

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **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 19 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋凤, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201305211136

韩路, 席琳乔, 王家强, 王海珍, 宇振荣. 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局. 生态学报, 2013, 33(19): 6181-6190.

Han L, Xi L Q, Wang J Q, Wang H Z, Yu Z R. Life history characteristics and spatial distribution of *Populus pruinosa* population at the upper reaches of Tarim River. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6181-6190.

塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局

韩 路^{1,3,*}, 席琳乔², 王家强¹, 王海珍¹, 宇振荣³

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学动物科学学院, 新疆阿拉尔 843300;

3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 灰胡杨是荒漠地区特有的珍稀濒危植物, 主要分布在塔里木河流域, 是塔里木荒漠生态系统的关键种之一。在塔里木河上游选择具有代表性群落设立 5 hm² 研究样地, 应用相邻格子法进行每木调查, 从年龄结构、生命表特征、存活曲线、生存分析以及种群不同发育阶段个体空间分布格局等方面研究了灰胡杨种群生活史动态特征与空间分布规律。结果表明: 塔里木河上游灰胡杨种群结构整体上呈钟型, 幼树个体较少, 成年个体较多, 属暂时稳定型种群; 不同生境种群结构不同, 随河流走向种群结构由稳定型转为衰退型。种群存活曲线趋于 Deevey II, 生存率呈单调下降趋势, 中期 (VI—IX) 降幅较高; 危险率呈上升趋势, 于 IX 龄级出现危险率与死亡率、消失率高峰, 生命期望单调下降, 反映种群生存力下降的趋势。灰胡杨种群空间分布格局总体上为聚集分布, 因生境不同空间格局发生变化, 这是种群适应环境压力及与环境协同进化的结果; 种群空间格局随发育进程而变化, 从幼龄到中、大龄, 种群分布格局的聚集强度减弱并逐渐转变为随机分布, 这是种内竞争强度变化的结果。环境因子与种群分布多度的相关与逐步回归分析表明地下水位是影响种群分布的主要因素。可见, 塔里木河上游灰胡杨种群结构与空间分布格局随生境和时间发生变化, 环境因素和生物因素是影响灰胡杨种群生态特征的两个主要原因。

关键词: 塔里木河上游; 灰胡杨; 种群结构; 生活史; 空间分布格局

Life history characteristics and spatial distribution of *Populus pruinosa* population at the upper reaches of Tarim River

HAN Lu^{1,3,*}, XI Linqiao², WANG Jiaqiang¹, WANG Haizhen¹, YU Zhenrong³

1 College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, China

2 College of Animal Science, Tarim University, Alar 843300, China

3 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: *Populus pruinosa* Schrenk, a rare and vulnerable plant in arid deserts occurring mainly in the Tarim River Basin, is a key species of the Tarim desert ecosystem. The existence and development of desert riparian forest has controlled the structure and function of the desert ecosystem and eased sustainable development in the region. Since the 1950s, people used soil and water resources in the upper reaches of the Tarim River in an unsustainable manner, resulting in poor forest growth and death of many areas of forest. This directly endangered the sustainable development of the oasis' agricultural system and disturbed the ecological balance in this area. We studied the life history characteristics and spatial distribution patterns of *P. pruinosa* populations in the upper reaches of the Tarim River, Xinjiang, China, to determine the ecological characteristics of *P. pruinosa* populations and to learn how biological and environmental factors affect population the distribution and dynamics. The current trends in development of the *P. pruinosa* forest was studied, with the goal of ensuring the wise use (conservation) and protection (preservation) of this precious tree species in the Tarim River Basin.

The survey area was located in the upper reaches of Tarim River (40°25'—41°10'N, 80°10'—84°36'E). Five 1.0 hm² plots were established and divided into 100 subplots. Diameter at breast height (DBH) of all trees DBH > 2.5 cm,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31060066); 973 前期研究专项资助 (2012CB426507, 2011CB411909)

收稿日期: 2013-05-21; 修订日期: 2013-07-25

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

regeneration-sized trees of *P. pruinosa* and shrubs as well as herbs were identified and measured using a contiguous grid quadrat method. We determined the life table, age structure and survivorship curve of *P. pruinosa* populations to analyze population structure and dynamics. We divided trees into four groups based on twelve *DBH* size classes to analyze spatial pattern dynamics for different age classes using field data. The results showed that the age structure of *P. pruinosa* populations had a bell shape with a low percentage of younger and healthy adult trees, which indicated the population is temporarily stable. The age structures of *P. pruinosa* populations were different in different habitats and the population structure transitioned from stationary to declining shape as one proceeded down river. The survivorship curve of *P. pruinosa* populations conformed to Deevey type II shape. The survival rate decreased over time as trees aged and survival rate of the medium aged trees (VI—IX) decreased more quickly. The hazard rate for *P. pruinosa* populations increased with developing age and the mortality rate surpassed the survival rate after trees reached the VIII age class. Moreover, the mortality rate, hazard rate and age-specific mortality rate peaked in the IX age class and life expectancy decreased monotonically during a given tree's life span, which was caused by intraspecific competition for resources and physiological aging. This species generally has a clumped distribution pattern, but spatial distribution patterns differed among plots and growth periods, which implies that the spatial distribution of this species at any one site is the result of adaptation to environmental stress and interaction with the local environment. The spatial distribution patterns of different growth stages of *P. pruinosa* populations varied as age increased; aggregation intensity gradually decreased and changed over time from a clumped to a random pattern as trees matured from young to middle-age to old trees, which was a result of changes in the intensity of intraspecific competition. Correlation and stepwise regression analysis between environmental factors and population density showed that groundwater level was the main factor affecting the population distribution. As a result of variations in the availability of groundwater, the population structure and spatial pattern varied with different growth periods and different habitats, which revealed that biological and environmental factors were the two main types of factors affecting the population's ecological characteristics. We conclude conservation strategies designed to protect *P. pruinosa* populations should focus on improving habitat conditions and seedling establishment, while reducing human disturbance and enhancing genetic diversity.

