

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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

DOI: 10.5846/stxb201201170102

胡尔查, 王晓江, 张文军, 海龙, 张雷, 张胜利, 徐鹏雁. 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析. 生态学报, 2013, 33(9): 2867-2876.
Hu E C, Wang X J, Zhang W J, Hai L, Zhang L, Zhang S L, Xu P Y. Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2867-2876.

乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析

胡尔查^{1,2}, 王晓江^{1,*}, 张文军¹, 海 龙¹, 张 雷¹, 张胜利³, 徐鹏雁⁴

(1. 内蒙古自治区林业科学研究院, 呼和浩特 010010; 2. 乌海市林业局, 乌海 016000;
3. 内蒙古乌拉山林场, 巴彦花镇 015300; 4. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021)

摘要: 白桦群落是乌拉山森林植被的主要类型之一, 在高海拔阴坡、半阴坡以纯林形式分布。根据乌拉山自然保护区白桦林不同林龄结构设置 3 个典型样地, 采用种群径级结构代替年龄结构、点格局分析 (Ripley's *K*-Function) 方法探讨了乌拉山白桦种群年龄结构、空间分布规律和种群动态。结果表明: (1) 乌拉山自然保护区白桦种群径级结构呈典型的“金字塔”型, 种群自然更新良好, 属增长型种群; (2) 由于种内不同个体间为争夺空间和资源, 种群在第Ⅲ、Ⅳ径级死亡率较高, 自疏作用明显; (3) 白桦种群的存活曲线接近于 Deevey I 型曲线; (4) 在研究尺度内白桦种群以幼树、中龄树为主时呈聚集分布, 而成龄树或老龄树占多数时呈随机分布, 即随着种群年龄的增加, 其分布格局逐渐由集群分布向随机分布转变。乌拉山白桦种群在小于 1.5 m 的尺度呈聚集分布, 即具有 2 株以上个体“丛生”现象。在环境条件相似的情况下, 白桦种群自身的生物、生态学特性是影响其分布格局的最主要因素。

关键词: 白桦; 点格局分析; 种群结构; 乌拉山自然保护区

Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia

HU Ercha^{1,2}, WANG Xiaojian^{1,*}, ZHANG Wenjun¹, HAI Long¹, ZHANG Lei¹, ZHANG Shengli³, XU Pengyan⁴

1 Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Huhhot 010010, China

2 Wuhai Municipal Forestry Bureau, Wuhai 016000, China

3 Wulashan Forestry Station, Bayanhua 015300, China

4 School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China

Abstract: Plant populations comprise individuals of the same plant species existing in a specific area and time. Population structure and spatial patterns are important topics studied by population ecologists. In particular, monitoring plant population structure can help us understand the processes within and between different populations and identify drivers that control plant population dynamics. Analysis of the spatial distributions of populations is important because spatial patterns can reveal many biological characteristics of populations, their intra- and interspecific relationships with co-existing populations, as well as indicate factors underlying environmental factors and related concerns. Thus, population structure and spatial patterns are important indicators of population processes.

We studied *Betula platyphylla* populations which dominate a mountainous area of forest vegetation on Wula Mountain of Inner Mongolia. Pure stands of this tree species are found on shaded or semi-shaded slopes at altitudes above 1800m. We analyzed the demographic structure and spatial patterns of *B. platyphylla* stands in the Wulashan Nature Reserve by

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目 (2011MS0609); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2008BADB0B05)

收稿日期: 2012-01-17; 修订日期: 2012-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjwang_21cn@yahoo.com.cn

establishing three 30m×30m sample plots, and classified older plants into three age groups: middle age, near maturity, and mature plants. Spatial clustering and population dynamics were examined over a range of distances between trees while using tree diameter classes serving as a proxy of tree age, and point pattern analysis (Ripley's *K*-function). Point pattern analysis is widely used for the research of population spatial distribution pattern and inter-species relationships at different scales. In this paper Ripley's *K*-function method, which is a type of point pattern analysis, is also used in this analysis. To derive age classes based on diameter, we selected one representative tree in each plot, measured the diameter at breast height (DBH) and later classified the trees into three classes (9.4, 15.7, and 19.0 cm DBH), did trunk analysis, measured their ages and grouped them into tree ages classes of 30, 54, and 90 years, respectively, and used these data for the basis of dividing the trees into diameter and age classes. Based on our analyses and other existing reports, we can classify the *B. platyphylla* population on Wula Mountain to eight diameter classes: seedling (class I), young trees (class II), middle aged-trees (classes III—IV), and mature trees (classes V—VIII).

Our results suggest: (1) the demographic structure of the *B. platyphylla* population on the Wulashan Nature Reserve follows a typical “pyramid” shape suggesting a high regeneration rate and growth of many young plants in this population; (2) self-thinning is common in this population, which is explained by high intraspecific competition for space and resources and a higher death rate in age classes III and IV; (3) the survivorship curve of the *B. platyphylla* population is close to a Deevey I curve; (4) the *B. platyphylla* population exhibits an aggregated distribution when it is dominated by young and middle aged plants. Distributions are random when it is dominated by mature and old trees. Therefore, we predict that as the population matures, its spatial distribution will change from aggregated to random. We found spatial clustering occurs most strongly at distances of less than 1.5 m. This means two or more individual plants can form a cluster. Based on our findings we conclude the spatial patterns of the *B. platyphylla* population in this area of uniform environment conditions are controlled by biotic interactions and local ecological characteristics.

In summary, we conducted a detailed analysis of the population age structure and spatial patterns of a *B. platyphylla* population in Wulashan Nature Reserve to elucidate peculiarities of population processes and their drivers. This paper attempts to provide a theoretical basis and help develop strategies for balanced natural resource protection in and around the Wula Mountain area. Our data can also serve as a starting point for more in-depth research.

