

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

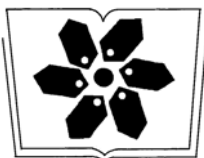
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **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 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

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/stxb201211271680

李明, 王树香, 高宝嘉. 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析. 生态学报, 2013, 33(12): 3602-3610.

Li M, Wang S X, Gao B J. Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs habitat ecological factors. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3602-3610.

油松天然次生林居群遗传多样性及与 产地地理气候因子的关联分析

李 明¹, 王树香¹, 高宝嘉^{2, *}

(1. 河北农业大学生命科学学院, 保定 071000; 2. 河北农业大学林学院, 保定 071000)

摘要: 利用 ISSR 分子标记技术, 分析了中国北部地区 10 个油松天然次生林居群的遗传多样性, 以及与地理环境因子的相关性。研究结果表明: 13 条 ISSR 引物对 250 个个体扩增出 137 条谱带, 平均多态位点百分率 60.72%, 不同居群的多态位点百分率差异明显; 不同地理居群间的期望杂合度指数在 0.2824—0.3702 之间, 平均为 0.3210; Shannon 多样性指数范围为 0.1923—0.2490, 平均为 0.2165。居群间的遗传变异占居群总的遗传多样性的 37.53%。经 Mantel 检验, 居群间的地理距离和遗传距离间不存在显著相关性 ($r=0.069$, $P=0.360$)。聚类分析 (UPGMA) 表明, 河南宝天曼 (BTM)、承德大窝铺 (DWP)、宁夏苏峪口 (SYK) 和甘肃冶力关 (YLG) 居群聚为一组, 辽宁巫西闫山 (YWL)、山西沁源灵空山 (LKS)、陕西蔡家川林场 (CJC)、山西和顺云龙公园 (YLG) 和山西汶水三道川林场 (SDC) 居群为一组, 山东蒙山 (MS) 居群独立为一组。经分析发现, 分布于我国地势二级、三级阶梯分界线区域的油松天然林 (YWL、BTM、YLG) 遗传多样性水平高, 位于分布区东西临界点居群 (MS、YLG) 遗传多样性水平低。经相关性分析, 温度相关因子 (年均温、1 月均温、极端最低温)、海拔及年降雨量显著影响遗传多样性水平。油松天然居群分子变异存在一定的地理变异规律。

关键词: 油松; 环境因子; 遗传多样性; ISSR 标记; 地理变异

Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs habitat ecological factors

LI Ming¹, WANG Shuxiang¹, GAO Baojia^{2, *}

1 College of Life Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China

2 College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China

Abstract: The genetic diversity of 10 *Pinus tabulaeformis* natural secondary forest populations in northern China and the correlation with environmental factors were analyzed by using ISSR molecular marker techniques. 250 individuals were amplified 137 bands by using 13 ISSR primers. The average percentage of polymorphic loci is 60.72%, and there is significant difference between different populations with the highest value in BTM group (71.53%) and the lowest value in YLG group (51.09%). Expected heterozygosity index and Shannon's information index (I) individually range from 0.2824—0.3702 and 0.1923—0.2490 respectively between different geographic populations, and their average values are 0.3210 and 0.2165 respectively. The genetic variety between different populations are 37.53% of total genetic diversity. Among 10 *P. tabulaeformis* natural populations, genetic distances range from 0.083 (LKS to CJC) to 0.2939 (SDC to DWP), geographic distances range from 110.9252 km (LKS to SDC) to 1741.0933 km (YWL to YLG). Genetic distance and geographic distance are uncorrelated in the Mantel test ($r=0.069$, $P=0.360$). UPGMA clustering analysis showed

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (C2008000231)

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2013-03-25

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

that YWL, LKS, CJC, YLGY and SDC populations were a group, and MS population was clearly separated from other populations, and the other four populations were clustered into a group. The populations located in the boundary of the second and the third topography steps of China (YWL, BTM, YLGY) have a high level of genetic diversity, and the populations in critical distribution areas have a low level. The correlation analysis of genetic diversity and environmental factors showed that allele number and polymorphic percentage of natural populations were a significant positive correlation with the annual average temperature, the average temperature in January, the extreme minimum temperature, and were significant negative correlation with altitude. With increasing annual maximum temperature and the altitude, decreasing in annual rainfall, Shannon's information index rises. Finally, get a result that the molecular variation of *P. tabulaeformis* natural secondary forest population have partly geographical variation.

