


图1 固定沙丘和丘间低地中榆树幼苗和成熟树种群的点格局

Fig.1 Point pattern analysis for seedlings and mature trees of *Ulmus pumila* population on fixed sand dunes and in sandy lands between dunes

实线表示由实际数据计算所得的值,虚线表示用 Monte Carlo 检验的置信区间(置信水平为99%)

两种生境条件下,榆树幼苗均在整个尺度上呈现集群分布,丘间低地的榆树幼苗的最大聚集强度大于固定沙丘的种群。成熟树在中小尺度呈现集群分布,在大尺度上呈现随机分布。这与榆树的种子雨散布和实生苗的群集性生长密切相关。榆树种子散布在母树周围,使种子呈聚集分布,导致幼苗呈聚集分布,继而伴随幼苗的生长发育而产生竞争、自疏现象,使得榆树进入成熟树阶段表现为随机分布。由于种子雨与实生苗的群聚性,使得两种生境下成熟树在小尺度上(0—3 m)依然表现为聚集性,常常表现为2—5株聚集在一起,体现出“小聚集、大分散”的特征。

3.3 更新幼苗和成熟树种群的空间关系

种内联结用来表示同一物种不同龄级在空间分布上的相互关联性,是对一定时期内植物种群组成个体之间相互关系的静态描述^[16]。由图2可知,固定沙丘种群中,榆树幼苗(A1)与成熟树(A2)在0—2 m尺度上, $\hat{L}_{12}(r)$ 值与下包迹线合,呈现接近或达到空间负关联;在其他尺度上, $\hat{L}_{12}(r)$ 曲线逐渐被上、下包迹线包围,关联性很小。丘间低地种群中,幼苗(B1)与(B2)成熟树在 r 为0—4 m时, $\hat{L}_{12}(r)$ 值位于上包迹线之上,呈现空间正关联;在其他尺度上, $\hat{L}_{12}(r)$ 曲线被上、下包迹线包围,空间关联性变得很小。两种生境下的榆树幼苗与的成熟树均在小尺度上呈现一定的空间关联性,但关联性不同,而在大尺度上则不具有关联性,这表明在更新过程中,幼苗的更新受生境条件的制约极大。

4 结论与讨论

(1)固定沙丘和丘间低地均有榆树幼苗生长,且丘间低地的幼苗生长状况好于固定沙丘。李钢铁,刘建等研究表明,放牧活动限制榆树种群的生长和更新,封育免除了人、畜的破坏,幼苗的密度可达8—288

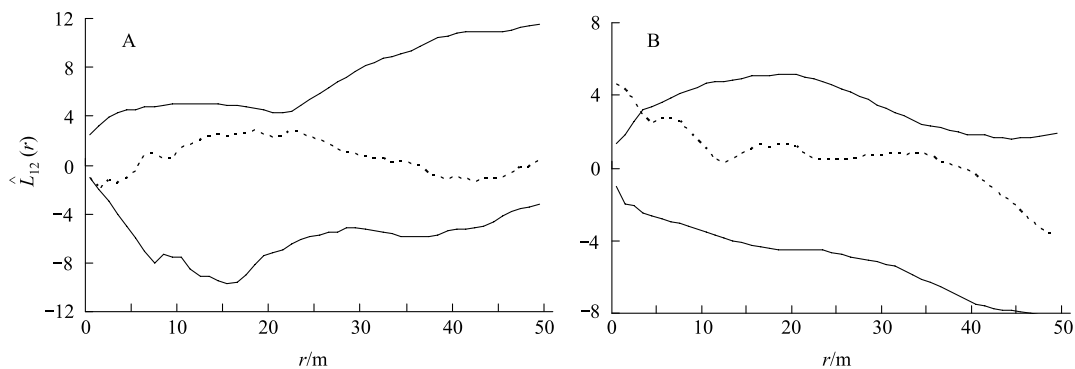


图2 固定沙丘和丘间低地中榆树幼苗与成熟树种群空间关联

Fig. 2 Spatial association of seedlings and mature trees of *Ulmus pumila* population on fixed sand dunes and in sandy lands between dunes