Key Words: *Betula platyphylla*; point pattern analysis; population structure; Wulashan Nature Reserve

种群是在一定空间和时间内的同种生物个体的总和,种群结构和空间分布格局是种群生态学的重要研究内容^[1-3]。种群结构能够反映种群在时间上和空间上的变动规律,从而体现种群动态及其群落的演替趋势^[4-5]。分析种群空间分布格局有助于认识种群的生物学特性、种内和种间关系、种群与环境因子之间的相互关系^[6-8],从而掌握种群动态变化规律及其生态过程。种群结构和分布格局作为种群特定时间和空间上的外在表现形式,在种群的发展过程中相互存在密切的联系。种群的年龄结构和空间分布格局不仅在不同树种之间存在差异^[9-10]、而且同一树种在不同群落类型^[11-12]、不同生境^[13-14]和不同发育阶段^[15]其表现也有所不同。优势种的生长繁育、资源利用及竞争等过程对群落结构的形成与维持、甚至群落演替产生直接或间接的影响,因此,森林群落优势种群的结构和分布格局正受到越来越广泛的关注^[16-19]。

白桦(*Butula platyphylla*)为喜光、耐寒、生长较快的多年生落叶乔木,属桦木科,在我国东北、华北山区及黄土高原南部地区形成大面积纯林或混交林。对于白桦群落结构^[20]、种群结构^[21]、个体生理生态特征^[22]以及经营^[23]等方面已经有了一些报道,而且主要集中在我国东北大兴安岭和长白山地区。一般认为,白桦种群是整个群落演替过程中的一个过渡阶段,白桦林则是一个不稳定的群落类型,随后逐渐被其他针、阔叶树种所取代^[21]。然而,在地处半干旱区的乌拉山分布有大面积的白桦纯林,与天然油松林一起成为了该山区的主体森林群落类型,但尚未见到对该地区白桦种群动态的系统研究。因此,本研究通过对乌拉山自然保护区白桦

种群年龄结构、空间分布格局的分析,探讨其动态规律及其影响机制,以期为乌拉山及周边地区白桦林的保护提供理论依据,同时也为进一步科学研究提供资料。

1 研究区概况

乌拉山自然保护区地理位置为 $E108^{\circ}45'—109^{\circ}26'$ 、 $N40^{\circ}37'—40^{\circ}46'$,东西长度 45 km,南北宽 16 km,总面积为 39517 hm^2 。乌拉山山势呈东西走向,境内地形特点是中段及主脊以南群峰矗立,山高坡陡,地势起伏较大。东西两端和北坡则比较平缓,主峰海拔 2322 m,整体呈现出中山地貌。研究区地处蒙古高原中温带亚干旱气候区,年降水量山前为 250—280 mm,山中为 450—500 mm,山后仅为 210—220 mm,降水主要集中在 7—9 月份。乌拉山成土母质以花岗岩为主,其次为石英岩和石灰岩。主要土壤类型有山地草甸草原土、灰褐土、栗钙土、棕钙土。由于地处荒漠草原与典型草原的交错区,研究区域植物区系成份较为复杂,植物群落类型丰富。山地植被垂直带谱明显,干旱阳坡和阴坡植被类型有明显的差异。森林群落以天然油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林、白桦次生林为主,此外,低海拔干旱阳坡区域分布有侧柏 (*Platy-cladus orientalis*)、杜松 (*Juniperus rigida* Sieb)、灰榆 (*Ulmus glaucescens*)、圆柏 (*Sabina chinensis*) 等构成的针叶林、针阔混交林。灌木群落主要有柄扁桃 (*Prunus. pedunculata*) 灌丛、蒙古扁桃 (*Prunus mongolica*) 灌丛、绣线菊 (*Spiraea uratensis*) 灌丛、黄刺玫 (*Rosa xanthina*) 灌丛等。

白桦群落在乌拉山主要分布在海拔 1800 m 以上的阴坡、半阴坡以及沟谷溪流边水分条件较好的区域。保护区内白桦次生林面积约为 6300 hm^2 ,占保护区总面积的 15.9%,而且基本以纯林的形式存在。在白桦为优势种的群落中伴生有少量山杨 (*Populus davidiana*)、山楂 (*Fructus Crataegi*)、灰荀子 (*Cotoneaster acutifolius*)、蒙古荚蒾 (*Viburnum mongolicum*)、绣线菊 (*Spiraea trilobata*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 等乔灌木种。

2 研究方法

2.1 样地调查

乌拉山白桦次生林主要是在火烧迹地上演替而来的,在海拔 1800 m 以上的阴坡和半阴坡,以一整坡面为分布单元形成纯林,而且在不同坡向(阴坡和半阴坡)和海拔其种群格局和结构基本一致。按照不同演替阶段和分布特点,设置了 3 个具有代表性的样地,分别对应中龄林、近熟林和成熟林,样地大小为 30 m×30 m。采用相邻网格法,将 3 个样地划分为 27 个 10 m×10 m 的样方,对样方内白桦进行每木检尺,测定其树高、胸径、冠幅等。胸径小于 2.5 cm 的植株测其高度。此外,对样方内白桦个体进行定位,方法为以每个样地东北角作为原点,测定其坐标系中的位置(横坐标以 x 表示,纵坐标以 y 表示)。在每个样地对角线上设置 3 个 10 m×10 m 的灌木样方、3 个更新苗样方和 3 个 1 m×1 m 的草本样方进行群落调查。同时记录样方所在地的林分郁闭度、海拔、坡向、坡度等环境因子(表 1)。

