

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

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 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106210909

张杰, 王佳, 李浩宇, 张慧荣, 王迎春. 濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析. 生态学报, 2012, 32(14): 4443-4452.

Zhang J, Wang J, Li H Y, Zhang H R, Wang Y C. Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant *Prunus mongolica* by ISSR Markers. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4443-4452.

濒危植物蒙古扁桃不同地理种群 遗传多样性的 ISSR 分析

张 杰, 王 佳, 李浩宇, 张慧荣, 王迎春*

(内蒙古大学 生命科学学院, 呼和浩特 010021)

摘要: 采用 ISSR 分子标记对蒙古扁桃(*Prunus mongolica*) 6 个自然种群的遗传多样性进行了分析。12 条 ISSR 引物共扩增出 200 条带, 其中 199 条具多态性, 多态位点比率为 99.5%。在种群水平上多态位点百分率平均为 55.3%。Nei's 基因多样性、Shannon's 信息指数在种群水平上分别为 0.3241 和 0.4875, 在物种水平上分别为 0.3105 和 0.4722。根据基因分化系数, 测得基因流值 N_m 为 0.8266。UPGMA 聚类分析结果表明: 乌海千里沟种群和东升庙那仁乌拉种群遗传一致度最大, 遗传关系最近。ISSR 检测结果表明, 包头萨拉齐种群的遗传多样性最丰富, 在制定原位种质保护计划时, 应优先保护包头萨拉齐周边地区的蒙古扁桃。

关键词: 蒙古扁桃; ISSR 标记; 遗传多样性

Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant *Prunus mongolica* by ISSR Markers

ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, WANG Yingchun*

College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

Abstract: *Prunus mongolica* (Rosaceae subfamily Prunoideae) is a perennial desert xeric shrub native to the Mongolian Plateau. It is an ancient relict plant that mainly grows in extreme environments, such as on low mountains and hills, on stony slopes, and in dry beds in the desert and desert steppe regions. *P. mongolica* has distinct xeromorphic adaptations, such as hard shoot spines at the ends of the branchlets. *P. mongolica* is an important woody oil crop with a high oil content in the seed kernel, and oil extracted from the seed kernel can be eaten. In addition, because of its long flowering period (a single flower can last eight days, and a community flowers for 50 days), flamboyant flowers, and extreme tolerance to harsh conditions, *P. mongolica* can be used as garden plant in the northwest of China. Zhao Yizhi proposed that *P. mongolica* is an Alax desert species that is mainly distributed in the Alax desert regions of the Mongolian Plateau, although scattered populations can be found in the southwest regions of the eastern Gobi Desert. Because the shrubs are limited by environmental conditions, *P. mongolica* cannot form large desert populations; it is only found scattered in the mountains and gullies. Such habitat fragmentation may influence the genetic diversity and evolutionary potential of the species.

In recent years, a number of researchers have studied the geographic distribution, physiological and ecological characteristics, tissue culture, flower morphology, and insect pollinators of *P. mongolica*. However, no studies on the genetic diversity of its populations have yet been reported. The fragmented distribution could cause genetic differences among individuals or populations. Our field observations of *P. mongolica* in different areas of western Inner Mongolia

基金项目: 教育部“春晖计划”合作科研项目(Z2008-1-01003); 国家自然科学基金项目(31140020)

收稿日期: 2011-06-21; **修订日期:** 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ycwang@imu.edu.cn

indicated that *P. mongolica* had abundant morphological diversity, such as differences in shoot spine number, leaf size, and plant height, that suggested genetic diversity. We analyzed the genetic variation, genetic diversity, and genetic structure of different natural populations of *P. mongolica*, in order to elucidate the adaptive mechanisms and evolutionary potential of *P. mongolica* in arid and nutrient-poor environments and to provide data for its effective protection.