Key Words: the upper reaches of Tarim River; *Populus pruinosa* schrenk; population structure; life history; spatial distribution

种群结构是植物种群的重要属性,它能反映种群空间上的变动规律,并能客观体现种群动态及其群落的发展、演变趋势^[1]。种群分布格局是种群研究的重要内容,是种群的重要结构特征之一。研究种群分布格局的目的不仅是对种群的水平结构进行定量描述,更重要的是用以揭示格局的成因,阐述种群及群落的动态变化^[2]。在某种意义上来说种群结构与动态是对环境适应与选择的结果^[3]。因此,研究荒漠河岸林优势种群结构与空间格局,分析种群种内和种间竞争是揭示种群生活史对策和动态机制的重要手段^[4]。

灰胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk)属杨柳科杨属中最古老、最原始的多年生落叶阔叶乔木,是古地中海植物区系的孑遗种。灰胡杨于1987年被列入《中国珍稀濒危保护植物名录》中,为渐危、三级保护植物和珍贵的抗逆种质资源。近年来,随着全球气候变暖和区域水土资源的过度开发利用,天然灰胡杨林面积锐减、植被退化、优势种生长衰败^[5]。由于灰胡杨独特的生理生化和生态学特性及在生态环境保护中的作用,越来越受到人们的关注。学者曾对塔里木荒漠灰胡杨的分布、群落特性与繁殖特性、光合水分生理、抗逆性与遗传差异等方面进行了研究^[6-8]。但关于塔里木河上游大面积自然分布的灰胡杨种群结构与空间分布格局及其动态方面未见系统的研究报道。灰胡杨种群在塔里木河上游的生长状况和种群动态如何?生活史特征是什么?生物因素和环境因素如何影响灰胡杨种群的空间分布?本研究通过对塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征、年龄结构、数量动态与空间分布格局等方面研究,掌握灰胡杨种群的生存现状,分析过去种群结构与受干扰状态,揭示灰胡杨种群的整体活力,发展特征,动态规律及其影响机制,这对种群濒危机制的探索、种群的合理保护和增殖具有重要的理论和现实意义,同时也为荒漠河岸林生态系统的恢复与重建提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

塔里木河上游系指从阿克苏河、叶尔羌河、和田河三河交汇的肖夹克至轮台县的英巴扎,总长495 km(图1)。该区经纬度40°25'—41°10'N,80°10'—84°36'E;平均日照时数2729.0 h,太阳总辐射能5796 MJ·m⁻²·a⁻¹,年平均气温10.4℃,≥10℃年积

温 4340 ℃,平均气温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的持续日数为 201 d,极端最高温度 39.4 ℃,极端最低温度 $-25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量 50.4 mm,年平均蒸发量 1880.0 mm,干燥度 12—19。风沙灾害频繁,春、夏季多大风天气,是该地区风沙危害的主要季节。该区植被组成简单、稀疏,乔灌木三层结构明显。乔木主要有胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)、灰胡杨;林下植物主要有多枝怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss)、芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、罗布麻(*Apocynum venetum* Linn.)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata* Batal.)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)、西北天门冬(*Asparagus persicus* Baker)、小花棘豆(*Oxytropis glabra* (Lam.) DC.)等植物。

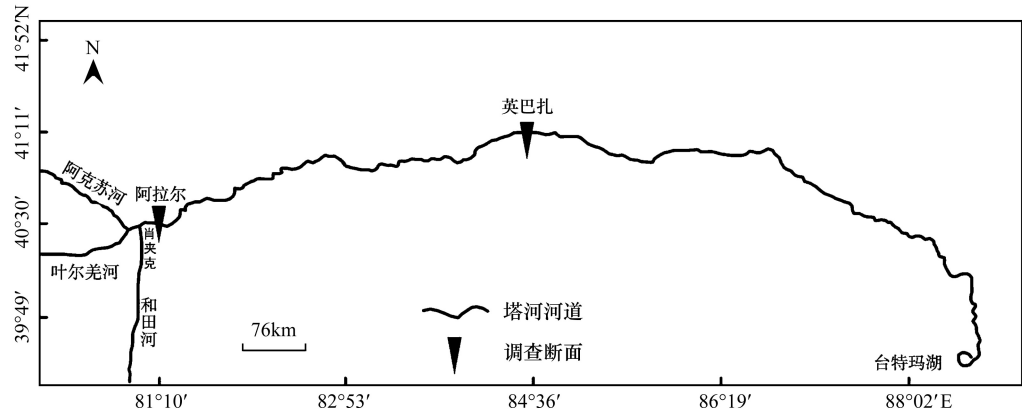


图 1 塔里木河上游调查断面示意图

Fig.1 Investigation sections at the upper reaches of the Tarim River

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与外业调查方法

野外充分踏查的基础上在塔里木河上游(UR)—上段(A)阿拉尔、下段(C)英巴扎断面选择面积较大、人为干扰较小、林分具有代表性的天然灰胡杨林,在林地内选取 4 个调查地点(A₁丰收三场、A₂托海乡、A₃水工三连、C 轮南镇—塔河以北),共 5 块 100 m×100 m 的样地,面积 5.0 hm²,样地环境特征见表 1。在每块样地内采用相邻格子法进行每木调查,以 5 m×5 m 为基本单元,记录胸径(DBH) $\geq 2.5\text{ cm}$ 的全部乔木树种的种名、胸径、树高、冠幅等指标。灌木层(4 m×4 m)、草本层(1 m×1 m)采用对角线法进行植物种类、高度、盖度、多度等详细调查,对乔木植物的幼苗、幼树逐一记录其高度、地径。统计时以灰胡杨基株为单位进行统计,若一个树桩上有多个无性系分株,则仅对其中径级最大的一株进行记录。同时,各样方用全球定位系统(GPS)定位,记录其经度、纬度和海拔高度、郁闭度等生态因子。地下水位采用土钻法结合人工打井确定,土壤含水量采用烘干法测定。

表 1 塔里木河上游调查样地的环境特征

Table 1 The environmental characteristics of investigated plots at the upper reaches of Tarim River

项目 Item	丰收三场 Third harvest farm		托海乡	水工三连	轮南镇
	A ₁₁	A ₁₂	A ₂ Tuohai	A ₃ Three crop	C Lunnan
经纬度 Latitude and longitude	40°16'N 80°22'E	40°20'N 80°24'E	40°25'N 80°56'E	40°28'N 80°56'E	41°09'N 84°12'E
海拔 Altitude /m	1031	1026	1014	1010	918
地下水位 Groundwater level /m	3.2	6.7	2.5	1.5	4.0
土壤盐分 Soil salinity /%	2.51	2.12	6.66	7.80	3.56
土壤含水率 Soil moisture content of 0—20 cm/ %	5.73	2.83	14.02	24.84	5.37
离河道距离 Distance away from river /m	100	300	1000	20	3000
与农田距离 Distance away from farmland /m	700	800	200	1000	>1000
洪水时间 The time of flood occurrence/月份	8	8	8	8	8
调查时间 Investigation time /月份	7	7	6	6	8

