

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

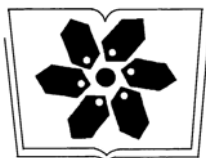
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



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)
- 极端干旱区多枝桤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, 王秋风, 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/stxb201306091527

孟翔翔,狄晓艳,王孟本,朱世忠,赵天梁.油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性.生态学报,2013,33(19):6382-6388.

Meng X X, Di X Y, Wang M B, Zhu S Z, Zhao T L. Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6382-6388.

油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性

孟翔翔¹, 狄晓艳¹, 王孟本^{1,*}, 朱世忠², 赵天梁²

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 山西省林业调查规划院, 太原 030001)

摘要:油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国特有广布树种。秦岭是我国亚热带和暖温带气候的重要分界线,贺兰山是我国西北干旱区与半干旱区的分界线。旨在以分布于秦岭、贺兰山和晋陕两省的 10 个天然油松种群为研究对象,通过对其线粒体 DNA (*nad1* 和 *matR* 内含子)的序列,探讨地理阻隔对油松遗传结构的影响。结果表明,10 个天然油松种群的 100 个个体中共检测到 27 个单倍型,多态位点 172 个,简约信息位点 35 个,单一多态性位点 137 个。其中 1 个单倍型为全部种群共有,4 个单倍型为 2—5 个种群共有,其余 22 个单倍型为各个种群所独有。在这 10 个种群中,有 8 个种群分别具有 1—4 个独有单倍型。尽管秦岭南侧种群和北侧种群分别具有两个和一个独有单倍型;贺兰山东侧种群和西侧种群均具有 3 个独有单倍型;但是与晋陕种群(即油松分布区中心种群)相比,其种群独有单倍型平均数目则明显较少。与此同时,不仅秦岭南北两侧或贺兰山东西两侧种群的独有单倍型的进化关系往往较近,而且秦岭北侧或贺兰山东侧种群的独有单倍型与油松分布区中心种群的某些独有单倍型的关系亦较近。从而导致秦岭南北两侧或贺兰山东西两侧种群与油松分布区中心种群之间表现出比较复杂的聚类关系。由此可见,油松的遗传结构与山脉屏障的存在没有明显关系。

关键词:油松;线粒体 DNA;遗传分化;秦岭;贺兰山

Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers

MENG Xiangxiang¹, DI Xiaoyan¹, WANG Mengben^{1,*}, ZHU Shizhong², ZHAO Tianliang²

¹ Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

² Shanxi Institute of Forest Inventory and Planning, Taiyuan 030001, China

Abstract: Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*), an endemic to China, is the most widely distributed conifer in North China. The Qin Mountains are a major east-west mountain range in central China. This range spans about 1500 km from southern Gansu Province in the west to west Henan Province in the east. The highest peak rises to an elevation of 3,767 m above sea level. This range demarcates subtropical and warm temperate zones in China. The Helan Mountains are a mountain range forming the border of Inner Mongolia's Alxa League and Ningxia. It runs in the north-south direction with a length of about 200 km. The highest peak rises to an elevation of 3556 m above sea level. This range demarcates the arid and semi-arid regions in northwest China. To examine whether the mountain barriers have substantial effects on the genetic structure of Chinese pine, the mitochondrial DNA (*nad1* and *matR* introns) sequence characteristics of 10 natural populations of this species from the Qin Mountains, Helan Mountains, and Shanxi and Shaanxi Provinces were studied. The results showed that a total of 27 haplotypes, 172 polymorphic sites, including 35 parsimony informative sites and 137 singleton variable sites were identified from 100 individuals of all 10 Chinese pine populations based on the sequences of two mitotypes. Of all the haplotypes (from h1 to h27), h1 was shared by all the populations; h3, h6, h9 and h27 were shared by 2—5 populations; and 22 other haplotypes were all unique ones. Eight of the 10 populations had one to four unique haplotypes. Although the populations in the north and south sides of the Qin Mountains (i.e. populations ZZ and NS) had one and two unique

基金项目:国家自然科学基金资助项目

收稿日期:2013-06-09; 修订日期:2013-08-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mbwang@sxu.edu.cn