表 1 样地基本情况

Table 1 General situation of sampling sites

样地 Site	海拔/m Elevation	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	种群密度 /(株/ hm^2) Population density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height	平均年龄 Average age	郁闭度/% Canopy density
a	1910	10—15	阴坡	2578	8.58±3.40	7.27±1.23	30	95
b	1836	25—30	阴坡	833	13.55±6.91	7.01±2.21	54	85
c	1919	0—5	沟谷溪边	533	18.44±7.06	8.81±2.33	90	70

2.2 种群结构

2.2.1 种群径级结构

将林木依胸径大小分级,以立木级结构代替年龄结构分析种群动态。本研究从每个样地中选取 1 棵标准木(胸径分别为 9.4、15.7、19.0 cm)进行树干解析,把圆盘带回实验室,测定其年龄(年龄分别为 30、54、90a),作为划分径级和林龄的依据。根据调查数据和已有报道^[4,21],将胸径在 2.5 cm 以下的白桦幼苗划定为

第 1 径级,其后以 5 cm 为步长增加一级,将乌拉山白桦种群共划分为 8 个径级(Ⅰ—Ⅷ级),把树木径级从小到大的顺序看作是时间顺序关系,统计了样地内各径级白桦株数。依据径级和树干解析,将乌拉山白桦种群分为幼苗(Ⅰ级)、幼树(Ⅱ级)、中龄树(Ⅲ—Ⅳ级)和成龄树(Ⅴ—Ⅷ级)4 个年龄段。

2.2.2 种群静态生命表的编制

以树木的胸径作为度量树木年龄的指标,统计各个龄级内的白桦个体数,编制乌拉山白桦种群静态生命表。

2.2.3 存活曲线的绘制

根据静态生命表,以径级为横坐标,存活量的自然对数为纵坐标,绘制乌拉山白桦种群的存活曲线。

2.3 种群空间分布格局分析

点格局分析方法^[24]被广泛应用于不同尺度的种群空间分布格局及其种间关系的研究^[25]。用函数 $\hat{K}_{(r)}$ 估计:

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

式中, A 为样地面积, n 为总点数(植物个体数), u_{ij} 为点 i 和点 j 之间的距离,当 $u_{ij} \leq r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 1$, 当 $u_{ij} > r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 0$; W_{ij} 为以点 i 为圆心, u_{ij} 为半径的圆落在面积 A 中的比例,为一个点可被观察到的概率,可校正边界效应引起的误差。

通常用 $L_{(r)}$ 代替 $\hat{K}_{(r)}$ 函数,其表达式为:

$$L_{(r)} = \sqrt{\hat{K}_{(r)}/\pi} - r \quad (2)$$

当 $L_{(r)} = 0$ 时,表示随机分布;当 $L_{(r)} > 0$ 时,为集群分布;当 $L_{(r)} < 0$ 时,为均匀分布。

用 Monte-Carlo 拟合检验计算上下包迹线,即置信区间。用随机模型拟合一组点的坐标值,对每一个 r 值,计算 $L_{(r)}$ 值。重复进行这一过程直到达到事先确定的次数。样地范围内,100 次 Monte-Carlo 拟合得到 99% 的置信区间。 $L_{(r)}$ 的最大值和最小值分别为上下包迹线的坐标值。用 r 作为横坐标,上下包迹线作为纵坐标绘图。 $L_{(r)}$ 值若在包迹线以内,则符合随机分布;若在包迹线以外,呈集群分布。数据分析过程通过生态学软件 ADE-4 完成。

3 结果与分析

3.1 种群径级结构

在一定条件下树种的径级和龄级对环境的反应规律具有一致性^[26]。从图 1 中可以看出,乌拉山自然保护区白桦种群径级结构呈典型的“金字塔”型,种群年龄属增长型。在各径级中Ⅰ级幼苗数量最多(3 个样地中分别为 27、76、48 株),表明种群自然更新良好。然而,种群径级结构在不同样地之间存在明显差异,样地 a 白桦种群 78.8% 的个体集中在第Ⅱ、Ⅲ径级,其次为第Ⅰ级幼苗数,占总个体数的 10.8%,而且样地 a 内未出现Ⅴ级及以上的成龄树或老龄树,样地 b 幼苗数量较多,种群呈增长型种群;而样地 c 以中龄树和成龄树占多数,但幼苗数量也增加,种群呈稳定型。样地 a 最大径级为Ⅴ级、样地 b 为Ⅶ级,而且样地 c 第Ⅱ径级处出现“断层”现象,这也某种意义上与种群“潮动”发展现象类似^[27]。

3.2 种群静态生命表

根据群落调查资料,将 3 个样地相对应的径级个体数合并,以径级代替年龄,编制了乌拉山自然保护区白桦种群静态生命表。由于第Ⅱ径级存活数小于第Ⅲ径级存活数,与实际不符,为了满足生命表编制的要求,把第Ⅰ径级幼苗存活数归并到第Ⅱ径级幼树当中制表。由表 2 可以看出,乌拉山白桦种群死亡率随着径级的增加大致为上升趋势,说明乌拉山白桦纯林群落中白桦种群的生长发育主要受限于其自身的生物学特性和种内竞争。其中,第Ⅲ级和第Ⅳ级死亡数和死亡率均较高,这是由于白桦种群在其生长过程中,种内争夺空间和光照的竞争愈演愈烈,种群产生自疏现象所导致。第Ⅴ级死亡率降低,随后进入一个平稳的生长期,随着龄级的