1.2.2 种群年龄结构的建立

灰胡杨生长周期长,不可能追踪所有个体的生长周期,而利用树木年轮精确测定灰胡杨个体的年龄较为困难,也缺乏其它可靠的外部特征及解析资料可以确定其树龄。因此,采用空间推时间的方法,应用生态学中大小结构分析法来研究种群年龄结构特征。虽然种群龄级和径级有所不同,但在同一环境下,同一树种的龄级和径级对环境的反应规律具有一致性^[9]。按照

2003 年森林资源规划设计调查主要技术规定并结合灰胡杨生活史特点,级距设为 4 cm,将种群划分为 12 个径级,第 1 径级胸径为 0—4 cm,之后以 4 cm 为步长增加一级,即 $4.0\text{ cm} \leq DBH < 8.0\text{ cm}$,作为 II 级,把直径大于 44 cm 都归为第 12 级。第 1 径级对应 I 龄级,第 2 径级对应第 II 龄级,依此类推。按以上标准分别统计各龄级株数,以龄级为纵轴,株数/hm²为横轴,绘制灰胡杨种群年龄结构图。

1.2.3 种群生命表、存活曲线的编绘与生存分析

根据灰胡杨各龄级的统计株数,按照特定时间生命表的编制方法^[10],计算生命表中各参数,完成灰胡杨种群特定时间生命表的编绘。存活曲线是借助存活个体数量来描述特定年龄死亡率,它是通过把特定年龄组的相对个体数量作图而得到。本文以生命表中的龄级为横坐标,以 $\ln L_x$ 为纵坐标绘制灰胡杨种群的存活曲线,以死亡率、消失率为纵坐标,以龄级为横坐标绘制死亡率曲线和消失率曲线^[10],分析种群动态变化。

为了更好地分析灰胡杨种群动态,阐明其生存规律,引入生存分析中的 4 个函数,即种群生存率函数 $S(t)$ 、累积死亡率函数 $F(t)$ 、死亡密度函数 $f(t)$ 、危险率函数 $\lambda(t)$ ^[11-12]。根据上述 4 个生存函数的估算值,绘制生存率曲线、累积死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线。

1.2.4 种群空间分布格局与动态分析

根据各样地 5 m×5 m 的小样方调查的个体数资料,采用方差/均值比的 t 检验方法;聚集强度指标采用负二项指数、Lloyd 平均拥挤度和聚块性指数、Morisita 指数进行种群空间格局分析^[3,13]。同时,本文借用在研究种群动态时所用的以空间差异代替时间变化的理论^[13],用不同龄级种群的分布格局变化来揭示灰胡杨种群发育过程中分布格局的动态变化。参照国内惯用的分级标准,按其生活史周期分为 4 个阶段:幼树($DBH < 2.5\text{ cm}$)、小树($2.5\text{ cm} \leq DBH < 7.5\text{ cm}$)、中树($7.5\text{ cm} \leq DBH < 22.5\text{ cm}$)、大树($DBH \geq 22.5\text{ cm}$)。在 5 块样地内统计每个样方中各龄级灰胡杨株数,按照上述方法进行不同发育阶段种群分布格局分析。

1.2.5 种群分布与环境的相关分析

为分析灰胡杨种群分布与环境因子之间的关系,将地下水位、土壤总盐、有机质、氮、磷、钾等因子作为因变量,分别与每个样方内的灰胡杨个体数量进行相关分析^[3],并对相关系数 r 的可信度进行 t 检验^[14]。采用逐步回归分析得出最优回归方程,确定显著影响因素。

2 结果与分析

2.1 塔里木河上游灰胡杨种群年龄结构特征

塔里木河上游不同生境灰胡杨种群年龄结构差异明显,反映了不同生境对灰胡杨种群年龄结构的影响不同(图 2)。上段(A)丰收三场(A_{11})生境灰胡杨种群结构呈基部宽顶部窄的金字塔型,但种群结构存在明显的凹陷。根据调查数据,幼苗(I)较多,平均 256 株/hm²,占总数 33.96%;幼树(II)数量急聚减少,仅 6 株/hm²;中树(III—VI)最多,平均 407 株/hm²,占总数 53.91%;大树(VII—X)较少,平均 85 株/hm²,占总数 10.86%;老树(XI—XII)最少,平均 4 株/hm²,占总数 0.53%。丰收三场(A_{12})生境灰胡杨种群结构完整,幼苗、幼树、中树、大树、老树数量分别占总数 15.88%、5.19%、62.56%、15.56%、0.81%,表现为中间两大头小(图 2)。由于 2 种生境下灰胡杨种群 II 龄级数量急聚下降,分别较 I 龄级数量减少了 97.66%、67.35%,表明严酷的环境筛选导致 I 向 II 龄级发育中死亡率较高,导致幼树个体不足将难以补充,维持种群增长,这将直接影响种群的未来发展。

上段托海乡(A_2)天然林灰胡杨种群结构不完整,幼苗缺失,幼树极少,仅为 1 株/hm²,中树与大树占 95.26%,老树仅占 4.35%,年龄结构呈偏正态分布(图 2),为衰退种群。灰胡杨种群因幼苗、幼树缺失且龄级集中在 IV—VIII 级,林分中龄偏大,未来种群衰退演替速度较快。