haplotypes, respectively; and both the populations in east and west sides of Helan Mountains (i.e. populations HLn and HLi) had three unique haplotypes; the average number of the unique haplotypes for them was smaller than that for the populations GD, LY, TY and HL (i.e. the populations in the central distribution area of Chinese pine). A mixed picture of the evolution relationship of the 27 mtDNA haplotypes was found. A close evolution relationship was detected between the unique haplotypes for the populations in the north and south sides of the Qin Mountains or for the populations in east and west sides of the Helan Mountains. There was a close evolution relationship between the unique haplotypes of the populations in the south side of the Qin Mountains or the east side of the Helan Mountains. Some of the unique haplotypes of the Shanxi-shaanxi populations were also detected. In addition, the results revealed that the genetic diversity in the species level was high, and the haplotype diversity and nucleotide diversity were 0.7120 and 0.0050 respectively. The analysis of molecular variance (AMOVA) showed that the percentage of variation within populations (90.16%) was higher than that among populations (9.84%). The genetic differentiation was significant ($F_{st} = 0.0984$, $P < 0.01$) among populations. Despite the mountainous barriers, the populations in the north and south sides of the Qin Mountains and in the east and west sides of the Helan Mountains showed a complicated classification relationship with the Shanxi-shaanxi populations. Therefore it was concluded that the genetic structure of Chinese pine was hardly associated with the mountainous barriers.

Key Words: *Pinus tabulaeformis*; mitochondrial DNA; genetic differentiation; Qin Mountains; Helan Mountains

油松是我国特有树种,其自然分布范围广阔,介于 31° — 44° N 和 $101^{\circ} 30'$ — $124^{\circ} 25'$ E 之间,呈非连续或岛屿状分布格局^[1-2]。天然地理屏障可能会阻碍种群间基因交流,导致种群间遗传分化增大^[3-4]。核 DNA 遗传标记研究显示,油松的遗传变异主要存在于种群内,种群间已具有一定的遗传分化^[5]。

关于山脉屏障对植物遗传分化的作用,已有人做了大量研究工作,但结果却不尽相同。已有研究表明,山脉是美国短叶松(*Pinus banksiana*)^[6]、中国青杨(*populus cathayana*)^[7]、海岸松(*Pinus pinaster*)^[8] 基因交流和迁移的重要屏障,从而引起其遗传谱系产生隔离;但山脉对欧洲水青冈(*Fagus sylvatica*)^[9] 和水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)^[10] 种群遗传分化却没有显著作用。研究同时表明,东西走向山脉的阻隔作用是欧洲大陆第四纪冰期前后植物类群的差异大于北美大陆的重要因素^[11];东北-西南走向的山脉阻碍了白木香(*Aquilaria sinensis*) 谱系间的基因交流,而对于走向与白木香扩张方向一致的山脉,其却不阻碍白木香谱系间的基因交流^[12]。

秦岭是中国重要的南北自然分界线,呈东西向横亘于中国中部,横跨甘肃、陕西、河南三省。它既是我国亚热带与暖温带气候的分界线,也是常绿阔叶林与落叶阔叶林的分界线^[13]。贺兰山位于阿拉善高原与银川平原之间,大致呈南-北走向,是我国西北干旱区与半干旱区的分界线,也是温带荒漠与温带荒漠草原的分界线^[14]。

在第四纪冰期气候波动的影响下,松科植物(如油松)可能发生了与欧洲和北美相似的向南退缩和向北扩展的过程^[15-16],其线粒体为母系遗传,更容易反映群体分化的模式^[4,17-19]。基于此,本研究以分布于秦岭、贺兰山和晋陕两省的 10 个天然油松种群为研究对象,采用线粒体 DNA 序列测定技术,对种群的单倍型进化关系以及种群的聚类特点等进行研究,以探究地理阻隔对油松遗传结构的影响。此项研究对深入认识油松遗传结构的形成机制具有一定意义,同时可为进一步探讨中国北方植物区系现存分布格局形成机制提供有益参考。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本研究选取了来自秦岭、贺兰山和晋陕两省的 10 个天然油松种群共 100 个个体的针叶样品。每个种群取样 10 个,个体之间距离大于 100 m。所采针叶置于硅胶中迅速干燥,密封于塑料袋带回实验室, -20°C 下保存备用。油松采样地点概况^[5] 见图 1 和表 1。

1.2 方法

1.2.1 DNA 提取

采用改进的 CTAB(十六烷基三甲基溴化铵)法^[20],从硅胶干燥的针叶中提取总 DNA。

1.2.2 PCR 扩增及测序

分别采用线粒体 *nad1* 内含子(f-gAT Cgg CCA TAA Atg TAC TCC, r-CCC CAT ATA TAT TCC Cgg AgC^[21]) 和 *matR* 内含子(f-CgA CAg AAg CAC gAA ATT CC, r-ACC CgA CgA TAA CTA gCT TC^[22]) 引物序列进行扩增。PCR 反应为 25 μl ,其中含有 1 $\times$ PCR buffer,总 DNA 30—50 ng, dNTPs 0.2 mmol/L, taq 酶 1 U, 引物 0.4 μM ; 反应条件为: 94°C 预变性 4 min, 94°C 变性 30 s, 54°C (*nad1*) / 58°C (*matR*) 退火 45 s, 72°C 延伸 1 min, 30 个循环,最后延伸 5 min。扩增产物经 0.8% 的琼脂糖凝胶电泳后,用 Gel