Key Words: *Pinus tabulaeformis*; environmental factor; genetic diversity; ISSR marker; geographic variation

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)是我国特有树种,分布全国14个省(自治区)^[1],具有重要的生态、经济价值,是我国北方天然油松分布区的主要建群种,同时也是我国北方地区治理水土流失、改善生态环境的重要造林树种^[2]。近年来,人们对油松天然林进行了大量利用,加之气候影响,大面积的油松天然林遭到破坏,甚至消亡。因而,迫切需要对油松天然林遗传资源进行保护,以防止其优良基因和遗传多样性丧失。在上世纪中后期徐化成等从形态特征、化学成分及分布特征等方面做了大量关于油松天然林的地理变异研究^[3-5],认为生长特性与纬度呈负相关,与年均温呈正相关,同时形态指标、抗逆指标又存在地理变异的不连续性,并对油松种源的20个特征进行了遗传变异研究,划分了7个生态型。在油松的分子遗传方面,张春晓、李悦等采用水平淀粉凝胶电泳方法研究了油松遗传多样性指数与海拔、年降雨量存在相关关系^[6-7];王磊等利用随机微卫星扩增多态性DNA(RMAPD)分子标记技术,揭示了油松各天然居群间存在较高遗传多样性差异^[8];李鑫、柴宝峰等用酸性聚丙烯酰胺凝胶(APAGE)技术分析了华北地区油松居群在醇溶蛋白及分子水平的遗传特征^[9-10]。近年来,李明、张静洁等采用ISSR标记技术对油松种质资源保护、遗传多样性与生境环境作了一定研究,认为不同海拔生境及土壤因子影响下,其天然次生林存在明显变异规律^[11-12];王孟本、Eckert等通过对不同居群油松与环境因子研究,认为不同油松居群间遗传分化显著,遗传多样性指数与年均温、年降雨量不存在显著相关性^[13-15]。系统研究产地环境因子与油松天然次生林遗传变异的关联以及地理变异规律将对油松种质资源的保护和利用具有重要的理论意义。本研究采用ISSR技术对油松天然群体遗传多样性变异进行研究,据此分析其与产地生态环境因子的关联,从而更清楚地认识和预测天然油松次生林分子特征的地理变异规律,并为正确、合理利用与保护天然油松种质资源提供基础资料和科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 野外取样

2011年7月底到8月初,于河南、山东、河北、宁夏、山西、陕西、甘肃、辽宁等8省10地区的油松天然次生林中取样。每居群取25株个体,每两个体间距大于50 m,共250个样本。采集当年生新鲜针叶,将针叶放入保鲜盒中带回,置于-20℃冰箱保存。其中,经纬度、海拔由GPS测得,年平均气温、极端最高温、极端最低温、年降雨量、年日照时数等气象因子由各居群所在地气象站资料计算得到,各采样点位置及气象数据如表1。

1.2 研究方法

1.2.1 DNA的提取和反应体系

采用UNIQ-10柱式新型植物基因组DNA抽提试剂盒(购自上海生物工程有限公司)提取DNA,并稀释成终浓度20 ng/μL,放入-20℃冰箱储存备用。根据加拿大哥伦比亚大学公布的100条ISSR标记序列(<http://www.biotech.ub.ca/services/naps/primers/Primers.pdf>),筛选出13个重复性好、特异性高的引物用于ISSR-PCR反应^[12],ISSR引物由上海生物工程有限公司合成。扩增产物经1.5%琼脂糖凝胶电泳分离,溴化乙锭

表 1 天然油松次生林采集地环境特征

环境因子 Environmental factors	纬度/(°) Latitude	经度/(°) Longitude	海拔/m Altitude	Table 1 Environmental variables of <i>Pinus tabulaeformis</i> populations							全年无霜期/d Annual frost free period	年蒸发量/mm Annual evaporation
				年平均气温/°C Mean annual temperature	1月平均气温/°C January average temperature	7月平均气温/°C July average temperature	极端最低温/°C Extreme minimum temperature	极端最高温/°C Extreme maximum temperature	≥10℃的年活动积温 Accumulated temperature above 10℃	年均降水量/mm Mean annual precipitation		
辽宁医巫闾山	41.61	121.71	120—300	8.2	-10.3	24	-27.3	41.6	3358	572.5	160	1965
河北承德大窝铺	41.315	118.49	1430—1485	7.3	-10.7	23	-27.9	39.4	3193.7	550	125	1800
宁夏苏峪口	38.755	105.92	1986—2132	8.4	-14.2	11.9	-30.6	39.3	3281.6	600	123	2000
山西汶水三道川林场	37.52	111.6	1426—1647	8.85	-7.7	23	-19.6	34.5	2022	600	100	1850.8
山西和顺云龙公园	37.34	113.54	1309—1505	6.3	-10	20	-17	31	2477	593	124	1718
山西沁源灵空山	36.6	112.08	1470—1587	8	-5	21.5	-23.8	35.9	2700	650	125	1600
陕西蔡家川林场	35.835	109.93	1250—1349	8.6	-5.9	21.8	-21.9	36.7	2953.7	606.2	175	856.6
山东蒙山	35.56	117.96	430—968	12.8	-0.52	25.3	-7.1	30.9	4396.5	998	191	2124
甘肃冶力关	34.95	103.6	2319—2448	5.5	-8.3	21.1	-27	34	1249	650	90	1266.8
河南宝天曼	33.489	111.94	1273—1568	15.1	1.5	27.8	-14.8	41.2	3574	900	160	991.6