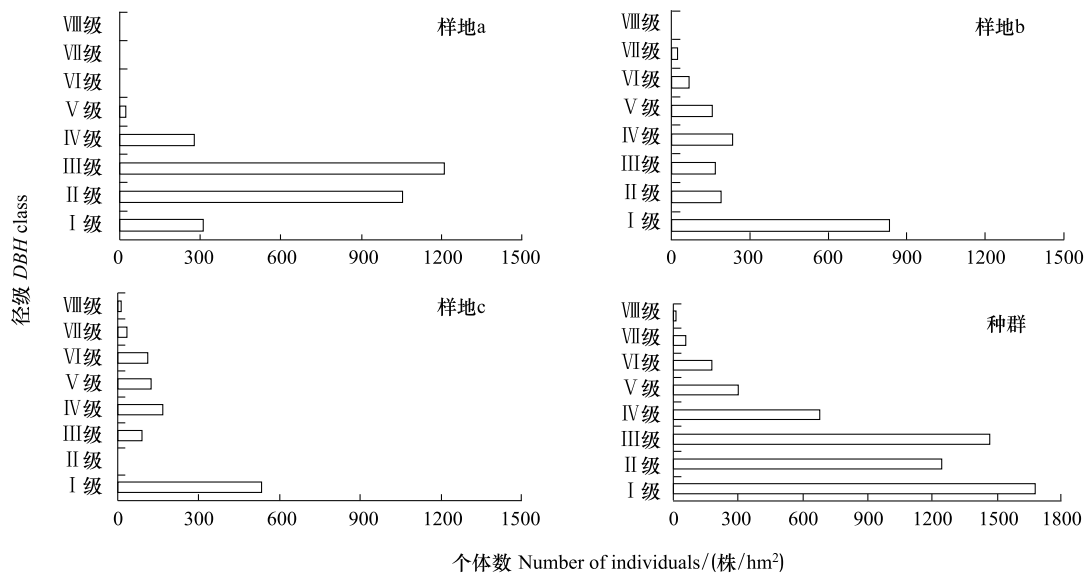


图1 白桦种群径级结构

Fig.1 The DBH class structure of *Betula platyphylla* population in Wulashan Nature Reserve

增加,死亡率也逐渐升高,直到其生理年龄。种群生命期望随着径级的增加呈递减趋势,这种趋势符合种群的生物学特征。而第V级生命期望值高于第IV级,这是由于从第Ⅲ级开始产生自疏作用后其生命力增强有关,随后生命期望值又逐渐下降。

表2 白桦种群静态生命表

Table 2 Life table of *Butula platyphylla* population in Wulashan Nature Reserve

x DBH class	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x
Ⅱ级	263	1000	498	0.498	751	1420	1.420
Ⅲ级	132	502	270	0.538	367	669	1.333
Ⅳ级	61	232	129	0.557	167	302	1.303
Ⅴ级	27	103	42	0.407	82	135	1.315
Ⅵ级	16	61	42	0.688	40	53	0.875
Ⅶ级	5	19	15	0.800	11	13	0.700
Ⅷ级	1	4	—	—	2	2	0.500

x :径级; a_x :在 x 龄级内现有的个体数 Number of survival; l_x :在 x 龄级开始时标准化存活个体数 Standard survival, $l_x = a_x / a_0 \times 1000$; d_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间标准化死亡数 Standard death at interval, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率 Mortality rate, $q_x = d_x / l_x$; L_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间平均存活个体数 Average number of survival, $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$; T_x :从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数 Total number of survival individuals from x DBH class, $T_x = \sum L_x$; e_x :进入 x 龄级的生命期望寿命 Expecting life, $e_x = T_x / l_x$

3.3 种群存活曲线特征

存活曲线是一条借助于存活个体数量来描述种群个体在各龄级的存活状况的曲线,可划分为 Deevey I型、Deevey II型和 Deevey III型^[1]。由图2可见,乌拉山白桦种群的存活曲线接近 Deevey I型,I—Ⅲ径级存活率较高,而后存活率开始下降,尤其从Ⅵ径级开始白桦年龄接近其生理年龄,其存活率显著下降。其中,导致从Ⅲ—Ⅵ径级存活率下降的主要原因是种内竞争所引起的自疏作用。因此,从严格意义上讲,该存活曲线介于 Deevey I型和 Deevey II型曲线之间。

3.4 种群点格局分析

样地中个体分布的点图见图3,图中横、纵坐标均代表30 m,树木个体坐标值用实测距离值表示。从图3可以看出,在3个样地中胸径 ≥ 2.5 cm的白桦个体分别出现了232、80、53株。结合上述径级结构分析后可以

看出,乌拉山白桦小径级个体数量占优势的增长型种群密度较大。随着径级的增加,种群密度呈下降趋势,最后达到一个稳定的生长阶段(表 1)。更新苗对种群现有分布格局还未产生明显影响,本研究对胸径 ≥ 2.5 cm 的个体进行了点格局分析。

图 4 为 3 个样地内白桦种群点格局分析的结果。分析时取 r 的间隔为 1 m、最大值为 15 m。从图 4 可以看出,样地 a 白桦种群在所研究尺度($r=15$ m)范围内呈集群分布;样地 b、c 白桦种群在 $r \leq 1.5$ m 时呈集群分布,当 $r > 1.5$ m 时呈随机分布。 $r \leq 1.5$ m 时呈集群分布是由于研究区白桦具有“丛生”现象所致,野外实地踏查发现,尤其由小径级组成的种群,如样地 a 中“丛生”株数明显高于其他两个样地,一般由 2—7 株组成。