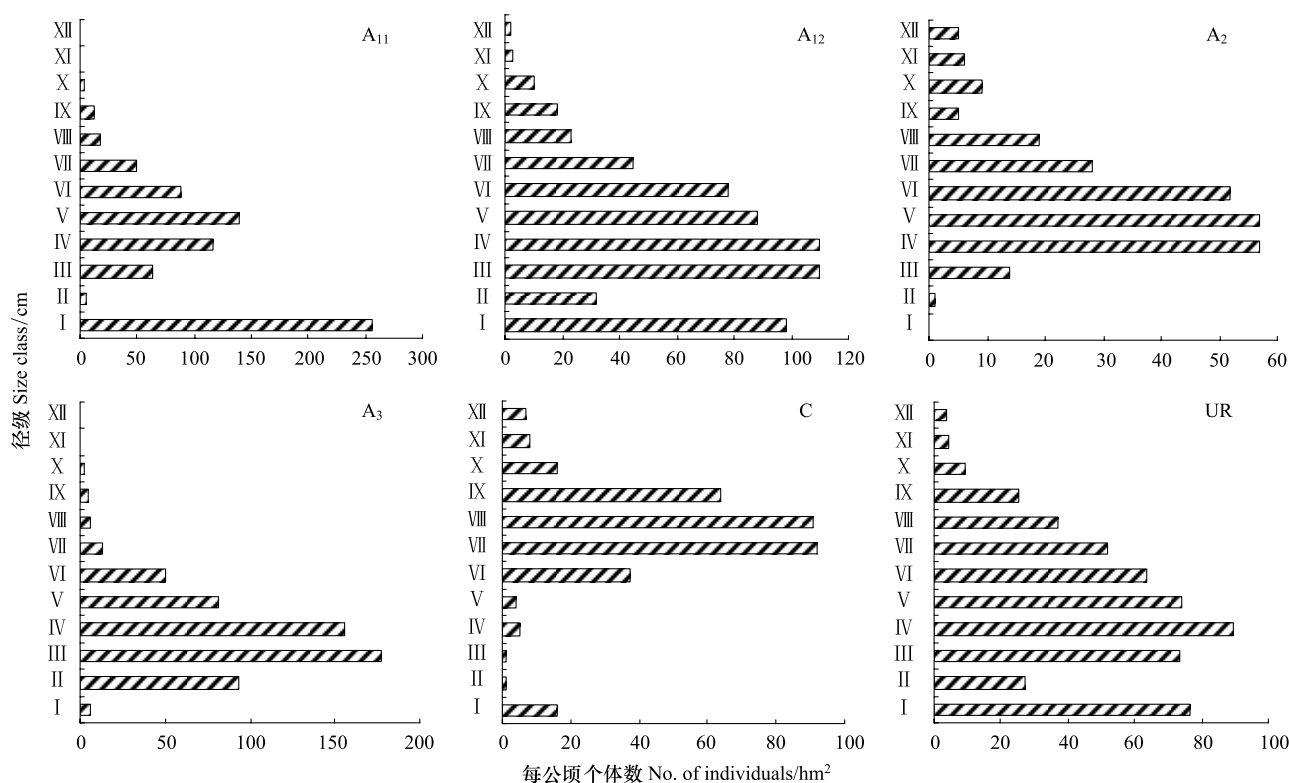
上段水工三连(A_3)天然林灰胡杨种群结构特征是幼苗少占 1.02%,幼树、中树、大树与老树分别占总数 15.91%、70.05%、12.86%、0.17%,年龄结构呈正态分布,龄级集中在 II—V 级(图 2),林龄偏小,属衰退种群。

下段(C)轮南镇天然林灰胡杨种群幼苗、幼树、中树、大树、老树分别占总数 4.67%、0.39%、3.06%、87.53%和 4.38%,种群结构呈基窄顶宽的倒金字塔型(图 2),属衰退型种群。由于种群龄级集中在大老龄级(VI—IX)、林分偏老,且幼苗、幼树与中树数量偏少,未来种群衰退速率最快。

综上所述,塔里木河上游(UR)灰胡杨种群年龄结构呈钟型(图 2),属暂时稳定型种群。但 I 级向 II 龄级发育过程中死亡率较高(64.65%),致使种群结构出现明显凹陷。表明天然灰胡杨林立地条件较差,种群更新能力与幼树成长能力明显受抑制,未来种群增长潜力不足。分析原因与塔里木河上游近 20a 大面积垦荒,耕地面积增长较快,地表水与地下水过量使用而导致的地下水位迅速下降及土壤次生盐渍化有关(表 1)。

2.2 塔里木河上游灰胡杨种群生命表特征分析

特定时间生命表是反映种群多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间。由于采用以空间推时间、横向导纵向法,故生命表中会出现死亡率为负的现象,这虽与生命表的数学假设相违背,但仍能作为重要的生态学依据反应种群的发展和衰落过程^[12]。据此,采用匀滑技术对数据进行处理,经匀滑修正得 a_x ,再据此编制出灰胡杨的特定时间生命表^[3,12](表 2)。

图2 塔里木河上游不同生境灰胡杨种群结构(A₁₁—UR:样地编号)Fig.2 Population structures of *Populus pruinosa* under different habitats at the upper reaches of Tarim River表2 塔里木河上游灰胡杨种群特定时间生命表(1 hm²)Table 2 The time-specific life table of *P. pruinosa* population at the upper reaches of the Tarim River

径级 x	存活数 a_x	匀滑修正存 活数 a'_x	标准化存 活量 l_x	死亡量 d_x	死亡率 q_x	区间寿命 L_x	总寿命 T_x	期望寿命 e_x	存活率 S_x	消失率 k_x
I	76	106	1000.00	97.08	0.10	951.46	5278.64	5.28	0.90	0.10
II	27	96	902.92	97.08	0.11	854.38	4327.18	4.79	0.89	0.11
III	73	86	805.85	96.80	0.12	757.45	3472.79	4.31	0.88	0.13
IV	89	75	709.05	93.98	0.13	662.06	2715.34	3.83	0.87	0.14
V	74	65	615.07	97.08	0.16	566.54	2053.28	3.34	0.84	0.17
VI	64	55	518.00	29.32	0.06	503.34	1486.75	2.87	0.94	0.06
VII	52	52	488.68	139.29	0.29	419.03	983.41	2.01	0.71	0.34
VIII	37	37	349.38	113.82	0.33	292.47	564.38	1.62	0.67	0.39
IX	25	25	235.57	150.36	0.64	160.39	271.91	1.15	0.36	1.02
X	9	9	85.21	44.48	0.52	62.96	111.52	1.31	0.48	0.74
XI	4	4	40.72	12.53	0.31	34.46	48.56	1.19	0.69	0.37
XII	4	3	28.19	28.19	1.00	14.10	14.10	0.50	0.00	1.00

x : Size class; a_x : Survival numbers; a'_x : survival numbers after smoothed; l_x : Standard survival numbers; d_x : Number of dying during interval; q_x : Average mortality rate per age stage; L_x : Life between the interval; T_x : Total life; e_x : Mean expectative life; K_x : Age-specific mortality; S_x : Age-specific survival