染色后,在 UVP 凝胶成像系统下观察拍照。

1.2.3 数据统计和分析

以产生分子量为 100—2000 bp 的 Marker DL2000 (宝泰克)为标准谱带,有带记作“1”,无带记作“0”。假设群体处于哈迪-韦伯平衡,利用 POPGENE 1.32 和 GENAIE6.3 软件对谱带进行遗传特征分析,分别计算:(1) 观测等位基因数 N_a ;(2) 有效等位基因数 N_e ;(3) 期望杂合度 H_e ;(4) Shannon 信息指数 I ;(5) 多态位点百分率 P ;(6) 总基因多样性 H_t ;(7) 居群内基因多样性 H_s 。

应用 SPSS 18.0 软件进行 Pearson 相关性分析,应用 POPGENE 软件以 UPGMA 法对居群间的亲缘关系进行聚类分析,并绘制聚类图。

2 结果与分析

2.1 油松天然居群遗传多样性

13 个 ISSR 引物共扩增出 137 个多态位点,平均多态位点百分率 60.72%,总的多态位点百分率 100%,平均每条引物扩增 10.54 条谱带(表 2),绝大多数谱带集中在 400—1600 bp(图 1)。不同油松居群的总基因多样性(H_t)为 0.3461,其中存在于居群内的基因多样性(H_s)为 0.2162,居群间的基因多样性(D_{ST})为 0.1299。不同居群间的遗传分化系数(G_{ST})为 0.3753,表明大部分分子变异发生在居群内(62.47%)。一般风媒传粉的异交木本植物居群间变异占总变异的 10% 左右,油松与之相比,显然是偏高的。根据 $Nm=0.5(1-G_{ST})/G_{ST}$ 计算出不同生境下的油松居群基因流(Nm)为 0.8323,说明居群间存在有限的基因交流。

表 2 ISSR 扩增引物、序列及扩增结果
Table 2 ISSR primer labels, primer sequences and amplification results

引物 Primer	序列 5'-3' Sequence	总扩增带数 Total bands	引物 Primer	序列 5'-3' Sequence	总扩增带数 Total bands
808	AGAGAGAGAGAGAGAGC	8	827	ACACACACACACACACG	12
809	AGAGAGAGAGAGAGAGG	8	828	TGTGTGTGTGTGTGTGA	13
811	GAGAGAGAGAGAGAGAC	10	834	AGAGAGAGAGAGAGAGYT	13
812	GAGAGAGAGAGAGAGAA	9	836	AGAGAGAGAGAGAGAGYA	11
818	CACACACACACACACAG	8	849	GTGTGTGTGTGTGTGTYA	11
820	GTGTGTGTGTGTGTGTC	12	855	ACACACACACACACACYT	11
826	ACACACACACACACACC	11		平均 Mean	10.54

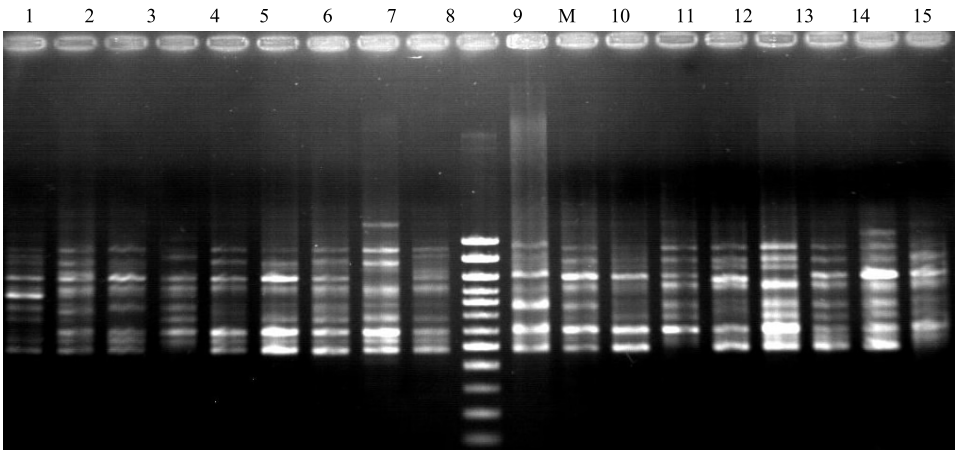


图 1 ISSR 引物(826)对苏峪口居群部分个体的扩增结果
Fig.1 The profiles of SDC population using the ISSR primer (826)

由表 3 可知,各居群间 Shannon 信息指数变化范围在 0.1923—0.2490,平均值(0.2165)与 Nybom^[21]所统计的多种植物种群水平的遗传多样性(基于 RAPD 和 ISSR 等显性标记)平均值(0.22)相似;各居群间期望杂