株/ m^2 ^[9-10]。本研究两个样地经过5年的封育,榆树疏林林下植被恢复良好,灌草群落盖度达60%左右,幼苗密度分别达到了88株/ hm^2 和73株/ hm^2 。但与以往研究相比^[9-10],幼苗数量仍然偏低,需要继续延长封育年限,并在遵循沙地榆幼苗的分布格局及种内空间关联性的基础上,进行适度的人工干扰,促进幼苗更新。适度干扰包括疏伐、打草、除草、松土及定苗等措施。对较密的榆树团块进行抚育间伐和疏伐,改善树下光照条件,促进幼苗生长。对草群密度大的疏林,可通过打草、除草和松土,提高榆树种子雨与土壤直接接触的几率,获得覆土条件而促进种子萌发。对封育4a以上的生长健壮的幼苗,可结合抚育措施作定向培育促进生长。

(2)种群分布格局通常反映的是一定环境因子对个体行为、生存和生长的影响^[17]。幼小个体对水分等资源的竞争相对微弱,为了抵御风沙危害和提高存活机会它们需要相互庇护,表现为聚集分布^[18-19]。高大个体的抵御风沙危害能力较强,且对土壤水分或其它资源的竞争加剧,表现为随机分布^[19]。固定沙丘和丘间低地榆树幼苗的聚集分布格局正是其抵抗风蚀、适应风沙环境的一种反映,说明幼苗的生长和发育对环境的要求和适应具有一致性。而成年树间在中小尺度上的聚集分布继承了幼苗在初期的聚集分布特征,但随着对土壤水分或其它资源的竞争加剧,在较大尺度上表现为随机分布。在固定沙丘和丘间低地,幼苗的聚集强度不同,说明榆树更新幼苗空间格局的形成,除了涉及种子的扩散和种子本身的特性外,还与地表微生境的植被盖度、风沙情况、地下水位有关^[3-4]。本研究所选择样地地理位置和封育时间相同,只在地形、风沙和地表植被盖度上明显不同,因而在聚集度上表现出明显的差异。固定沙丘地形起伏,存在明显的坡向、坡度,土壤水分条件、风蚀沙埋、植被盖度变异程度较丘间低地明显,更新仅发生在植被盖度较大、水分条件和覆土条件较好的微生境中,因而其聚集尺度小。而丘间低地植被盖度、地下水位等生境条件优越而均匀,更适宜榆树种群的更新,其幼苗的聚集强度也高。关于微生境中的水分、风蚀沙埋、植被盖度等因素如何影响幼苗的更新格局,其影响尺度有多大,这些问题还需作进一步深入研究。

(3)在种群不同发育阶段的过程中,聚集分布和正关联体现了有利于个体间生存的空间关系,均匀分布和空间负关联表明种内某些个体会对其它个体的生存产生不利影响的空间关系,随机分布和空间无关联则意味着种内个体间相互独立^[20-21]。在干旱、半干旱地区,水分是沙丘植物生存、生长的制约因子之一^[22],其次是沙基质的不稳定性与贫瘠性^[22-23]。固定沙丘与丘间低地榆树幼苗与成熟树间在中、大尺度上均无关联,但固定沙丘在小尺度上呈现负关联,丘间低地则呈正关联。固定沙丘上土壤含水量低,土壤贫瘠(表1),成熟树对土壤水分、养分有竞争优势,不利于幼苗的生长发育;而丘间低地则因汇集了周围沙丘的地表径流及降水入渗后的地下径流,使得土壤水分较好(表1),养分较固定沙丘高,水分不再是限制幼苗与成熟树间的生态因子^[19],因而在小尺度上呈现正相关。这一结果与沙漠植物梭梭幼树、成熟树间的关联性表现一致^[19]。此外,榆树更新幼苗的发生和存活,在一定尺度上与成熟树的位置有关。种子雨主要分布在母树附近,靠近母树幼苗发生的机会可能较大,但幼苗的成活却受相邻同种大树的制约,幼苗死亡率较高而存活率降低^[24]。固定沙丘的成熟树冠幅大,林下遮阴面积大,抑制幼苗的存活和生长,幼苗在小尺度上与成熟树呈负关联,这与上述