塔里木河上游灰胡杨种群存活数随着龄级增加而降低(表2),死亡率(q_x)与消失率(k_x)随龄级增加大致呈上升趋势,尤其VI龄级后上升较快,于IX龄级出现高峰期(表2,图3)。原因是随着群落演替的进行,个体逐渐长大,对空间资源需求不断增加与生态位发生重叠,林内光照、水分、养分和空间等因子不能满足其要求,造成种群内个体间的竞争加大,自疏和它疏作用加强,个体间分化严重,导致 q_x 、 k_x 不断上升。随龄级增长与树冠扩大,相继进入主林层,种内对生存资源竞争更加激烈,加上生长后期环境日益恶化导致其死亡量与 q_x 、 k_x 出现峰值;其后个体数量减少、竞争减弱, q_x 与 k_x 下降。这表明灰胡杨种群年轻阶段,个

体小,生长力旺盛,能有效地利用群落内的空间和土壤条件, q_x 与 k_x 较低;相继进入主林层后,种内竞争激增, q_x 与 k_x 较高。

灰胡杨种群平均期望寿命(e_x)随龄级增加而逐渐下降(表2),是由于龄级越低个体间竞争较弱,能有效地利用群落资源,从而种群进入生长旺盛期, e_x 较大,即年轻个体生命力与平均生存能力强。随后 e_x 在X龄级略有回升,然后又下降(表2),主要是灰胡杨种群达到一定年龄后生理机能开始退化,这种趋势符合种群的生物学特征,反映了灰胡杨种群整个生命过程中个体生命力与平均生存能力的衰退。此外,灰胡杨种群死亡率、死亡率与 e_x 变化基本保持一致(表2),这充分反映了灰胡杨生命期望值的变化规律与其死亡率之间的变化规律是有着密切地相互关系,并且客观存在。

2.3 塔里木河上游灰胡杨种群存活曲线特征分析

存活曲线是对生命表的重要反映,其能反映种群存活率或死亡率随年龄的变化情况,从而能作为种群动态的重要特征之一,这是物种经长期自然选择形成的^[3,15]。灰胡杨种群的存活曲线表现为幼、中龄个体存活率较高,大龄期(VIII—X)存活率降低而死亡率显著升高(图3)。根据Hett和loucks检验估算存活状况是符合Deevey II型还是符合Deevey III曲线时,采用两种数学模型进行检验,即指数方程式 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 用以描述Deevey II型存活曲线;幂函数式 $N_x = N_0 x^{-b}$ 描述Deevey III型存活曲线^[12]。采用上述两种模型对灰胡杨种群存活曲线类型的检验,经拟合建立其相应模型如下: $N_x = 154.62e^{-0.255x}$ ($F = 18.93^{**}$; $r = 0.8087^{**}$); $N_x = 143.18x^{-0.948}$ ($F = 6.62^*$; $r = 0.6309^*$)。由于指数模型的 F 检验值及相关指数 r 值均大于幂函数模型的 F 值和 r 值,因此,判定塔里木河上游灰胡杨种群存活曲线更趋于Deevey II型。

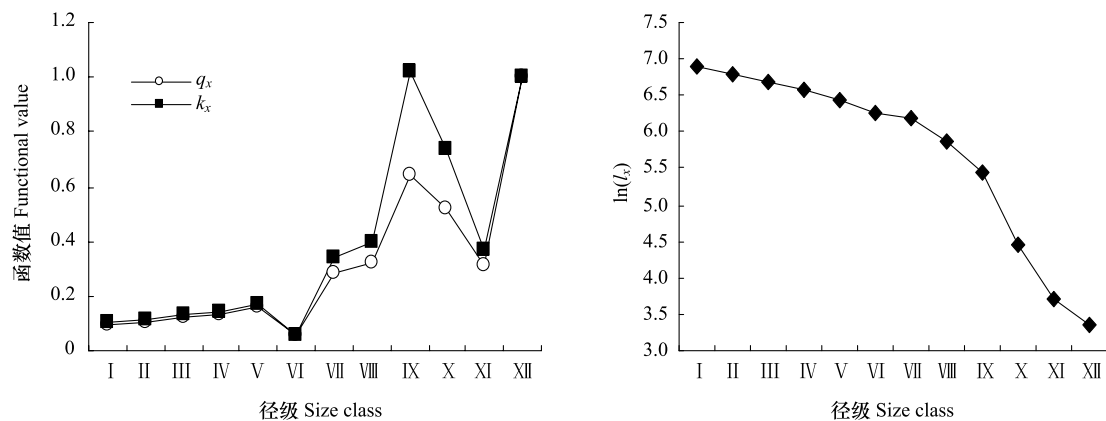


图3 灰胡杨种群存活曲线、死亡率与消失率曲线

Fig.3 Survival curve, mortality rate (q_x) and Age-specific mortality (k_x) of *P. pruinosa* population

q_x : Average mortality rate per age stage; k_x : Age-specific mortality

2.4 塔里木河上游灰胡杨种群生存分析

从图4可见,累积死亡率随龄级增长而呈单调上升,中期上升较快,至IX龄级已达91.48%,IX龄级后累积死亡率不足10%,表明大量个体死亡主要发生在中期(VI—IX)。死亡密度函数随龄级增长而呈单调下降,前期下降较慢,后期下降较快,这与生存率曲线变化趋势基本一致。危险率曲线总体随龄级增长而呈上升趋势。危险率在I—V龄级上升较慢,为17.14%,但其后突然下降至VI时仅为5.82%,表明这一阶段个体生长健壮,存活率较高;之后危险率则快速上升,至IX龄级达最高,为93.75%,表明这一阶段个体生存危险率最高,即产生高的死亡率,这与生命表分析结果一致。高危险率产生的原因可能是随个体长大,相继进入主林层,种内竞争加剧,加上生境逐年恶化,致使危险率与累积死亡率较高。

灰胡杨种群生存率随龄级增长而呈单调下降,VIII龄级以前下降较慢,其中V—VI龄级较稳定,VIII—IX龄级下降最快(63.83%),其后下降速率减慢(图4)。生存率函数也表明灰胡杨个体能够存活到VI龄级的概率为0.489,而能存活到IX龄级的概率为0.085,说明这一阶段个体间竞争激烈、生存机会大幅降