合度 H_e 变化范围在 0.2824—0.3702, 其中山西和顺云龙公园居群最高, 甘肃冶力关居群最低, 与观测等位基因数变化趋势基本一致; 多态位点百分率以河南宝天曼油松居群最高 (71.53%), 山西和顺云龙公园居群次之 (70.7%), 甘肃冶力关居群最低 (51.09%)。

表 3 油松天然居群遗传参数
Table 3 Genetic parameters of *Pinus tabulaeformis* populations

居群 Population	观测等位基因数 Observed number of alleles (N_a)	有效等位基因数 Effective number of alleles (N_e)	期望杂合度 Expected heterozygosity (H_e)	Shannon 信息指数 Shannon information index (I)	多态位点百分率 Percentage of polymorphic loci (P)/%
BTM	1.4891±0.0719	1.4328±0.0354	0.3572±0.025	0.2416±0.0181	71.53
CJC	1.4818±0.0640	1.416±0.0327	0.3536±0.0249	0.2396±0.0175	63.5
DWP	1.1899±0.0826	1.3491±0.0328	0.2987±0.0251	0.2012±0.0176	57.66
LKS	1.4015±0.0651	1.337±0.0315	0.2967±0.0245	0.1982±0.0170	56.93
MS	1.3066±0.0737	1.337±0.0327	0.2911±0.0247	0.1949±0.0174	56.93
SDC	1.4161±0.0652	1.3463±0.0326	0.2995±0.0247	0.2006±0.0174	58.39
SYK	1.2044±0.0797	1.361±0.0342	0.3003±0.0247	0.2039±0.0181	55.47
YLG	1.1679±0.0779	1.3398±0.0337	0.2824±0.0256	0.1923±0.0181	51.09
YLGY	1.6277±0.0528	1.4313±0.0326	0.3702±0.0241	0.249±0.0171	70.07
YWL	1.438±0.0709	1.4248±0.033	0.3607±0.0247	0.2441±0.0174	65.69
平均 Mean	1.3723	1.3775	0.3210	0.2165	60.72

N_e : No. of Effective Alleles = $1/(p^2 + q^2)$; I : Shannon's information index = $-1 \times (p \times \ln(p) + q \times \ln(q))$; H_e : Expected heterozygosity = $2 \times p \times q$; $q = (1 - \text{Band Freq.}) \times 0.5$; $p = 1 - q$

2.2 油松居群 ISSR 差异带数分析

10 个油松天然居群中, 13 条引物扩增出差异带数最少为 84 条 (DWP), 最多为 127 条 (YLGY), 各油松天然居群扩增谱带及频率存在较大的变异。另外, 在差异带数出现频率很低 ($\leq 25\%$) 时, 少数居群如 YLG、SYK、DWP 三居群没有扩增特异条带, 说明三居群变异程度低; 而 YLGY 居群有 3 条, YWL 和 LKS 居群各有 2 条, 其它居群各 1 条 (表 4), 说明这些油松天然次生林居群具有更丰富的变异基础。在使用的引物中, SDC 居群有 1 条特异性扩增条带, 为该居群种质资源的变异特性研究提供了重要前提。

表 4 油松居群 ISSR 差异带数分析
Table 4 Different bands for ISSR data of *Pinus tabulaeformis* populations

居群 Population	差异带数 No. of different bands	差异带数 (出现频率 $\geq 5\%$) No. of different bands with a Freq. $\geq 5\%$	特有带数 No. of bands unique to a single population	差异带数 (出现频率 $\leq 25\%$) No. of locally comm bands ($\leq 25\%$)	差异带数 (出现频率 $\leq 50\%$) No. of locally comm bands ($\leq 50\%$)
YWL	107	104	0	2	19
MS	101	96	0	1	13
LKS	114	112	0	2	19
CJC	116	114	0	1	17
YLGY	127	125	0	3	24
SDC	114	110	1	1	16
BTM	106	96	0	1	13
YLG	90	87	0	0	7
SYK	89	86	0	0	7
DWP	84	76	0	0	9

No. LComm Bands ($\leq 25\%$) = No. of Locally Common Bands (Freq. $\geq 5\%$) Found in 25% or Fewer Populations; No. LComm Bands ($\leq 50\%$) = No. of Locally Common Bands (Freq. $\geq 5\%$) Found in 50% or Fewer Populations

2.3 油松天然居群间的遗传距离和 UPGMA 分析

表 5 显示,10 个天然油松居群间的遗传距离 (D) 变化范围为 0.083 (LKS-CJC)—0.2939 (SDC-DWP), 地理距离变化范围为 110.9252 km (LKS-SDC)—1741.0933 km (YWL-YLG)。经 Mantel 检验,10 个居群间的地理距离和遗传距离不存在显著相关性($r=0.069, P=0.360$),说明地理隔离不是遗传变异的主要原因,而产地环境因子长期胁迫,可能使油松居群发生一定程度的地理适应性分化。