In this study, we analyzed the genetic diversity of six *P. mongolica* populations in Inner Mongolia using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. The results were as follows: (1) Twelve ISSR primers amplified 200 DNA fragments, of which 199 (99.5%) showed polymorphisms among the populations. The percentage of polymorphic bands at the population level ranged from 43% to 67%, with an average of 55.3%. Nei's index and Shannon's information index were 0.3241 and 0.4875, respectively, at the species level, and 0.3105 and 0.4722, respectively, at the population level. Gene flow (N_m) among the populations was 0.8266, based on the genetic differentiation coefficient. (2) UPGMA analysis shows that the Wuhai Qianligou and Dongshengmiao Narenwula populations were the most genetically similar of all the populations. The Baotou Salaqi population should be given priority for conservation, because it had the highest genetic diversity among all the six populations investigated. (3) We compared the leaf length/width ratio, and the results generally agreed with the UPGMA analysis. (4) A comparison of the morphological characteristics of the six populations showed that plant height and crown width were affected by the degree of aridity of the habitats. In particular, plant height (0.45 m and 0.26 m, respectively) and crown width (0.74 m and 0.43 m, respectively) of the Wuhai Qianligou and Dongshengmiao Narenwula populations were distinctly less than in the other four populations.

Key Words: *Prunus mongolica*; ISSR marker; genetic diversity

蒙古扁桃是蔷薇科李亚科李属的多年生强旱生小灌木^[1],属于蒙古高原的古老残遗种,主要生长在荒漠及荒漠草原区的低山丘陵地、石质坡地及干河床等生境条件较为严酷的地区,旱生结构和形态学特点明显,小枝顶端具硬刺^[2]。赵一之认为,蒙古扁桃属于蒙古高原阿拉善荒漠种,主要分布在蒙古高原的阿拉善荒漠区内,少量在蒙古高原的东戈壁西南的荒漠草原区内^[3]。蒙古扁桃一般不能形成大的荒漠群落,只能分布在山地区及沟谷,形成局部片段群落^[4],这种片段化分布极有可能会对蒙古扁桃的遗传多样性及其进化潜能造成影响。

蒙古扁桃为重要的木本油料树种之一,种仁含油率为40%,其油可食用。同时蒙古扁桃是荒漠区和荒漠草原的景观植物和水土保持植物,而且也是优良的饲用植物,山羊最喜啃食^[5]。蒙古扁桃4月上旬开花,单花花期8天,群落花期50天^[6],开花艳丽,极其耐干旱、贫瘠,可用于西北地区园林绿化,而且种仁具有一定的药用价值。但是随着环境条件的恶化、人为的破坏,蒙古扁桃的分布范围和种群数量都在减少,在国家环境保护局首次公布的“中国珍稀濒危保护植物名录”中被列为三级濒危保护植物^[7]。

近年来,研究者们对蒙古扁桃的区系分布^[3]、生理^[8-14]、生态特性^[15-17]、组织培养^[18-19]、花形态和传粉昆虫^[20-21]等领域进行了深入研究,然而对于其遗传多样性的研究尚未见报道。蒙古扁桃片段化分布的特点使其个体或群体间存在生境条件的差异,对分布在内蒙古西部不同地区的蒙古扁桃进行了实地观察,发现蒙古扁桃在形态上表现出丰富的多样性,如分布在干旱、贫瘠台地的蒙古扁桃表现出枝刺数量多、叶片小、植株矮小的特点。本文以珍稀濒危植物蒙古扁桃为研究对象,利用ISSR分子标记技术对6个蒙古扁桃自然种群的遗传变异进行分析,探讨其遗传多样性水平和遗传结构,以阐明蒙古扁桃作为一种古老残遗物种对于干旱贫瘠环境的适应机制及其进化潜力,为有效保护蒙古扁桃的遗传资源提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

选取内蒙古呼和浩特市五一水库、包头萨拉齐、东升庙那仁乌拉、乌海千里沟、阿拉善左旗巴彦诺日公和宁夏贺兰山岩画6个蒙古扁桃自然种群(表1)。每个种群选取10株植物,取植株幼嫩的叶片放入装有变色