Extraction Kit 纯化试剂盒 (bio-tec OMEGA, USA) 按推荐步骤进行纯化, 纯化产物送往上海立菲生物科技有限公司进行测序。

1.2.3 数据处理:

采用 MEGA 5.1 中的 ClustalX 软件对所得序列进行比对 (并进行适当手工校正), 以得到不同序列 (即不同单倍型)。同时采用 MEGA 5.1 中的相应模块对多态性位点、简约信息位点、各碱基含量、核苷酸多样性进行计算; 对单倍型间和种群间的 Kimura 双参数遗传距离进行计算; 并构建种群邻接聚类图。采用 NETWORK 4.6.1.1 软件 (<http://www.fluxus-engineering.com>)^[23] 构建单倍型网络关系图。采用 PHYLIP 3.69 软件中的最大简约法 (MP) 构建单倍型聚类图。采用 ARLEQUIN 软件中的 AMOVA 对种群间的遗传分化是否显著进行检验。

2 结果

2.1 线粒体 DNA 序列变异与单倍型

比对后的 10 个天然油松种群的 100 个个体线粒体 DNA 的 *nad1* 片段长度为 1093—1280 bp, 校正后长度为 1366 bp, 共包括 168 个多态性位点, 其中 34 个简约信息位点, 134 个单变位点。线粒体 *matR* 片段长度为 475—477 bp, 校正后长度为 478 bp, 共包括 4 个多态性位点, 其中 1 个简约信息位点, 3 个单变位点, 核苷酸 T、C、A、G 平均比例分别为 25.83% (25.44%—26.58%)、23.94% (23.17%—24.16%)、22.17% (21.92%—22.98%)、28.06% (27.01%—28.41%), A+T 含量 (48%) 略低于 C+G 含量 (52%)。序列变异含有碱基缺失/插入和碱基替换等, 共得到 27 个单倍型 (表 1), 其中单倍型 h1 为所用种群所共有, 占有个体数的 54%, 是分布最广的单倍型; 单倍型 h3 分布于 HLn, HL 和 TY 种群中, 单倍型 h6 分布于 HLn、HLi 和 ZZ 种群, 单倍型 h9 分布于 HLn 和 NX 种群, 单倍型 h27 分布于 HLn、LY、GD、LC 和 HL5 个种群中, 其余 22 个单倍型仅存在于单个种群中。由此可见, 两个种群 (LC 和 NS) 仅有共有单倍型, 而其余种群则分别具有 1—4 个独有单倍型。

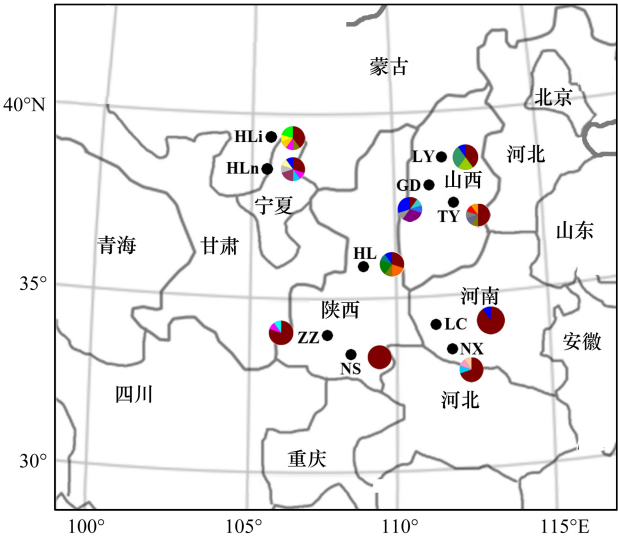


图 1 10 个天然油松种群的地理位置 (黑点) 及其单倍型分布概况 (饼状图)

Fig.1 Geographic location (black dots) of the 10 natural populations of *Pinus tabulaeformis*, and their mitotype distribution (pie chart)

HLi 等为种群代号 (详见表 1); 不同颜色代表不同的单倍型

表 1 供试油松种群的地理位置及其单倍型类型

Table 1 Geographic location of the populations of *Pinus tabulaeformis*, and their haplotypes