Table 5 Nei's genetic distance (below diagonal) and geographic distance (above diagonal)/km of <i>Pinus tabulaeformis</i> populations										
	YWL	MS	LKS	CJC	YLGY	SDC	BTM	YLG	SYK	DWP
YWL	—	747.2752	998.9315	1204.8800	846.0104	977.5324	1246.3251	1741.0933	1376.3048	270.2863
MS	0.2353	—	540.5362	725.2684	442.0463	608.3927	597.8427	1304.7969	1123.7532	641.4381
LKS	0.1366	0.2611	—	210.8708	153.3511	110.9252	346.1992	787.0347	592.9918	761.9796
CJC	0.1463	0.2417	0.0830	—	362.9554	239.2946	318.5911	582.6412	481.1852	960.5079
YLGY	0.1447	0.2578	0.1045	0.1051	—	172.4632	452.1963	931.0725	685.5609	613.1765
SDC	0.155	0.2128	0.1317	0.1805	0.1150	—	449.2693	772.3542	515.5157	726.1735
BTM	0.1889	0.2561	0.2375	0.2204	0.2349	0.2589	—	783.4410	796.4241	1044.1572
YLG	0.1956	0.2298	0.2636	0.2211	0.2187	0.2452	0.1352	—	470.7576	1479.3538
SYK	0.2309	0.2344	0.2657	0.2005	0.2381	0.2650	0.1213	0.1649	—	1106.2608
DWP	0.2137	0.2442	0.314	0.2881	0.2814	0.2939	0.1162	0.1797	0.1415	—

根据 Nei 无偏遗传距离构建居群间 UPGMA 聚类图(图 2)显示,10 个油松天然居群共聚成 3 大类:河南宝天曼(BTM)、承德大窝铺(DWP)、宁夏苏峪口(SYK)和甘肃冶力关(YLG)居群聚为一类,辽宁医巫闾(YWL)、山西沁源灵空山(LKS)、陕西蔡家川林场(CJC)、山西和顺云龙公园(YLGY)和山西汶水三道川林场(SDC)居群聚为一类,山东蒙山(MS)居群独立为一类。

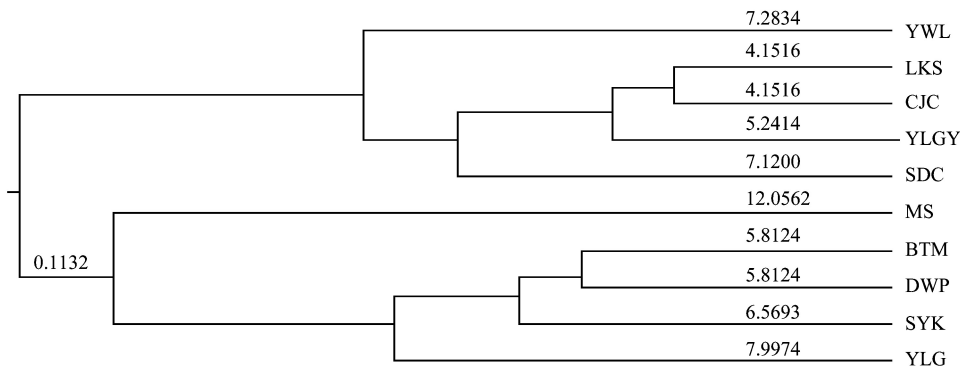


图 2 10 个天然油松居群基于 Nei's (1972) 遗传距离聚类图
Fig.2 Dendrogram based Nei's (1972) genetic distance of 10 *Pinus tabulaeformis* populations

2.4 油松天然居群遗传多样性及与产地环境因子相关性分析

进一步对油松天然居群遗传多样性与产地环境因子进行相关性分析(表 6),油松天然居群的观测等位基因数(N_a)及多态条带百分率(P)与年平均气温、1 月平均气温、极端最低温等产地气候因子呈显著正相关,与海拔呈显著负相关。Shannon 信息指数(I)与海拔($r=-0.5788$)、极端最高温($r=0.5289$)及年降雨量($r=-0.5512$)呈显著相关,即随着极端最高温升高、海拔降低、年降雨量减少,Shannon 信息指数升高。