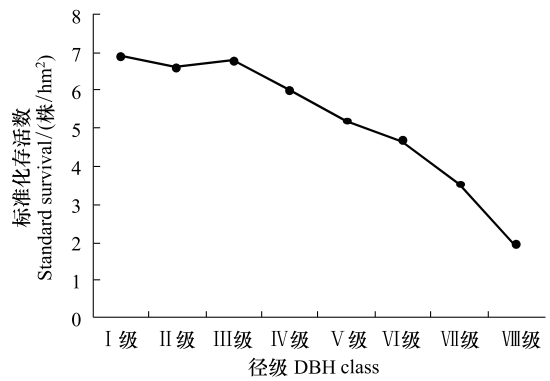


图 2 白桦种群的存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Butula platyphylla* population in Wulashan Nature Reserve

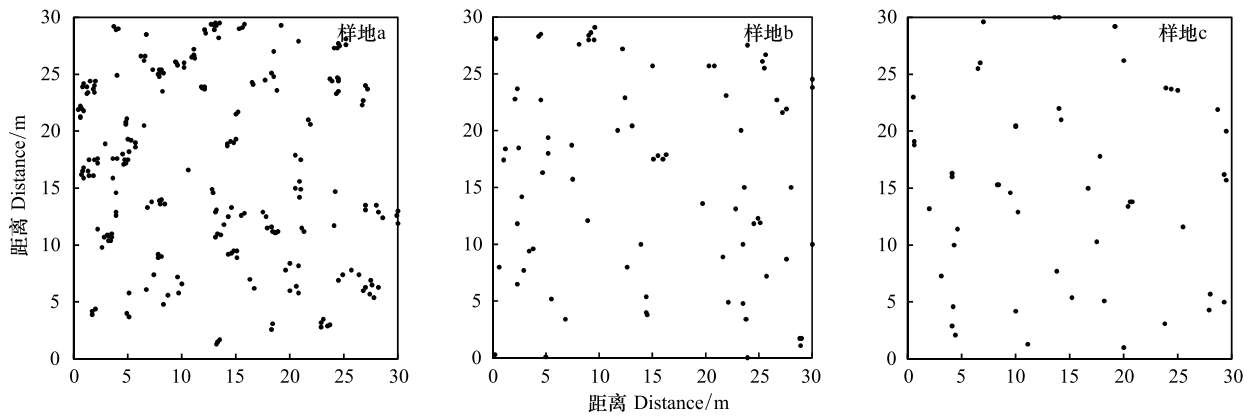


图 3 白桦个体空间分布点图

Fig. 3 Mapped point pattern of *Butula platyphylla* in different sampling sites

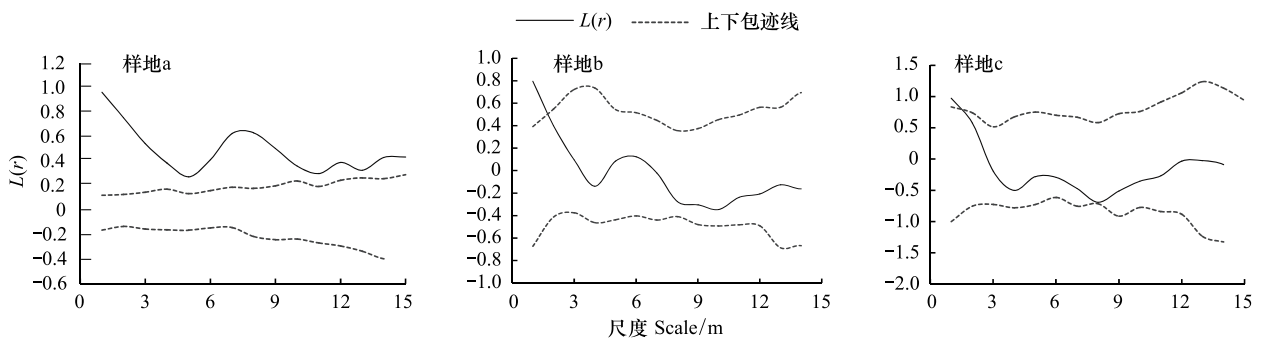


图 4 白桦种群空间分布格局

Fig. 4 Spatial pattern of *Butula platyphylla* in different sampling sites

4 讨论

4.1 种群径级结构与稳定性

乌拉山自然保护区白桦种群径级结构呈典型的“金字塔”型,幼苗补给相对充足,种群年龄属增长型。但在不同样地间种群的径级结构和个体数量存在较明显的差异,呈现的是增长型和稳定型 2 个类型。种群自身的生物学特性和生境条件影响种群分布格局^[6,28]。乌拉山白桦群落所分布的生境类型主要有 2 种,即高海拔

阴坡、半阴坡(样地 a、b)和沟谷溪流边上(样地 c)。从白桦种群的年龄结构和分布格局分析可以看出(样地 b 和样地 c 表现出相似的结果),上述 2 种生境的差异对白桦种群并未产生明显影响。因此,在乌拉山环境条件相似的前提下,白桦自身的生物学特性对种群的结构和格局及过程中起主要作用。在生境条件的差异对种群的影响不明显的前提下,本文为了更好地揭示种群年龄结构的变化特征,把 3 个样地看作是林龄由小到大(a—b—c)的时间序列,分别对应种群不同演替发育阶段。此时,在整个时间序列上看乌拉山白桦种群更新方式类似于阳含熙等^[27]研究长白山阔叶红松林年龄结构和更新策略时提出的“浪潮”式间断更新模式而维持其稳定性。研究区白桦更新存在一定波动性和周期性^[29],这是由不同时期产生的林窗大小、数量不同,表现在年龄结构上所致。而在整个区域尺度上,即几个样地合并后乌拉山白桦种群径级结构呈“金字塔”型,种群处在一个较长时期的稳定阶段。说明白桦种群在我国北方半干旱山地高海拔区域形成纯林后群落能够在较长时间维持一个较稳定的状态。