种群 Population	采样地点 Location	纬度 (N) Latitude	经度 (E) Longitude	海拔/m Altitude	年均温/℃ Annual mean temperature	年降水量/mm Annual precipitation	样本数 Sample	单倍型 Haplotype
宁陕种群 (NS)	陕西南宁	33°26'	108°27'	1625	12.0	1023	10	h1
内乡种群 (NX)	河南内乡	33°29'	111°56'	1685	15.2	885	10	h1 h9 h20 h21
周至种群 (ZZ)	陕西周至	33°51'	107°53'	1300	8.7	950	10	h1 h6 h19
栾川种群 (LC)	河南栾川	33°57'	111°19'	1465	9.0	1100	10	h1 h27
黄陵种群 (HL)	陕西黄陵	35°41'	108°56'	1050	9.3	614	10	h1 h2 h3 h4 h7 h27
太岳山种群 (TY)	山西太岳山	37°30'	112°03'	1650	6.5	665	10	h1 h3 h14 h15 h16 h17
关帝山种群 (GD)	山西关帝山	37°51'	111°27'	1800	4.0	830	10	h1 h8 h11 h25 h26 h27
芦芽山种群 (LY)	山西芦芽山	38°35'	111°53'	1700	8.0	530	10	h1 h5 h18 h27
宁夏贺兰山种群 (HLn)	宁夏贺兰山	38°30'	105°38'	1785	8.5	300	10	h1 h6 h9 h13 h23 h24 h27
内蒙贺兰山种群 (HLi)	内蒙贺兰山	38°58'	105°54'	2128	1.6	312	10	h1 h3 h6 h10 h12 h22

粗体字显示各种群的独有单倍型

就位于秦岭或贺兰山两侧的种群而言, 秦岭南侧的 NS 和 NX 种群与秦岭北侧的 ZZ 和 LC 种群有一个共有单倍型, 贺兰山东西两侧的 HLn 和 HLi 种群具有两个共有单倍型。秦岭南侧 NX 种群和北侧 ZZ 种群分别具有两个和一个独有单倍型; 贺兰山东侧种群 (HLn) 和西侧种群 (HLi) 均具有 3 个独有单倍型。相比之下, 晋陕种群 (即油松分布区中心种群 HL、TY、GD 和 LY) 则分别具有 2—4 个独有单倍型。由此可见, 秦岭种群或贺兰山种群的独有单倍型平均数目 (分别为 3/4 和 6/2) 明显小于分布

区中心种群(13/4)。

2.2 单倍型间的进化关系

如图2所示,27个单倍型且可合并为12个单倍型(其中h1—h14合并为h1,h25—h27合并为h25),其分布大致呈三叶草形,h25位于交汇中心,主要涉及GD与LY,LC,HL和HLn种群;h22和h23独立为一支,分别涉及HLi和HLn种群;h1,h16、h17和h20、h21为一支,其中h16和h17为TY种群的独有单倍型,h20和h21为NX种群的独有单倍型;h18,h19和h24形成第三支,分别为LY,ZZ和HLn种群的独有单倍型。由此可知,各种群单倍型之间的关系比较复杂。尽管如此,从图2仍然可以看出,位于贺兰山东西两侧种群的独有单倍型(h22和h23)紧邻且独成一支。位于秦岭南北两侧种群的独有单倍型(h20,h21与h19)之间仅存在三个进化节点,说明其关系较近。同时可以看出,位于贺兰山东侧种群的独有单倍型(h23)与晋陕种群的某些独有单倍型(h25和h15)的关系也比较近。位于秦岭北侧种群的独有单倍型(h19)与晋陕种群的独有单倍型(h18,h25和h15)的关系同样较近。

从图3同时可以看出,这些单倍型可大致聚为3组。其中单倍型h1—h15(除h7之外)为第一组,单倍型h16—h24为第二组,单倍型h25,h26,h27和h7为第三组。图3中的第一组单倍型(除h15)和第三组单倍型(除h7)在图2中各自为一个单倍型(h1和h25),同样表明第一组或第三组各个单倍型有着更近的亲缘关系。然而,在第一组中,单倍型h9,h13和h3,h10分别存在于贺兰山东西两侧种群之中(其中h13和h10分别为独有单倍型);h9和h6分别存在于秦岭的南北两侧种群之中。在第二组中,则显示出与图2相类似的结果,即h18,h19和h24为一亚组,h22和h23为一亚组;h16,h20和h21为一亚组。总体来看,在秦岭南北两侧和贺兰山东西两侧的3对种群9个独有单倍型中,有8个独有单倍型的关系较近(h19与h20,h19与h21,h13与h10,h24与h22,h22与h23)。与此同时,位于秦岭北侧种群的独有单倍型(h19)与晋陕种群的独有单倍型(h17和h18)的关系也比较近。位于贺兰山东侧种群的独有单倍型(h23和h24)与晋陕种群的某些独有单倍型(h16、h17和h18)的关系同样较近。

以上分析说明,油松种群单倍型间的亲缘关系比较复杂。秦岭、贺兰山和晋陕3组种群之间不仅具有共有单倍型,多数种群且具有各自的独有单倍型。但是,位于秦岭或贺兰山两侧种群的独有单倍型之间的关系有时(如图2所示)甚或往往(如图3所示)较近。而且秦岭北侧或贺兰山东侧种群的独有单倍型与油松分布区中心种群的某些独有单倍型的关系亦较近。这意味着山脉地理屏障与油松的遗传分化没有明显关系。