硅胶的封口袋内保存,带回实验室后放于-80 ℃冰箱中备用。

表 1 蒙古扁桃的样地情况
Table 1 Sampling localities of *P. mongolica* populations

种群 Population	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	采样数 Number of samples	生境特点 Environmental characters
包头萨拉齐种群	110°35'E	40°36'N	1089	10	山坡;土壤沙砾质;优势种蒙古扁桃;伴生植物黄刺玫,旱榆,酸枣,小叶鼠李为主;
阿拉善左旗巴彦诺日公种群	104°48'E	40°10'N	1332	10	丘陵;土壤沙砾质;优势种沙冬青,霸王,绵刺,蒙古扁桃;伴生植物红砂,白刺;
乌海千里沟种群	106°56'E	39°54'N	1364	10	台地;土壤砂砾质;优势种四合木,红砂;伴生植物长叶红砂,蒙古扁桃,绵刺,半日花为主;
东升庙那仁乌拉种群	107°06'E	41°19'N	1504	10	台地;土壤砾石质;优势种蒙古扁桃;伴生植物红砂,酸枣为主;
贺兰山岩画种群	106°01'E	38°44'N	1422	10	麓原;土壤砂砾质;优势种蒙古扁桃;伴生植物杏,锦鸡儿,酸枣,小叶鼠李为主;
呼和浩特市五一水库种群	111°26'E	40°45'N	1106	10	台地;土壤砂砾质;优势种蒙古扁桃、针茅;伴生植物酸枣,小叶鼠李,山刺梅为主;

1.2 叶片大小及株高、冠幅的测量

每个样地随机间隔选取约 100 枚叶片,测量其长度、宽度最后取其平均值,以此平均值计算各种群叶片的长宽比值;在各种群中选取 3 条样线,并测定各样线上蒙古扁桃植株的株高、冠幅,最后取各蒙古扁桃种群株高、冠幅的平均值。

1.3 DNA 提取

采用 CTAB 法^[22]提取植物基因组 DNA,电泳显示 DNA 完整,条带清晰一致。在分光光度计上定量检测其浓度,0.8%的琼脂糖凝胶电泳检测其质量。

1.4 ISSR-PCR 扩增

ISSR 引物由上海® 生物工程有限公司合成(表 2),扩增反应在 Biometra 梯度 PCR 仪上进行。ISSR-PCR 反应体系为:在总体积 25 μL 的反应体系中,含 10×PCR buffer(含 Mg²⁺),2.5U Taq DNA 聚合酶,2.8 mmol/L 的 dNTP,0.3 μmol/L 的 ISSR 引物,40—60 ng 模板 DNA,退火温度为 49 ℃。

PCR 扩增程序为:94 ℃预变性 5 min;94 ℃变性 45 s;49 ℃退火 45 s;72 ℃延伸 90 s;30 个循环;72 ℃延伸 7 min。4 ℃保存备用。PCR 产物用 2% 琼脂糖凝胶电泳 1 h 左右,溴化乙锭(EB)染色,UVI 凝胶成像系统拍照。

1.5 数据统计与分析

电泳图谱中的每 1 条带均为 1 个分子标记,代表在模板上有 1 个引物结合位点。对凝胶上条带进行统计,有带的计为 1,无带的计为 0,获得二元数据矩阵,将上述二元数据输入计算机,用 Popgene32 软件在假定这些 ISSR 标记处在 Hardy-Weinberg 平衡的条件下,计算蒙古扁桃各种群的多态位点即扩增的 DNA 片段小于或等于 0.99 的片段为多态性位点、多态位点百分率(PPB)=具有多态性的位点数/检测到的位点数×100%、Nei's 遗传多样性指数 $H = 1 - \sum P_i^2$,式中 P_i 为第 i 个等位基因的位点的频率^[23]、Shannon 多样性指数 $I = - \sum P_i \ln P_i$,式中 P_i 为第 i 个等位基因的位点的频率^[24]、遗传分化 $Gst = (Ht - Hs)/Ht$,有效等位基因数 $Ne = 1/n \sum \alpha_i$,式中 α_i 为该位点的等位基因数, $i:n$,总的等位基因数^[25]、基因流 $Nm = 0.5(1 - Gst)/Gst$ ^[26]、总基因多样性(Ht)和种群内基因多样性(Hs)以及 Nei 的遗传相似度和遗传距离。对各种群的遗传相似性和遗传距离采用算数平均数的非加权组平均法(UPGMA)进行聚类分析,使用的软件为 NTSYS 2.10e。

2 结果与分析

2.1 不同 ISSR 引物在各蒙古扁桃种群扩增产物的多态性

从 74 条 UBC ISSR 引物中筛选出 12 条能够扩增出现清晰条带且可重复性强的 ISSR 引物,6 个蒙古扁桃种群的 60 个个体共扩增出 200 个位点,多态位点数 199,平均多态性位点 16 个,多态位点比率 99.5% (表 2),由表 2 可以看出,12 个引物扩增出的总带数范围从 9(UBC 878)到 24(UBC 842)不等,12 条引物平均扩增带数为 17 条,仅引物 UBC 842 扩增多态性比率为 98.53%,其余 100%。选用引物序列显示,除引物 UBC 842 外,其它引物均具有 AG 或 GA 碱基重复。图 1 显示的是引物 UBC 807 对部分个体扩增后的电泳图谱,扩增产物的分子量大多在 200—2000 bp 之间。