4.2 群落结构与白桦种群结构的关系

植物群落是植物种群的集合体,不同物种在群落中在有序状态下生存,而且不同物种之间相互依存、相互竞争和协同进化下使群落处于相对稳定的状态^[1]。乌拉山白桦群落层片结构中,林冠层由白桦单一树种组成。白桦种群结构和格局的变化直接影响着林下灌木层和草本层种类组成和结构。以白桦为单优种的群落内,乔木层最主要的竞争来自白桦种内竞争。乌拉山白桦种群种内竞争在第Ⅲ、Ⅳ径级表现最为激烈,这是由于此径级的白桦个体已开始进入林冠层(图 5),大量的白桦个体(图 1)集中在有限的空间内,为了争夺空间和阳光,产生自疏现象,有大量个体死亡。乌拉山白桦种群自疏现象出现的径级比北京东灵山地区^[4]有所提前,这可能与区域气候差异和环境条件不同造成的。自疏作用产生后第Ⅴ径级出现生命期望值增加的现象,这是与在第Ⅲ级开始产生自疏作用后其生命力增强有关^[4,30]。自疏作用不仅降低了种内竞争,同时为林下灌、草层和更新苗提供了空间和光照(表 3)。

表 3 林下灌木层数量特征

Table 3 Quantitative characteristics of shrub layers of undergrowth

样地 Site	丰富度指数 Species richness index	多样性指数 Shannon-Weiner diversity index	均匀度指数 Pielou evenness index	密度/(株/hm ²) Density
a	0.701	0.758	0.547	2433
b	0.869	1.318	0.819	3333
c	0.83	1.464	0.752	4233

灌木层物种丰富度指数、Shannon-Weiner 多样性指数和均匀度指数随着白桦种群平均胸径的增加(样地 a < 样地 b < 样地 c)而增加。这是由于随着径级的增加,样地中种群个体数量减少,密度下降,为林下灌木的入侵和生长提供良好的生存环境所造成的。主要伴生灌木种类有灰荀子、绣线菊、金露梅和蒙古莢蒾等。而更新苗数量大小顺序为样地 b > 样地 c > 样地 a,样地 b 幼苗数量多于样地 c 是由于样地 c 林窗较大,林下灌木层发育较好,与幼苗共同竞争空间、光和土壤养分等,使得幼苗成活率降低所造成。而幼苗一旦进入幼树阶段,竞争力和生长力明显提高,迅速进入林冠层(图 5)(Ⅰ—Ⅲ径级生长速度最快),同时进入种群发展的下一个周期。较多的更新苗补给为乌拉山白桦种群的更新和稳定性创造了条件,白桦种群对当地环境具有较强的适应能力。因此,在环境条件没有大的波动的情况下,影响白桦更新繁育以及分布格局的主要因素是其种内竞争

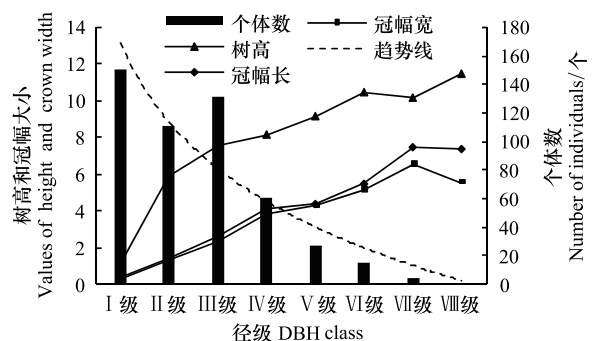


图 5 不同径级白桦生长特性

Fig. 5 Growth characteristics of *Butula platyphylla* in different DBH classes

和自疏作用。在乌拉山自然保护区,围栏封育效果明显,种群更新状况良好,整体结构也比较合理。

4.3 种群径级结构和分布格局的关系

种群的年龄结构和分布格局通常是植物自身的生物学特性、环境因素共同作用的结果,可以反映种群动态变化规律和群落的发展趋势^[31-32]。种群发育过程直接影响其个体分布格局,使得更好地利用有限的资源(包括水、热、光、土壤养分),因此树种在不同发育阶段、不同林龄级会表现出不同的空间格局,这与种群的自疏过程、群落内微环境变化等有密切相关^[15,33]。很多学者对不同森林群落优势种群的结构特征、不同径级个体分布格局的研究表明,随着种群径级(年龄)的增大,种群由集群分布向随机分布转变或聚集程度降低^[7,34-35]。本项研究采用空间差异代替时间变化的方法^[36]对乌拉山不同林龄白桦种群(中龄林、近熟林和成熟林)进行点格局分析,得出与以上研究类似的结果,即在研究尺度内白桦种群以幼树、中龄树为主时呈聚集分布,而成龄树或老龄树占多数时呈随机分布。以白桦为单优种的群落中,种群自调节机制以种内竞争为主,小径级种群密度相对较大(样地 a),个体生存需要的资源较少,竞争相对较弱,以集群形式占有和利用环境资源,有利于维持种群自身稳定^[37]。随着龄级的增大,种群个体因对光照、水分和土壤养分等有限资源的争夺加剧,致使种群产生自疏效应,个体数量减少,密度下降,聚集程度不断减弱,最终表现为随机分布格局^[38]。然而,在不同样地中,白桦个体在较小尺度(小于 1.5 m)上均呈集群分布,即 2—7 株个体“丛生”分布,这可能是由白桦种子散布、土壤结构和养分异质性所致,并非仅种内、种间竞争^[12]引起的。