2.3 种群遗传多样性和遗传距离

油松种群线粒体 *nad1* 和 *matR* 序列分析表明,总体水平(100个个体)的单倍型多样性为0.7120,核苷酸多样性为0.0050(表2)。种群内单倍型多样性和核苷酸多样性分别为0—0.9111和0—0.0176。其中NX种群核苷酸多样性最高,其次为TY、LC、ZZ种群,而NS种群核苷酸多样性最低。

AMOVA分析表明(表3),所有种群的90.16%的遗传变异分布于种群内,9.84%的遗传变异分布于种群间。但是种群间遗

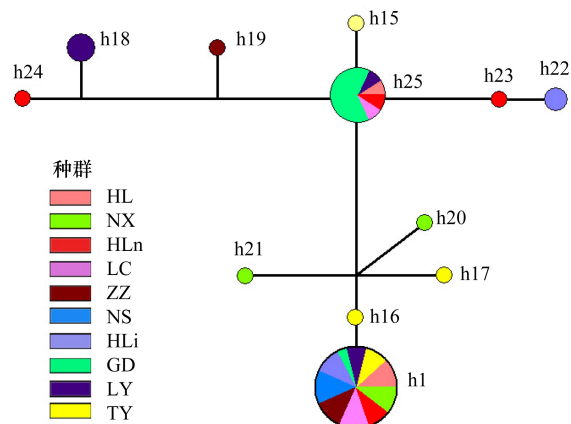


图2 油松种群27个单倍型的网络关系图

Fig. 2 Network relationship chart of the 27 haplotypes from Chinese pine populations

h代表单倍型,h1包括单倍型h1—14,h25包括h25—27,圆圈大小代表单倍型频率,不同颜色代表不同的种群;图例解释见表1

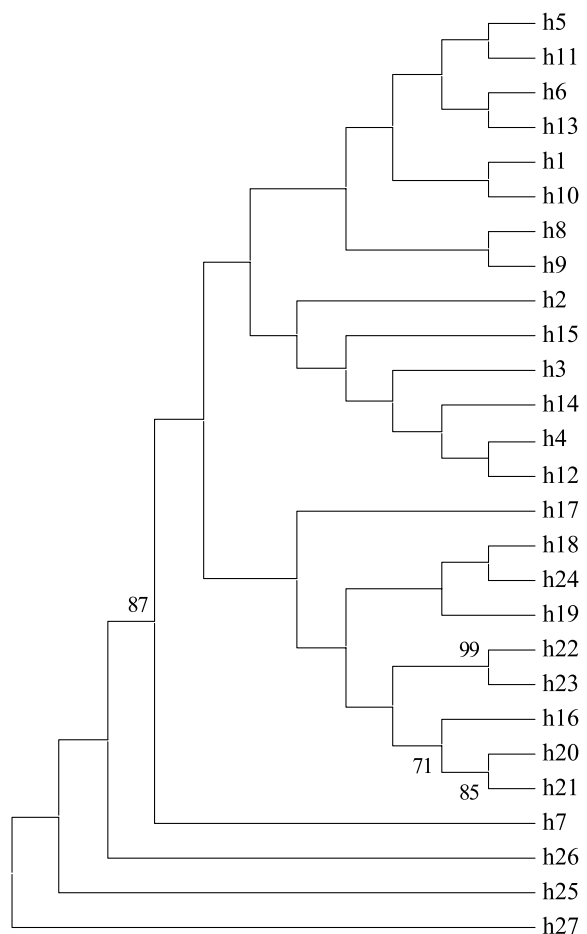


图3 油松27个单倍型的最大简约(MP)聚类图

Fig. 3 Cluster result of 27 mtDNA haplotypes of *Pinus tabulaeformis* using maximum parsimony (MP) method

传分化仍然很显著。对秦岭、贺兰山和晋陕 3 组种群而言,秦岭种群间或晋陕种群间遗传分化极显著,而贺兰山种群间遗传分化则不显著。

表 2 油松种群的单倍型多样性(*H_m*)和核苷酸多样性(π)

Table 2 Haplotype diversity (*H_m*) and nucleotide diversity (π) for 10 nature populations of *Pinus tabulaeformis*

种群 Population	单倍型多样性 <i>H_m</i>	核苷酸多样性 π	种群 Population	单倍型多样性 <i>H_m</i>	核苷酸多样性 π
NS	0.0000	0.0000	NX	0.5333	0.0176
ZZ	0.3778	0.0064	LC	0.2000	0.0064
HL	0.8889	0.0024	TY	0.7778	0.0068
GD	0.8667	0.0036	LY	0.7778	0.0020
HLn	0.9111	0.0042	HLi	0.8444	0.0034
Total	0.7120	0.0050			