研究结果一致。加之丘间低地榆树的树高、冠幅均小于固定沙丘,对幼苗的抑制作用也弱,使得林下及林间的林隙有利于幼苗的聚集生长,幼苗与成熟树间表现为正关联;这可能是在郁闭度低的丘间低地中,榆树幼苗适应环境的一种生长方式。

References:

- [1] Li G T, Wang Y S, Yu X X, Li Q X, Yue Y J. Spatial patterns of elm density in Otindag Sandy Land. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(3): 141-145.
- [2] Inner Mongolia and Ningxia Scientific Team of Chinese Academy of Sciences. *Inner Mongolia Vegetation*. Beijing: Science Press, 1985: 785-789.
- [3] Li Y G, Jiang G M, Gao L M, Niu S L, Liu M Z, Yu S L, Peng Y. Impacts of human disturbance on Elms-motte-veldt in Otindag sandland. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 829-834.
- [4] Liu J, Zhu X W, Yu F H, Dong M, Zhang S M, Wang R Q. Spatial heterogeneity of *Ulmus pumila* open forest ecosystem in Otindag Sandy Land. *Environmental Science*, 2003, 24(4): 29-34.
- [5] Guo K, Liu H J. A comparative researches on the development of elm seedlings in four habitats in the Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2024-2028.
- [6] Li G T, Yao Y F, Zou S Y, Liu L C, Wei Y X, Jiang P. Studies on regeneration of grassland with sparsed elm in Keerqin Sandy Land. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(4): 152-157.
- [7] Yang Y F, Bai Y P, Li J D, Li L. Spatial patterns of seed dispersal in *Hemiptelea davidii* woodland in Keerqin sandy land, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 1967-1973.
- [8] Peng Y. *Restoring Degraded Ecosystem in Hunshandak Sandland Through Nature Reserve* [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Science (CAS) (Institute of Botany), 2005.
- [9] Li G T. *Studies on Steppe-Woodland Vegetation Restoration Mechanism in Keerqin Sandy Land* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2004.
- [10] Liu J, Liu F H, Dong M, Wang R Q. Size structure and neighbor pattern of *Ulmus pumila* L. population at southern edge of the Otindag Sandy Land. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1): 75-80.
- [11] Han Y Z, Wang Z Q. Spatial heterogeneity and forest regeneration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 615-619.
- [12] Han Y Z. *Spatial Heterogeneity and Pattern and Process of Manchurian Ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) Regeneration* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2002.
- [13] Ripley B D. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 1977, 39(2): 172-212.
- [14] Besag J E. Comments on Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 1977, 39(2): 193-195.
- [15] Koukoulas S, Blackburn G A. Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broad-leaved deciduous woodland. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16(5): 587-596.
- [16] Wang L, Sun Q W, Hao C Y, Tian S N, Zhang S S, Chen Y K, Zhang X P. Point pattern analysis of different age-class *Taxus chinensis* var. *mairei* individuals in mountainous area of southern Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 272-278.
- [17] He Z B, Zhao W Z. Spatial pattern of two dominant shrub populations at transitional zone between oasis and desert of Heihe River Basin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 947-952.
- [18] Cai F. A study on the structure and dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population at hills around west lake in Hangzhou. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(3): 67-72.
- [19] Song Y Y, Li Y Y, Zhang W H. Analysis of spatial pattern and spatial association of *Haloxylon ammodendron* population in different developmental stages. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(16): 4317-4327.
- [20] Kenkel N C. Pattern of self-thinning in Jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 1988, 69(4): 1017-1024.
- [21] Brisson J, Reynolds J F. The effect of neighbors on root distribution in a creosotebush (*Larrea tridentata*) population. *Ecology*, 1994, 75(6): 1693-1702.
- [22] Lamusa A, Zhou L F. Spatial variation of soil water storage (SWS) on active dune in Horqin Sandy Land. *Soils*, 2011, 43(3): 392-397.
- [23] Liu Z M, Jiang D M, Yan Q L, Li X H, Li R P, Luo Y M, Wang H M. Study on dispersal biology of common species of Flora of the Horqin Steppe. *Acta Pratacultural Science*, 2005, 14(6): 23-33.
- [24] Gray A N, Spies T A. Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology*, 1997, 78(8): 2458-2473.