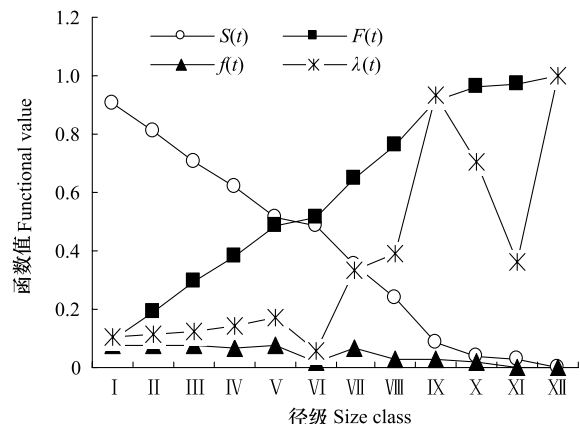


图4 灰胡杨种群4个生存函数估算值

Fig.4 Estimated value of four functions of *P. pruinosa* population

$S(t)$: 种群生存率函数 Survival rate function; $F(t)$: 累积死亡率函数 Accumulative mortality rate function; $f(t)$: 死亡密度函数 Mortality density function; $\lambda(t)$: 危险率函数 Hazard rate function

低。因此,这一期间对灰胡杨林进行抚育管理有其合理性,不仅具有一定的经济效益,也能减少竞争,为林木更新与生长创造更为良好的环境。

2.5 塔里木河上游灰胡杨种群空间分布格局分析

2.5.1 空间分布格局及动态分析

从表 3 可见,塔里木河上游不同生境下灰胡杨种群空间分布格局不同。灰胡杨种群成年树($DBH>2.5\text{cm}$)在 A_{11} 、 A_3 、C 生境呈集群分布,而在 A_{12} 、 A_2 生境呈随机分布。表明 A_{11} 、 A_3 、C 3 个生境的灰胡杨种群聚集程度比 A_{12} 、 A_2 生境的种群大,因为 A_{11} 、 A_3 生境地下水位较浅,几乎为灰胡杨纯林,合适的生境下聚集程度较高,C 生境林下土壤明显沙化,个体为生存而共同抵御逐渐恶化的环境呈集群分布;而 A_{12} 生境地下水位较深,土壤水分匮乏; A_2 生境尽管地下水位较浅,但其土壤盐分含量高,这种低水或高盐的生境限制灰胡杨个体的生长与分布,导致灰胡杨种群聚集程度不高,呈随机分布(表 3,表 1)。

塔里木河上游 5 个不同生境灰胡杨种群不同发育阶段的个体群呈集群分布或随机分布。灰胡杨幼树、小树、中树在 A_{11} 、 A_{12} 、 A_3 3 个生境中表现为集群分布,而由于灰胡杨在 A_2 、C 生境缺乏幼树与小树个体,中树则均呈随机分布。灰胡杨大树除在 C 生境为集群分布外,其它 4 个生境均为随机分布(表 3)。从发育阶段的时间序列上看,灰胡杨种群空间分布格局随发育进程其聚集强度逐渐降低,至大树阶段空间格局转变为随机分布,显示出扩散的趋势。

表 3 塔里木河上游灰胡杨种群空间分布格局及其动态
Table 3 Spatial distribution patterns and dynamics of *P.pruinosa* population

样地 Plots	发育阶段 Growth periods	方差/均值比 Variance/Mean		负二项指数 Index of the negative binomial	Morisita 指数 Morisita index		平均拥挤度 Mean crowding	聚块性指数 Patchiness index	格局 Pattern
		Value	t		Value	F			
A_{11}	幼树	14.033	184.085 *	0.048	21.801	14.142 *	13.661	21.770	C
	中树	1.307	4.337 *	3.151	1.317	1.314 *	1.275	1.317	C
	大树	1.015	0.218	17.356	1.058	1.021	0.283	1.058	R
	成年树	1.188	2.651 *	6.633	1.151	1.193 *	1.433	1.151	C
A_{12}	幼树	2.413	19.958 *	0.147	7.875	2.452 *	1.620	7.810	C
	小树	4.254	45.961 *	0.028	38.095	4.445 *	3.344	37.155	C
	中树	1.137	1.940 *	6.753	1.148	1.143 *	1.065	1.148	C
	大树	1.025	0.359	11.993	1.084	1.031	0.330	1.083	R
A_2	成年树	1.104	1.467	12.561	1.080	1.109	1.409	1.080	R
	中树	0.881	-1.675	-3.353	0.701	0.885	0.279	0.702	R
	大树	1.002	0.022	151.964	1.007	1.007	0.237	1.007	R
A_3	成年树	0.918	-1.151	-7.789	0.871	0.923	0.553	0.872	R
	小树	1.413	5.839 *	0.550	2.833	1.428 *	0.641	2.817	C
	中树	1.379	5.349 *	3.110	1.325	1.388 *	1.557	1.321	C
	大树	0.927	-1.027	-1.032	0.000	0.927	0.002	0.031	R
C	成年树	1.428	6.044 *	3.453	1.289	1.434 *	1.905	1.290	C
	中树	0.933	-0.818	0.006	0.000	0.933	0.003	0.044	R
	大树	1.409	5.005 *	0.830	1.551	1.420 *	1.153	1.551	C
	成年树	1.445	5.445 *	1.061	1.546	1.456 *	1.262	1.545	C

* $P<0.05$; C: 集群分布 Clumped pattern; R: 随机分布 Random pattern; 幼树: Sapling; 小树: Small trees; 中树: Medium trees; 大树: Large trees; 成年树: Adult trees($DBH>2.5\text{cm}$)

塔里木河上游 A_{11} 、 A_{12} 、 A_3 3 个生境灰胡杨幼树、小树、中树个体群都属于集群分布,而大树个体群呈现随机分布(表 3)。其原因在于:3 个生境灰胡杨群落林下少灌木,种间竞争较弱,幼树、小树个体群在林窗中占据各自的生存空间,故呈集群分布;随龄级增长,中树阶段个体对空间资源需求增长使种内竞争开始加强,聚集强度减弱;至大树阶段种内竞争激烈,自疏现象使得生长较弱的个体死亡,从而使得大树个体群呈现出随机分布。这充分说明在种内、种间竞争较小时,灰胡杨种群的空间格局随龄级的变化,受其生物学因素的影响,龄级越大,呈现集群分布向随机分布的过渡。灰胡杨种群在 A_2 、C 生境缺乏幼树与小树,中树均呈随机分布,而随龄级增长, A_2 生境大树仍呈随机分布,但 C 生境大树转变为聚集分布。这与 A_2 立地条件有关, A_2 生境周围农田排水洗盐的废水进入灰胡杨林内,造成土壤盐分表聚,致使大量种子难以萌发与小树生长困难、死亡;通过严酷环境筛选与生存斗争而存活下来的个体发育成中树而呈随机分布。随个体不断长大、生存竞争能力增强,大树仍表现为随机分布。C 生