表 6 油松居群遗传参数与环境因子相关性

环境因子 Environmental factors	<i>N_a</i>	<i>N_e</i>	<i>I</i>	<i>P</i>
纬度 Latitude/(°)	-0.1030	0.1033	0.3091	0.0304
经度 Longitude/(°)	0.2121	0.1033	0.2606	0.4195
海拔 Altitude/m	-0.5636 *	-0.3404	-0.5788 *	-0.6079 *
年平均气温 Mean annual temperature/℃	0.5545 *	0.0790	0.0909	0.5567 *
1 月平均气温 January average temperature/℃	0.5455 *	-0.1581	-0.1879	0.2310
7 月平均气温 July average temperature/℃	0.2128	0.0915	0.0243	0.4451
极端最低温 Extreme minimum temperature	0.5515 *	0.0486	0.0788	0.5377 *
极端最高温 extreme maximum temperature	0.1152	0.5289 *	0.5303 *	0.3587
≥10℃ 的年活动积温	0.1273	0.2128	0.1879	0.2371
年均降水量 mean annual precipitation/mm	-0.0244	-0.3517	-0.5512 *	-0.2171
全年无霜期 Annual frost free period/d	-0.1581	0.1006	0.2857	-0.0945
年日照时数 Annual sunshine hours/h	0.3659	0.1376	0.1890	0.3945
年蒸发量 Annual evaporation/mm	-0.3212	-0.2979	-0.1152	-0.2979

* $P<0.05$; * * $P<0.01$

3 结论与讨论

3.1 油松天然居群的遗传多样性与环境因子相关性

油松居群的平均多态位点百分率 60.72%, 总的多态位点比率为 100%, 变异幅度范围为 55.47%—71.53%, 表明油松在种水平上具有较高的遗传多样性。Wright^[17] 认为居群间基因流大于 1 能发挥其均质化作用, 反之, 则表明基因流成为遗传分化的主要原因。本研究天然油松林的基因流为 0.8323, 说明不同产地环境的长期影响, 可能造成天然油松居群间基因流较小, 是居群间遗传分化重要原因。居群间遗传变异占总变异的 37.53%, 表明居群间已产生较大程度的分化。故表明居群间地理及环境因子的差异, 可能使花粉的传播受到较大程度的阻碍, 从而限制了居群间的随机交配, 居群间遗传分化越来越明显。

本研究的目的一是分析油松居群遗传多样性及与生态因子间相关性。13 条引物扩增的多态条带比率非常高(100%), 在 137 个 ISSR 扩增谱带中, 特有条带 1 条(山西三道川林场), 频率≤25% 差异条带数量 1—3 条, 频率≤50% 差异条带数量 7—24 条, 出现频率≥5% 的差异带数 76—125 条, 从而进一步说明作为分布于我国北方各省的广布种, 天然油松次生林具有极丰富的基因多态性。一般认为一个物种的遗传多样性愈丰富, 对环境变化的适应性就愈大^[18], 油松天然居群间遗传结构的差异有利于油松提高抵御不良环境的能力, 扩展其分布范围, 增强其适应性。很多学者对不同植物居群进行了环境因子与遗传多样性指数间的相关性研究, 发现居群遗传多样性与产地海拔、温度、降雨量、土壤矿物质含量等因子间存在一定的相关关系^[16,19-24], 说明环境胁迫影响下, 导致谱带频率和遗传多样性发生一定程度的梯度变化, 引起相应的适应性生态地理分化。有大量研究^[25-27] 指出, 植物抗寒性并非由单一基因控, 是由多种特异的数量性抗寒基因调控的。本研究结果显示(表 6), 随着产地年平均气温、极端最低温的降低, 天然油松林居群的观测等位基因数量及多态位点百分率显著降低, Shannon 信息指数与降雨量呈现显著负相关, 从而说明低温和降雨量影响了抗逆相关基因数量的表达, 对天然油松次生林 ISSR 多态性产生选择压力。这与借助 RAPD、等位酶等标记技术对其它植物的研究结果相似^[19-20,22-23]。总之, 导致油松天然居群间遗传分化的原因除了与自然选择及居群间缺乏有效的基因流有关外, 还可能与生物学特性及其它原因有关, 故遗传分化—自然选择—生物学特性三者间关联性有待进一步研究探讨。

3.2 油松天然居群遗传多样性地理变异模式

20 世纪七八十年代, 徐化成等对油松生长、表型性状与地理-气候因素关系进行了系统研究, 认为生长特性与年均温具有关联性, 油松在形态学水平的地理变异具有随机性^[1-5]。本研究从 DNA 水平研究得到不同结论, 即产地气温、海拔和降雨量等产地气候因子是影响天然油松次生林遗传变异的重要环境因子, 而不同经纬

度产地的本质是其气候条件的差异,与产地气候因子相关也就意味着存在一定的地理模式,进而说明油松天然居群基因水平的地理变异并不是完全随机的,具有一定的规律性。基于 UPGMA 聚类分析显示,作为天然油松林分布中心的太行山脉、吕梁山脉及黄龙山脉的天然油松次生林相似性高,而分布于其它地域天然油松林具有一定的独立遗传特征。Shannon 多样性指数(I)和多态位点百分率(P)可评价遗传多样性的高低,指数越大,表明居群的遗传多样性水平越高。山西和顺云龙公园、河南宝天曼及辽宁医巫闾居群的 Shannon 信息指数及多态位点百分率均较高,并地处中国地势二级和三级地势阶梯分界线附近,即油松天然居群分布区南北向中轴区域,故推测三居群与其它居群受季风影响种子及花粉交流相对频繁,基因多态性水平高;而山东蒙山、甘肃冶力关居群相对独立,说明该居群环境限制了与其它居群的交流,遗传特征独特,Shannon 信息指数及多态位点比率均较低。由此进一步说明,油松天然居群遗传变异存在一定的地理变异模式。