表 3 基于线粒体序列的天然油松种群的分子方差分析(AMOVA)

Table 3 Analysis of molecular variance (AMOVA) of mitotypes in the populations of *Pinus tabulaeformis*

种群 Population	变异来源 Source of variation	自由度 df	平方和 Sum of squares	方差分量 Variance components	变异百分数 Percentage of Variation/%	分化指数 <i>F_{st}</i>
全部种群	Among population	9	70.79	0.4106	9.84	0.0984 (<i>P</i> <0.001)
	Within population	90	337.50	3.7604	90.16	
	Total	99	408.28	4.1710		
秦岭种群	Among population	3	16.68	0.0610	1.22	0.0122 (<i>P</i> <0.0001)
	Within populations	36	177.99	4.9500	98.78	
	Total	39	194.67	5.0110		
晋陕种群	Among populations	3	34.11	0.8457	22.39	0.2239(<i>P</i> <0.0001)
	Within populations	36	105.22	2.9321	77.61	
	Total	39	139.33	3.7778		
贺兰山种群	Among populations	1	2.25	-0.0777	-2.64	-0.0264(<i>P</i> =0.912)
	Within populations	18	54.29	3.0219	102.64	
	Total	19	56.54	2.9442		

从种群之间的遗传距离(表 4)可知,NX 种群与其他种群之间的遗传距离均比较大,其次为 TY 种群。如图 4 所示,若以 0.0015 为临界值,可将供试种群分为 6 组,即 HLi 和 HLn 各为一组,LY、GD 和 LC 为一组,HL、NS 和 ZZ 为一组,NX 和 TY 各为一组。说明油松种群间的聚类关系比较复杂。很显然,这种聚类关系与油松单倍型间的复杂进化关系密切相关。

表 4 油松种群间的遗传距离

Table 4 Genetic distance among the 10 populations of *Pinus tabulaeformis*

种群 Population	NS	NX	ZZ	LC	HL	TY	GD	LY	HLn	HLi
NS	-									
NX	0.0094	-								
ZZ	0.0033	0.0125	-							
LC	0.0006	0.0100	0.0038	-						
HL	0.0011	0.0105	0.0044	0.0017	-					
TY	0.0035	0.0125	0.0067	0.0040	0.0045	-				
GD	0.0046	0.0137	0.0077	0.0043	0.0055	0.0078	-			
LY	0.0011	0.0105	0.0043	0.0016	0.0023	0.0045	0.0046	-		
HLn	0.0021	0.0113	0.0053	0.0026	0.0032	0.0055	0.0058	0.0030	-	
HLi	0.0020	0.0112	0.0053	0.0026	0.0030	0.0053	0.0065	0.0031	0.0038	-

尽管秦岭南、北两侧种群(NS 与 ZZ)或贺兰山东、西两侧种群(HLi 与 HLn)的聚类关系较近,但是由于 NX 和 TY 各分为一

组,而 LC 归为另一组,秦岭南、北两侧种群与油松分布区中心种群之间表现出复杂的聚类关系。同样由于 TY 单独为一组,HLi 与 HLn 各为一组,贺兰山东西两侧种群与油松分布区中心种群之间亦表现出比较复杂的关系。这从另一个侧面说明,位于秦岭南北两侧或贺兰山东西两侧种群之间的遗传分化与山脉屏障的存在没有明显关系。

3 讨论

遗传多样性是物种适应环境的基础。遗传多样性的高低可以在一定程度上反映物种的进化过程、进化潜力,以及物种对环境的适应能力。松科植物线粒体基因具有母系遗传特性,不经历重组,能更直接地反映植物的进化特征。对 mtDNA 序列的分析显示,在供试油松种群中共检测到 27 个单倍型。单倍型 h1 为各种群所共有,可能为一个古老单倍型。除 h3, h6, h9 和 h27 这 4 个单倍型为 2—5 种群共有之外,其余 22 个单倍型分别为 8 个种群所独有。整体而言,油松具有较高的单倍型多样性(0.7120)和核苷酸多样性(0.0050)。尽管遗传多样性主要存在于种群内(90.16%),种群间遗传分化仍然很显著($F_{st} = 0.0984$, $P < 0.001$)。这与已有研究结果^[5, 24-25]相一致。由此可见,油松种群在长期的进化过程中的确产生了明显分化。

山脉尤其是东西走向的山脉,在第四冰期时对种群的分子进化可能起到重要作用^[26]。山脉主要是通过阻碍花粉和种子传播,从而影响基因流,导致种群间的遗传分化。种群遗传分化程度通常用遗传分化指数(F_{st})表示。本研究显示,与晋陕种群的遗传分化指数(0.2239)相比,秦岭种群的遗传分化指数(0.0122)和贺兰山种群的遗传分化指数(-0.0264)均较小(尽管秦岭种群或晋陕种群的遗传分化显著,而贺兰山种群的遗传分化不显著)(表 3)。这意味着山脉屏障与油松的遗传分化没有多大关系。