参考文献:

- [1] 李钢铁,王永胜,余新晓,李清雪,岳永杰. 浑善达克沙地不同密度榆树种群空间格局. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(3): 141-145.

- [2] 中国科学院内蒙古宁夏考察队. 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985: 785-789.
- [3] 李永庚, 蒋高明, 高雷明, 牛书丽, 刘美珍, 于顺利, 彭羽. 人为干扰对浑善达克沙地榆树疏林的影响. 植物生态学报, 2003, 27(6): 829-834.
- [4] 刘建, 朱选伟, 于飞海, 董鸣, 张淑敏, 王仁卿. 浑善达克沙地榆树疏林生态系统的空间异质性. 环境科学, 2003, 24(4): 29-34.
- [5] 郭柯, 刘海江. 浑善达克沙地四种生境中榆树天然更新幼苗发育的比较. 生态学报, 2004, 24(9): 2024-2028.
- [6] 李钢铁, 姚云峰, 邹受益, 刘立成, 魏永新, 姜鹏. 科尔沁沙地榆树疏林草原及其封育更新研究. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 152-157.
- [7] 杨允菲, 白云鹏, 李建东, 李丽. 科尔沁沙地刺榆林种子散布的空间格局. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1967-1973.
- [8] 彭羽. 浑善达克沙地退化生态系统生态恢复的自然保护区途径 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(植物研究所), 2005.
- [9] 李钢铁. 科尔沁沙地疏林草原植被恢复机理研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [10] 刘建, 刘凤红, 董鸣, 王仁卿. 浑善达克沙地南缘榆树种群的大小结构和邻体格局. 中国沙漠, 2005, 25(1): 75-80.
- [11] 韩有志, 王政权. 森林更新与空间异质性. 应用生态学报, 2002, 13(5): 615-619.
- [12] 韩有志. 林分空间异质性与水曲柳的更新格局和过程 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.
- [16] 王磊, 孙启武, 郝朝运, 田胜尼, 张姗姗, 陈一锟, 张小平. 皖南山区南方红豆杉种群不同龄级立木的点格局分析. 应用生态学报, 2010, 21(2): 272-278.
- [17] 何志斌, 赵文智. 黑河流域荒漠绿洲过渡带两种优势植物种群空间格局特征. 应用生态学报, 2004, 15(6): 947-952.
- [18] 蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究. 林业科学, 2000, 36(3): 67-72.
- [19] 宋于洋, 李园园, 张文辉. 梭梭种群不同发育阶段的空间格局与关联性分析. 生态学报, 2010, 30(16): 4317-4327.
- [22] 阿拉木萨, 周丽芳. 科尔沁沙地流动沙丘土壤水分空间变化特征分析. 土壤, 2011, 43(3): 392-397.
- [23] 刘志民, 蒋德明, 阎巧玲, 李雪华, 李荣平, 骆永明, 王红梅. 科尔沁草原主要草地植物传播生物学简析. 草业学报, 2005, 14(6): 23-33.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《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 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (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