境位于塔里木河上游的末端,林下土壤沙化明显,加上经常大风干扰使土壤蒸发加快,稀林区个体死亡,形成大面积裸地与间距较大的林斑^[16]。由此,林斑内个体为共同抵御逐渐恶化的环境而呈集群分布,这种斑块聚集有利于个体生存,发挥群体效应来维持种群的稳定和续存,这是种群抵抗不良环境的生态适应对策。以上可知,处于不同发育阶段的灰胡杨个体群,其空间分布格局是随时间变化的,呈现出集群分布或随机分布。这说明在不同生境下,环境条件直接影响灰胡杨种群及各发育阶段的分布格局。

2.5.2 环境与种群分布的相关分析

灰胡杨种群的分布多度与地下水埋深成显著负相关,与土壤有机质成显著正相关($P<0.05$)(表4),这说明灰胡杨适宜生长于一定地下水埋深、有机质丰富的生境。在塔里木河流域灰胡杨主要分布在塔里木河上游区域,上游末端英巴扎(轮台)以下失去其踪影,灰胡杨对生境的选择说明其具有喜湿的生活特性,对水分条件有较强的选择性,进一步证实灰胡杨属潜水中生性树种^[6],对水分需求较高。土壤有机质是表征土壤质量的重要因子,亦是土壤肥力的重要指标,其影响土壤盐运动状况和肥力特性^[17]。有机质与地下水位呈显著负相关($r=-0.879^*$, $P<0.05$),表明地下水位直接影响土壤有机质含量。即地下水位越深,土壤有机质越低,灰胡杨种群密度越低、长势差。因此,灰胡杨种群分布格局主要受地下水位和土壤有机质及其它化学性质的综合影响,地下水位浅且有机质丰富区域是灰胡杨种群生存的适宜环境。

利用逐步回归分析环境因子与灰胡杨种群分布多度的关系,得最优回归方程: $y=0.068-0.007x$ (x 为地下水位)。F检验表明,此回归模型可信度达到94.7%($R^2=0.896$),说明灰胡杨种群密度变异平方和有94.7%是由地下水位变化造成的。变量与自变量的相关性达到显著水平,说明其与种群密度的回归关系真实可靠,是影响塔里木灰胡杨种群分布格局的主要因子。综上所述,塔里木河上游灰胡杨种群结构与空间分布格局随生境和时间发生变化,环境因素与生物因素的综合作用导致灰胡杨种群表现出的分布特征。

表4 塔里木河上游灰胡杨个体数量与环境因子之间的相关性

Table 4 Correlation analysis between individual numbers of *P. pruinosa* population and its environmental factors

项目 Item	有机质 Organic matters	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkali-hydrolysable N	全钾 Total potassium	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	总盐 Soil total salt	地下水位 Groundwater Depth
相关系数 Correlation coefficient	0.936 *	0.825	0.610	0.696	0.560	0.730	-0.426	-0.947 *
双尾检验概率 2-tailed Sig.	0.019	0.086	0.274	0.192	0.327	0.162	0.475	0.015

* $P<0.05$

3 结论与讨论

灰胡杨主要分布在塔里木河上游,其沿河两岸呈阶梯式分布,是新疆南部荒漠河岸林的主要优势树种之一。但由于塔里木河上游于20世纪60年代开始大规模水土资源开发,致使河流断流、地下水位逐年下降,灰胡杨种群结构失调、更新困难、面积锐减,制约着荒漠河岸林的持续发展与稳定。本文从生命表特征、年龄结构、生存分析以及不同龄级个体群空间分布格局4个方面,对塔里木河上游灰胡杨种群的生活史动态特征与空间分布格局进行研究,得出以下结论:

(1)塔里木河上游不同生境的灰胡杨种群年龄结构明显不同,有金字塔型和壶型,但金字塔型种群在幼龄发育过程中死亡率较高,年龄结构中呈现明显凹陷,如果没有幼龄个体对中龄株数的补充,灰胡杨种群整体长期稳定性将难于维持。随河流走向,灰胡杨种群结构由暂时稳定型过渡到衰退型,在群落演替过程中,随着时间的推移,将会被其它更新能力、抗逆能力较强的物种所取代。这一结果与野外实际调查结果相一致,灰胡杨在塔里木河上游末端(英巴扎)以下失去了踪影,取而代之的是以胡杨—柽柳或怪柳为优势种的荒漠群落。灰胡杨自身的生物学特性及环境因素变化是形成这种现象的主要原因。在塔里木河流域,灰胡杨主要分布在上游区域,随径流量与地下水位逐年下降,其分布区域缩小,种子生产与更新困难;繁殖方式转为无性繁殖为主而聚集在母树周围,受光照等环境因子以及生境恶化的影响,根蘖苗长势差,生存能力低,使种群趋向老龄化。灰胡杨种子体积较小,所含营养物质少,种子寿命短。当种子成熟自然落下与洪水时间不一致或无法飘落于洪水漫溢的湿润土壤上时无法吸水萌发,造成灰胡杨种子发芽困难,种子成苗率低。林间开荒与农田压碱洗盐退水的排放,使林间地表盐分表聚,抑制种子萌发与幼苗生长。因此,灰胡杨种群的衰退与其自身适应能力差及人为干扰、生境恶化有关。

(2)塔里木河上游灰胡杨种群存活数随龄级增加而降低,存活曲线接近于Deevey II型,死亡率与消失率均呈现一种增长趋势,于V龄级出现1个小高峰,随后死亡率又下降,种群进入一个平稳发展期。VI龄级后死亡率又逐渐增加,至IX出现最高峰。生存危险率与累积死亡率高峰主要发生在中后期(VI—IX),且生命期望单调下降,至IX龄级最小。可见,灰胡杨个体为争夺空间资源而导致激烈的种内竞争产生自疏作用,是导致中后期个体数量减少的原因之一。总之,灰胡杨种群生存动态与其种内对空间资源的激烈竞争及生理功能下降有关。这是前期薄弱,后期衰退的濒危植物种群的一种现象^[3]。因此,改善生存环境、提