种群的空间格局由本身的生物学特性和环境条件相互作用决定的,而因研究尺度^[39]、取样方法等的不同会得出不同的结果。以往大多研究在同一群落内按照不同龄级分析个体空间分布格局,在一定程度上能够说明种群结构变化的动态机制^[4],但难免受群落自身结构和小环境的影响。对于乌拉山白桦纯林群落而言,环境和气候条件基本一致,而种群处在不同发育阶段,林龄结构存在明显差异。因此,采用空间差异代替时间变化的方法,根据不同发育阶段设样,分析种群结构和分布格局,能够补充因单一随机性取样的不足^[40]。建立自然保护区以来,乌拉山白桦更新苗得到有效保护,种群结构维持良好,将后应继续围封保育的同时加强森林病虫害防治工作,以提高白桦种群稳定性。

References:

- [1] Jiang H. Population Ecology of *Picea asperata*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 8-26.
- [2] Somanathan H, Borges R M. Influence of exploitation on population structure, spatial distribution and reproductive success of dioecious species in a fragmented cloud forest in India. *Biological Conservation*, 2000, 94: 243-256.
- [3] Zhang Y X, Ma K M, Qi J, Feng Y, Zhang J Y. Size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population along elevation gradient in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2789-2796.
- [4] Yang H, Lou A R, Gao Y J, Song H T. Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula Platyphylla* population in the Dongling mountain region, Beijing, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2): 272-282.
- [5] Masaki T, Ota T, Sugita H, Oohara H, Otani T, Nagaike T, Nakamura S. Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. *Forest Ecology and Management*, 2004, 194: 389-401.
- [6] He F, Legendre P, LaFrankie J V. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 1997, 8: 105-114.
- [7] Li L, Chen J H, Ren H B, Mi X C, Yu M J, Yang B. Spatial patterns of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* in mid-subtropical broadleaved evergreen forest in Gutianshan National Reserve, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(3): 241-252.
- [8] Wang B Y, Yu S X. Multi-scale analyses of population distribution patterns. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 235-241.
- [9] Wang C H, Wei B, Li J Q. Community structure and seedlings regeneration of Chinese sweet gum (*Liquidambar formosana*) forest and pine (*Pinus massoniana*)-sweet gum mixed forest in southeast hilly region of Hubei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4681-4692.
- [10] Chai Y, Zhu H, Meng G T, Shi J P, Yang G P. Population structure and distribution pattern of dominant tree species in ancient tee tree community in Ailao mountains of Yunnan Province, China. *Forest Research*, 2011, 24(3): 277-284.
- [11] Wang P, Chen L H, Bian X C, Wu Q Y. Community structure and distribution pattern of a natural secondary forest in Beigou forest farm. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1668-1674.

- [12] Yan H B, Han Y Z, Yang X Q, Wang L Y, Xiang X Y. Spatial distribution patterns and associations of tree species in typical natural secondary mountain forest communities of Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2311-2321.
- [13] Zhang Y T, Li J M, Chang S L, Li X, Lu J J. Spatial distribution pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population and its relationships with topographic factors in middle part of Tianshan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11): 2799-2806.
- [14] Hao C Y, Liu P, Wu Z W. Study on *Heptacodium miconioides* population structure and spatial distribution pattern in the central Zhejiang Province. *Forest Research*, 2006, 19(6): 778-784.
- [15] Su W, Yue Y J, Yu X X. Community structure and population spatial pattern of *Pinus tabulaeformis* natural forests. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(3): 18-20, 61.
- [16] Miyadokoro T, Nishimura N, Yamamoto S. Population structure and spatial patterns of major trees in a subalpine old-growth coniferous forest, central Japan. *Forest Ecology Management*, 2003, 182: 259-272.
- [17] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology Management*, 2005, 219: 43-55.
- [18] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavechewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, LaFrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288(5470): 1414-1418.
- [19] Niu L L, Yu X X, Yue Y J. Spatial patterns of different age-class individuals in *Pinus tabulaeformis* forest in Songshan Nature Reserve of Beijing, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1414-1418.
- [20] Guo Q Q, Zhang W H, He J F, Wang Z H. Structural characteristics of different *Betula platyphylla* communities in Huanglong Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(1): 132-138.
- [21] Sun B, Yang G T, Li H, Ma R P. Study on the age structure of *Betula platyphylla* population and the succession of its community. *Journal of Northeast Forestry University*, 1994, 22(3): 43-48.
- [22] Wang A M, Zu Y G. Photosynthetic characteristics of birch during different succession stage in Great Xingan Mountain. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27(2): 190-193.
- [23] Chai Y X. The feature and management of natural birch forest. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, 28(5): 31-34.
- [24] Ripley B D. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 1977, 39(2): 172-212.
- [25] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 344-349.
- [26] Frost I, Rydin H. Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed tree *Quercus robur* in two spruce-dominated forests. *Écoscience*, 2000, 7(1): 38-44.
- [27] Yang H X, Wu Y G. Tree composition age structure and regeneration strategy of the mixed broadleaf korean pine forest in Changbaishan Biosphere Reserve, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1988, 24(1): 18-27.
- [28] Kang H J, Chen Z L, Liu P, Hao C Y, Wei F M. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 389-396.
- [29] Liu H, Han Q J, Sun X G. Size structure and population dynamics of *Betula platyphylla* in different community types in Quwu Mountain Natural Reserve of Gansu Province. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2004, 39(2): 208-212.
- [30] Zhang Q Y, Luo P, Zhang Y C, Shi F S, Yi S L, Wu N. Ecological characteristics of *Abies georgei* population at timberline on the north-facing slope of Baima Snow Mountain, Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 129-135.
- [31] Crawley M J. *Plant Ecology*. London: Blackwell Scientific Publications, 1986: 97-185.
- [32] Wu X P, Zheng Y, Ma K P. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(2): 212-223.
- [33] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983.
- [34] Hong W, Liu J, Wu C Z. A study on structure and spatial distribution pattern of *Castanopsis hystrix* population. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(S1): 6-10.
- [35] Wang L, Zhang C Y, Zhao X H. Spatial pattern of korean pine broadleaved forests in Changbai Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(5): 54-59.
- [36] Yin A G, Su Z X, Li C H. Distribution patterns and dynamics of dominant mountaintop elfin forest populations in Shimentai Nature Reserve in Guangdong. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 55-59.
- [37] Zhang J T, Meng D P. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 35-40.
- [38] Zhang J, Hao Z Q, Song B, Ye J, Li B H, Yao X L. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-

leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1681-1687.

- [39] He F, Duncan R P. Density-dependent effects on tree survival in an old-growth Douglas fir forest. Journal of Ecology, 2000, 88: 676-688.
- [40] Yi L T, Han H R, Cheng X Q, Kang F F, Zhang Z J. Spatial distribution patterns of *Quercus liaotungensis* population in Lingkong Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3254-3261.

参考文献:

- [1] 江洪. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 8-26.
- [3] 张育新, 马克明, 祁建, 冯云, 张洁瑜. 北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布. 生态学报, 2009, 29(6): 2789-2796.
- [4] 杨慧, 娄安如, 高益军, 宋宏涛. 北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局. 植物生态学报, 2007, 31(2): 272-282.
- [7] 李立, 陈建华, 任海保, 米湘成, 于明坚, 杨波. 古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析. 植物生态学报, 2010, 34(3): 241-252.
- [8] 王本洋, 余世孝. 种群分布格局的多尺度分析. 植物生态学报, 2005, 29(2): 235-241.
- [9] 王传华, 魏斌, 李俊清. 鄂东南枫香 (*Liquidambar formosana*) 林、马尾松 (*Pinus massoniana*) - 枫香林群落结构及更新. 生态学报, 2009, 29(9): 4681-4692.
- [10] 柴勇, 朱华, 孟广涛, 施济普, 杨国平. 云南哀牢山古茶树群落优势树种的种群结构与分布格局. 林业科学研究, 2011, 24(3): 277-284.
- [11] 王鹏, 陈丽华, 卞西陈, 武巧英. 北沟林场天然次生林群落结构与种群分布格局. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1668-1674.
- [12] 闫海冰, 韩有志, 杨秀清, 王丽艳, 项小英. 华北山地典型天然次生林群落的树种空间分布格局及其关联性. 生态学报, 2010, 30(9): 2311-2321.
- [13] 张毓涛, 李吉政, 常顺利, 李翔, 卢建江. 天山中部天山云杉种群空间分布格局及其与地形因子的关系. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2799-2806.
- [14] 郝朝运, 刘鹏, 邹周伟. 浙江中部七子花种群结构与空间分布格局的研究. 林业科学研究, 2006, 19(6): 778-784.
- [15] 苏薇, 岳永杰, 余新晓. 油松天然林群落结构及种群空间分布格局. 东北林业大学学报, 2009, 37(3): 18-20, 61.
- [19] 牛丽丽, 余新晓, 岳永杰. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1414-1418.
- [20] 郭其强, 张文辉, 何景峰, 王贞红. 黄龙山不同白桦林群落结构特征研究. 西北植物学报, 2007, 27(1): 132-138.
- [21] 孙冰, 杨国亭, 李弘, 马瑞萍. 白桦种群的年龄结构及其群落演替. 东北林业大学学报, 1994, 22(3): 43-48.
- [22] 王爱民, 祖元刚. 大兴安岭不同演替阶段白桦种群光合生理生态特征. 吉林农业大学学报, 2005, 27(2): 190-193.
- [23] 柴一新. 天然白桦林的特点与经营. 东北林业大学学报, 2000, 28(5): 31-34.
- [25] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344-349.
- [27] 阳含熙, 伍业钢. 长白山自然保护区阔叶红松林林木种属组成、年龄结构和更新策略的研究. 林业科学, 1988, 24(1): 18-27.
- [28] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 郝朝运, 韦福民. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局. 生态学报, 2007, 27(1): 389-396.
- [29] 刘荟, 韩庆杰, 孙学刚. 甘肃省屈吴山自然保护区不同群落类型中白桦的大小级结构与种群动态. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(2): 208-212.
- [30] 张桥英, 罗鹏, 张运春, 石福列, 易绍良, 吴宁. 白马雪山阴坡林线长苞冷杉 (*Abies georgei*) 种群结构特征. 生态学报, 2008, 28(1): 129-135.
- [34] 洪伟, 柳江, 吴承祯. 红锥种群结构和空间分布格局的研究. 林业科学, 2001, 37(1): 6-10.
- [35] 王蕾, 张春雨, 赵秀海. 长白山阔叶红松林的空间分布格局. 林业科学, 2009, 45(5): 54-59.
- [36] 尹爱国, 苏志尧, 李彩红. 广东石门台自然保护区山顶矮林优势种群分布格局及动态. 生态学杂志, 2006, 25(1): 55-59.
- [37] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析. 生态学报, 2004, 24(1): 35-40.
- [38] 张健, 郝占庆, 宋波, 叶吉, 李步杭, 姚晓琳. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1681-1687.
- [40] 伊力塔, 韩海荣, 程小琴, 康峰峰, 张志杰. 灵空山林区辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 种群空间分布格局. 生态学报, 2008, 28(7): 3254-3261.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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