森林树种应对环境胁迫表现出明显的表型适应性,而关于基因区域的中性标记是否作为植物适应性的选择始终具有争论,Neale 和 Kremer^[28]认为,森林基因组学将为适应环境胁迫的功能基因的研究提供重要工具,研究结果将为适应性遗传变异的中性选择理论提供科学依据^[29-30]。本研究结果借助随机性 ISSR 标记,说明不同环境胁迫下油松天然次生林群体多态性差异和遗传分化较大,反映油松天然居群一定的地理变异趋势,虽不能准确反映与当地环境适应的生长、抗性、形态等指标功能基因的变异趋势,但为中性标记的适应性选择理论提供了重要支持。

References:

- [1] Xu H C. Chinese pine. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990.
- [2] Xu H C, Guo G R, Fen L, Yang L. The relativity between natural *Pinus tabulaeformis* forest growth and geographical climatic factors. Journal of Beijing Forestry University, 1981, 4: 9-14.
- [3] Xu H C, Sun Z F, Guo G R, Fen L. Geographic distribution of *Pinus tabulaeformis* carr. and classification of provenance regions. Scientia Silvae Sinicae, 1981, 17(3): 258-270.
- [4] Xu H C, Tang J, Zhang S J, Ma H. A study on climatic ecotypes in *pinus tabulaeformis* Carr.. Scientia Silvae Sinicae, 1986, 22(1): 10-20.
- [5] Xu H C, Tang Q. A preliminary study on geographic variation in *pinus tabulaeformis* Carr.. Journal of Beijing forestry college, 1984, 2: 57-72.
- [6] Zhang C X, Li Y, Shen X H. Genetic diversity of ten natural and artificial populations of *Pinus tabulaeformis* in two isozyme systems. China's biodiversity conservation toward the 21st century. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000: 137-144.
- [7] Li Y, Zhang C X. A Study on genetic diversity and breeding value of a series of clonal groups in *Pinus tabulaeformis*. Journal of Beijing Forestry University, 1998, 20(4): 12-18.
- [8] Wang L, Fan J F, Liu Y H, Yang P H, Wang M B. Genetic polymorphism of *Pinus tabulaeformis* from main distribution areas in China. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(12): 3-7.
- [9] 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.
- [10] Li C, Chai B F. Genetic Conservation of *Pinus tabulaeformis* Population Implicated by Molecular Markers. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2009, 15(4): 459-463.
- [11] Zhang J J, Li M, Gao B J. Genetic diversity of natural *Pinus tabulaeformis* populations at different altitudes and in four communities types in Dawopu of Chengde, Hebei Province of North China. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(11): 2421-2426.
- [12] Li M, Gao B J, Zhang J J. Genetic diversity of *Pinus tabulaeformis* populations at different altitudes in Guangtushan Mountains and relationship to environmental changes. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(3): 350-356.
- [13] Wang M B, Gao F Q. Genetic Variation in Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*), a Woody Species Endemic to China. Biochem Genet, 2009, 47: 154-164.
- [14] 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: 4276-4288.
- [15] Eckert C G, Samis K E, Loughheed S C. Genetic variation across species' geographical ranges: the central-marginal hypothesis and beyond. Molecular Ecology, 2008, 17: 1170-1188.
- [16] Nybom H. Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants. Molecular Ecology, 2004, 13: 1143-1155.
- [17] Wright S. The genetic structure of populations. Annals of Eugenics, 1951, 15: 323-354.
- [18] Ma W L. Higher plants and diversity. Beijing: Higher Education Press, 1998.
- [19] Zhao N X, Gao Y B, Wang J L, Ren A Z, Ruan W B, Chen L, Liu H F. An analysis of genetic differentiation between *Stipa grandis* populations