高种子向幼苗的转化率与成活率是灰胡杨种群恢复的关键。

(3) 种群空间分布是指组成种群的个体在其生活空间中的位置状态或布局。不同生境灰胡杨种群空间格局不同,这是立地条件差异对其的影响,也是其为生存而采取的不同适应对策。灰胡杨种群分布格局总体为聚集分布,由于种子成熟受重力影响掉落及根蘖繁殖在母树周围,幼龄期表现为聚集分布;幼龄期个体向中龄期个体的发展过程中,由于空间、营养竞争出现自疏作用,导致种群聚集程度下降;大龄期个体由于所需空间资源增多,竞争更加激烈,再加上生境逐年恶化与生理功能下降,个体较少,呈随机分布。种群在幼年阶段聚集强度高有利于高效利用群落内的空间资源而存活;种群趋于随机分布,则主要是种内竞争与生境恶化引起密度下降的结果。因此,塔里木河上游灰胡杨种群的空间分布格局是因生境的不同和发育阶段的不同变化的,环境因素和生物因素是影响其空间分布格局的两个主要原因。

(4) 植被与其生存环境之间是一种相互依赖和制约的关系。土壤水分决定植物地上部生长,而地上部植物的影响一直被认为是决定有机质和可利用养分的最重要因子^[18]。植物个体在适应和生存竞争过程中不得不对由非生物和生物资源所导致的异质性作出响应,因而土壤异质性是影响植物群落稳定与种群发展的重要因素^[19]。相关与逐步回归分析表明,地下水位直接调整塔里木河上游灰胡杨种群的分布格局,是影响灰胡杨种群分布格局的主要因子。此外,灰胡杨对不同生境空间异质性的响应反映出其具有喜湿特性,生存对水分需求较高,表明其属于典型的潜水中生性树种,而不是旱生植物。地下水位浅与有机质丰富的区域是灰胡杨种群生存的适宜生境。

References:

- [1] 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.
- [2] Greig-Smith P. The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. *Annals of Botany*, 1952, 16(2): 293-316.
- [3] Chen Z Y, Yang N, Yao X M, Tian X M, Yang M Y. Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(7): 2158-2165.
- [4] Borchsenius F, Nielsen P K, Lawesson J E. Vegetation structure and diversity of an ancient temperate deciduous forest in SW Denmark. *Plant Ecology*, 2004, 175(1): 121-135.
- [5] Wang S J. The status, conservation and recovery of global resources of *Populus euphratica*. *World Forestry Research*, 1996, (6): 37-44.
- [6] Thevs N, Zerbe S, Schnittle M, Abdusalih N, Succow M. Structure, reproduction and flood-induced dynamics of riparian Tugai forests at the Tarim River in Xinjiang, NW China. *Forestry*, 2008, 81(1): 45-57.
- [7] Zhang Z G, Li H, Walteher D, Yang C C, Guo G H. Comparative study on gas exchange characteristics of *Populus euphratica* and *P. pruinosa* in the middle reaches of Tarim River. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2012, 32(12): 2506-2511.
- [8] Wang J, Wu Y X, Ren G P, Guo Q H, Liu J Q, Lascoux M. Genetic differentiation and delimitation between ecologically diverged *Populus euphratica* and *P. pruinosa*. *PLoS One*, 2011, 6(10): 2011, 6(10): 1-10.
- [9] 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.
- [10] Cheng W, Wu N, Luo P. Survival analysis of *Abies Faxoniana* populations near Timberline on the upper Minjiang river. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 349-353.
- [11] Yang F X, Wang S Q, Xu H G, Li B Q. The theory of survival analysis and its application to life table. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(2): 153-158.
- [12] Wu C Z, Hong W, Xie J S, Wu J L. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 333-336.
- [13] Lai J S, Zhang M, Xie Z Q. Structure and distribution pattern of dominant populations in the evergreen broad-leaved forest in Three Gorges Reservoir Area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1073-1079.
- [14] Rosner B. Fundamentals of Biostatistics. 5th ed. Sun S G, Translated. Beijing: Science Press, 2004: 412-437.
- [15] Yu D P, Zhou L, Dong B L, Dai L M, Wang Q L. Structure and dynamics of *Betula ermanii* population on the northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 30-34.
- [16] Han L, Wang H Z, Chen J L, Yu J. Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4699-4708.
- [17] Shan X Z, Wei Y Q, Yan H J, Liu J F, Zhang R. Influence of organic matter content on soil hydrodynamic parameters. *Acta Pedologica Sinica*,

1998, 35(1): 1-9.

- [18] Vinton M A, Burke I C. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*, 1995, 76(4): 1116-1133.
- [19] Jackson R B, Caldwell M M. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics. *Ecology*, 1993, 74(2): 612-614.

参考文献:

- [3] 陈志阳, 杨宁, 姚先铭, 田小梅, 杨满元. 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局. *生态学报*, 2012, 32(7): 2158-2165.
- [5] 王世绩. 全球胡杨林现状及保护和恢复对策. *世界林业研究*, 1996, (6): 37-44.
- [7] 张志刚, 李宏, Walther D, 杨婵婵, 郭光华. 塔里木河中游胡杨与灰叶胡杨气体交换特性对比研究. *西北植物学报*, 2012, 32(12): 2506-2511.
- [10] 程伟, 吴宁, 罗鹏. 岷江上游林线附近岷江冷杉种群的生存分析. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 349-353.
- [11] 杨凤翔, 王顺庆, 徐海根, 李邦庆. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用. *生态学报*, 1991, 11(2): 153-158.
- [12] 吴承祯, 洪伟, 谢金寿, 吴继林. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 333-336.
- [13] 赖江山, 张谧, 谢宗强. 三峡库区常绿阔叶林优势种群的结构和格局动态. *生态学报*, 2006, 26(4): 1073-1079.
- [15] 于大炮, 周莉, 董百丽, 代力民, 王庆礼. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 30-34.
- [16] 韩路, 王海珍, 陈加利, 于军. 塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征. *生态学报*, 2011, 31(16): 4699-4708.
- [17] 单秀枝, 魏由庆, 严慧峻, 刘继芳, 张锐. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响. *土壤学报*, 1998, 35(1): 1-9.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《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,探索生态学奥秘,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 陈利顶

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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元