贺兰山种群的遗传分化指数为负值,且种群内变异超过了 100%(102.64%)。根据叶莹莹等的对类似结果的分析^[27],可以认为贺兰山两侧的两个油松种群间无遗传分化。这同样说明贺兰山对其两侧油松种群的遗传分化几乎没有任何影响。

就单倍型而言,尽管秦岭南、北侧或贺兰山东、西侧种群各有自己的独有单倍型,但与晋陕种群相比,其独有单倍型的平均数较小。尽管各种群单倍型之间的关系错综复杂,但是从单倍型的网络关系和最大简约聚类图中仍然可以比较清楚地看出,位于秦岭南北两侧或贺兰山东西两侧种群的独有单倍型之间关系往往比较接近(如图 2 中 h19 与 h20 和 h21; h22 与 h23; 图 4 中 h19 与 h20, h19 与 h21; h13 与 h10, h22 与 h24, 尤其是 h22 与 h23)。已有油松谱系地理学研究也表明,太白山种群和宁陕种群之间没有明显遗传分化^[4]。这些分析说明,油松的遗传结构与其分布区山脉屏障的存在没有明显关系。

References:

- [1] Xu H C. Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis* Carr). Beijing: China Forestry Press, 1993: 18-40.
- [2] Xu H C. Geographic Variation and Provenance Selection of *Pinus tabulaeformis* Carr. Beijing: China Forestry Press, 1992: 37-56.
- [3] Cun Y Z, Wang X Q. Plant recolonization in the Himalaya from the southeastern Qinghai-Tibetan Plateau: Geographical isolation contributed to high population differentiation. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, 56(3): 972-982.
- [4] Chen K M, Abbott R J, Milne R I, Tian X M, Liu J Q. Phylogeography of *Pinus tabulaeformis* Carr. (Pinaceae), a dominant species of coniferous forest in northern China. *Molecular Ecology*, 2008, 17(19): 4276-4288.
- [5] Wang M B, Hao Z Z. Rangeland genetic diversity in natural populations of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Biochemical Genetics*, 2010, 48(7/8): 590-602.
- [6] Godbout J, Jaramillo-Correa J P, Beaulieu J, Bousquet J. A mitochondrial DNA minisatellite reveals the postglacial history of jack pine (*Pinus banksiana*), a broad-range North American conifer. *Molecular Ecology*, 2005, 14(11): 3497-3512.
- [7] Lu Z X, Wang Y H, Peng Y H, Korpelainen H, Li C Y. Genetic diversity of *Populus cathayana* Rehd populations in southwestern China revealed by ISSR markers. *Plant Science*, 2006, 170(2): 407-412.
- [8] González-Martínez S C, Gómez A, Carrión J S, Agúndez D, Alfá R, Gil L. Spatial genetic structure of an explicit glacial refugium of maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton) in southeastern Spain. *Phylogeography of Southern European Refugia*, 2007, (Part III): 257-269.
- [9] Magri D, Vendramin G G, Comps B, Dupanloup I, Geburek T, Gömöry D, Latalowa M, Litt T, Paule L, Roure J M, Tantau L, van der Knaap W O, Petit R J, de Beaulieu J L. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 2006, 171(1): 199-221.
- [10] Hu L J, Uchiyama K, Shen H L, Saito Y, Tsuda Y, Ide Y. Nuclear DNA microsatellites reveal genetic variation but a lack of phylogeographical

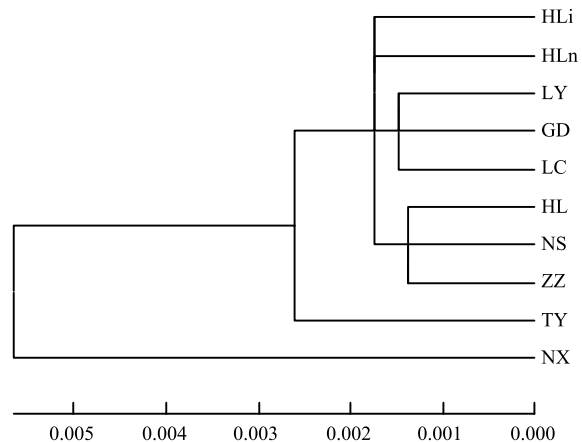


图 4 基于 Kimura 双参数距离的油松天然种群的邻接聚类图

Fig. 4 Neighbor-joining tree based on Kimura 2-parameter distance in populations of *Pinus tabulaeformis*