- in middle and eastern Inner Mongolia steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2178-2185.
- [20] Li Z B, Lin P. Relationships between environmental factors and genetic variation of *Aegiceras corniculatum* populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1912-1916.
- [21] Turpeinen T, Tenhola T, Manninen O, Nevo E, Nissil E. Microsatellite diversity associated with ecological factors in *Hordeum spontaneum* populations in Israel. *Molecular Ecology*, 2001, 10: 1577-1591.
- [22] Xie Y Q, Li Z Z, Huang R Z, Xiao X X, Huang Y. Genetic diversity of *Betula luminifera* populations at different altitudes in Wuyi Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(3): 50-55.
- [23] Xie Y Q, Huang R Z, Li Z Z, Huang Y, Yang Z W. Genetic variation of natural populations of *Betula luminifera* in Fujian and its relationship with the habitat. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(9): 60-65.
- [24] Zhou Z Q, Hao Y, Liu T, Jiang J. Corelativity analysis between the main ecological factors and genetic diversity of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* population in the north part of Great Xing'an Mountains. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(6): 22-27.
- [25] Howe G T, Aitken S N, Neale D B, Jermstad K D, Wheeler N C, Chen T H H. From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees. *Canadian Journal of Botany*, 2003, 81: 1247-1266.
- [26] Wang N, Kang J M, Yang Q C, Xiong J B, Jin H C. Research progress in proteomics researches on plant cold-stress. *Pratacultural scienc*, 2008, 25(12): 93-98.
- [27] Eckert A J, Heerwaarden J, Wegrzyn J L, Nelson C D, Ross-Ibarra J, Gonzales-Martinez C, Neale D B. Patterns of Population Structure and Environmental Associations to Aridity Across the Range of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L Pinaceae). *Genetics*, 2010, 185(3): 969-982.
- [28] Neale D B, Kremer A. Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics*, 2011, 12: 111-122.
- [29] Grivet D, Sebastiani F, Gonzalez-Martinez SC, Vendramin GG. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytologist*, 2009, 184: 1016-1028.
- [30] Eckert A J, Bower A D, Gonzalez-Martinez S C, Wegrzyn J L, Coop G, Neale D B. Back to nature: ecological genomics of loblolly pine (*Pinus taeda* Pinaceae). *Molecular Ecology*, 2010, 19: 3789-3805.

参考文献:

- [1] 徐化成. 油松. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [2] 徐化成, 郭广荣, 冯林, 杨雷. 油松天然林的生长与地理-气候因素的关系. *北京林学院学报*, 1981, 4: 9-14.
- [3] 徐化成, 孙肇凤, 郭广荣, 冯林. 油松天然林的地理分布和种源区的划分. *林业科学*, 1981, 17(3): 258-270.
- [4] 徐化成, 唐谦, 张淑娟, 马虹. 油松气候生态型的研究. *林业科学*, 1986, 22(1): 10-20.
- [5] 徐化成, 唐谦. 油松地理变异的初步研究. *北京林学院学报*, 1984, 2: 57-72.
- [6] 张春晓, 李悦, 沈熙环. 油松 10 个天然与人工群体两个同工酶系统的遗传多样性研究. 面向 21 世纪的中国林木遗传育种. 北京: 中国林业出版社, 2000: 137-144.
- [7] 李悦, 张春晓. 油松无性系群体育种值与遗传多样性研究. *北京林业大学学报*, 1998, 20(4): 12-18.
- [8] 王磊, 樊军锋, 刘永红, 杨培华, 王孟昌. 我国油松主要分布区种质资源遗传多样性. *东北林业大学学报*, 2009, 37(12): 3-7.
- [9] 李磊, 柴宝峰, 王孟本. 华北地区油松种群遗传多样性分析. *植物研究*, 2006, 26(1): 98-102.
- [10] 李磊, 柴宝峰. 基于分子标记的油松种群遗传保护分析. *应用与环境生物学报*, 2009, 15(4): 459-463.
- [11] 张静洁, 李明, 高宝嘉. 承德大窝铺不同海拔与群落类型天然油松种群遗传多样性. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2421-2426.
- [12] 李明, 高宝嘉, 张静洁. 承德光秃山不同海拔油松居群遗传多样性与生境因子关联研究. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(3): 350-356.
- [18] 马炜梁. 高等植物及其多样性. 高等教育出版社, 北京, 1998.
- [19] 赵念席, 高玉葆, 王金龙, 任安芝, 阮维斌, 陈磊, 刘惠芬. 内蒙古中东部草原大针茅的种群遗传分化. *生态学报*, 2004, 24(10): 2178-2185.
- [20] 黎中宝, 林鹏. 桐花树种群遗传变异与环境变量的关系. *生态学报*, 2002, 22(11): 1912-1916.
- [22] 谢一青, 李志真, 黄儒珠, 肖祥希, 黄勇. 武夷山不同海拔光皮桦种群遗传多样性及其与生态因子的相关性. *林业科学*, 2008, 44(3): 50-55.
- [23] 谢一青, 黄儒珠, 李志真, 黄勇, 杨宗武. 福建光皮桦野生种群遗传变异及其与生境的关系. *林业科学*, 2009, 45(9): 60-65.
- [24] 周志强, 郝雨, 刘彤, 姜静. 大兴安岭北段天然樟子松林遗传多样性与主要生态因子的相关性研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(6): 22-27.
- [26] 王楠, 康俊梅, 杨青川, 熊军波, 金后聪. 植物低温胁迫蛋白质组学研究进展. *草业科学*, 2008, 25(12): 93-98.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《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 吴文良

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 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 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