- structure in an endangered species, *Fraxinus mandshurica*, across North-east China. *Annals of Botany*, 2008, 102(2): 195-205.
- [11] Ying T S. Areography of the gymnosperms of China (1) - distribution of the pinaceae of China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1989, 27(1): 27-38.
- [12] Jia W J, Li E X, Yang B Y, Liu D X. Studied on genetic diversity of *Aquilaria sinensis*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2010, 18(2): 159-164.
- [13] Ying T S. An analysis of the flora of Qinling Mountain range; Its nature, characteristics, and origins. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1994, 32(5): 389-410.
- [14] Di Q Z, Tian L S, Li Z J. The characteristics of Helan Mountain flora of spermatophytes. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1988, 8(4): 242-254.
- [15] Yu G, Chen X D, Ni J, Cheddadi R, Guiot J, Han H, Harrison S P, Huang C, Ke M, Kong Z, Li S, Li W, Liew P, Liu G, Liu J, Liu Q, Liu K B, Prentice I C, Qui W, Ren G, Song C, Sugita S, Sun X, Tang L, van Campo E, Xia Y, Xu Q, Yan S, Yang X, Zhao J, Zheng Z. Palaeovegetation of China: a pollen data-based synthesis for the mid-Holocene and last glacial maximum. *Journal of Biogeography*, 2000, 27(3): 635-664.
- [16] Qian H, Ricklefs R E. Large-scale processes and the Asian bias in species diversity of temperate plants. *Nature*, 2000, 407(6801): 180-182.
- [17] Brown K R, Zobel D B, Zasada J C. Seed dispersal, seedling emergence and early survival of *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch in the Tanana Valley, Alaska. *Canadian Journal of Forest*, 18(3): 306-314.
- [18] Wagner D B. Nuclear chloroplast and mitochondrial DNA polymorphisms as biochemical markers in population genetic analysis of forest trees. *New Forests*, 1992, 6(1/4): 373-390.
- [19] Ennos R A. Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity*, 1994, 72(3): 250-259.
- [20] Doyle J J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf material. *Phytochemical Bulletin*, 1987, 19: 11-15.
- [21] Song B H, Wang X Q, Wang X Y, Sun L J, Hong D Y, Peng P H. Maternal lineages of *Pinus densata*, a diploid hybrid. *Molecular Ecology*, 2002, 11(6): 1057-1063.
- [22] Jaramillo-Correa J P, Beaulieu J, Bousquet J. Variation in mitochondrial DNA reveals multiple distant glacial refugia in black spruce (*Picea mariana*) a transcontinental North American conifer. *Molecular Ecology*, 2004, 13(9): 2735-2747.
- [23] Bandelt H J, Forster P, Röhl A. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 1999, 16(1): 37-48.
- [24] Wang M B, Gao F Q. Genetic variation in *Chinese Pine* (*Pinus tabulaeformis*), a woody species endemic to China. *Biochemical Genetics*, 2009, 47(1/2): 154-164.
- [25] Li C, Chai B F, Wang M B. Genetic diversity of *Pinus tabulaeformis*, populations in North China. *Bulletin of Botanical Research*, 2006, 26(1): 98-102.
- [26] Shen L, Chen X Y, Li Y Y. Glacial refugia and postglacial recolonization patterns of organisms. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1983-1990.
- [27] Ye Y Y, Xu M Y, Guo B Y, Wu C W. Genetic structure and sequence analysis of four populations of *Mytilus coruscus* in the coastal waters of southeast China sea using 16s rRNA. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 43(2): 376-381.

参考文献:

- [1] 徐化成. 油松. 北京: 中国林业出版社, 1993: 18-40.
- [2] 徐化成. 油松地理变异和种源选择. 北京: 中国林业出版社, 1992: 37-56.
- [11] 应俊生. 中国裸子植物分布区的研究(1)——松科植物的地理分布. *植物分类学报*, 1989, 27(1): 27-38.
- [12] 贾文杰, 李恩香, 杨柏云, 刘东晓. 白木香遗传多样性研究. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(2): 159-164.
- [13] 应俊生. 秦岭植物区系的性质、特点和起源. *植物分类学报*, 1994, 32(5): 389-410.
- [14] 狄维忠, 田连恕, 李智军. 贺兰山种子植物区系的特征. *西北植物学报*, 1988, 8(4): 242-254.
- [26] 沈浪, 陈小勇, 李媛媛. 生物冰期避难所与冰期后的重新扩散. *生态学报*, 2002, 22(11): 1983-1990.
- [27] 叶莹莹, 徐梅英, 郭宝英, 吴常文. 我国东南沿海厚壳贻贝 (*Mytilus coruscus*) 4 个群体线粒体 16S rRNA 序列及遗传结构分析. *海洋与湖沼*, 2013, 43(2): 376-381.

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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元