表 2 ISSR 引物及其扩增结果
Table 2 ISSR primers and their amplification results

引物 Primer	引物序列 Sequence of primer	总条带数 Total bands	多态性条带数 Polymorphic bands	多态性比率/% Percentage of polymorphic bands
UBC 807	AGAGAGAGAGAGAGACT	17	17	100%
UBC 811	GAGAGAGAGAGAGAGAC	19	19	100%
UBC 824	TCTCTCTCTCTCTCG	16	16	100%
UBC 834	AGAGAGAGAGAGAGAGYT	20	20	100%
UBC 835	AGAGAGAGAGAGAGAGYC	19	19	100%
UBC 840	GAGAGAGAGAGAGAGAYT	14	14	100%
UBC 841	GAGAGAGAGAGAGAGAYC	16	16	100%
UBC 842	GAGAGAGAGAGAGAGAYG	24	23	95.83%
UBC 864	ATGATGATGATGATGATG	17	17	100%
UBC 868	GAAGAAGAAGAAGAAGAA	16	16	100%
UBC 878	GGATGGATGGATGGAT	9	9	100%
UBC 880	GGAGAGGAGAGGAGA	13	13	100%
总计 Total		200	199	100%
平均 Average		17	16	99.6%

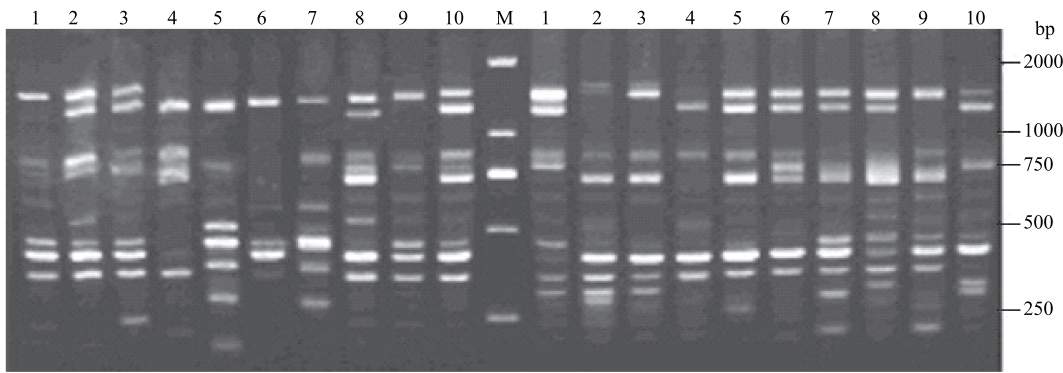


图 1 引物 807 对 20 个样品的 ISSR-PCR 扩增结果
Fig 1 20 samples' ISSR-PCR fingerprints of *P. mongolica* using primer 807

2.2 蒙古扁桃种群的遗传多样性

用 Popgene32 对不同地点的 6 个蒙古扁桃自然种群的多态位点比率(*PPB*)、观测等位基因数(*Na*)、有效等位基因数(*Ne*)、*Nei's* 基因多样性指数(*H*)和 *Shannon's* 信息指数(*I*)分析结果如表 3。从表 3 中看出,6 个种群的多态位点数 86 到 134 个,平均 109,*Nei's* 多样性指数 *H* 为 0.1668 到 0.2405,*Shannon's* 信息指数 *I* 为 0.2440 到 0.3596,并且包头萨拉齐种群的多态位点数、多态位点比率、等位基因观察值、有效等位基因数、

Nei's 多样性指数、Shannon's 信息指数均高于其它种群,呼和浩特市五一水库种群最低。

6 个种群内的遗传多样性比率范围为 43%—67%,呼和浩特市五一水库种群的多态位点比率最低为 43%,包头萨拉齐种群多态位点比率最高为 67%。表 3 中不同地区不同种群的 Nei's 多样性指数 H 经方差分析显示差异不显著 ($F = 0.861, P > 0.05$),说明不同地区蒙古扁桃种群的遗传多样性水平差异较小。但 Shannon's 信息指数的估计值要高于 Nei's 基因多样性指数,这是由于 ISSR 分子标记中,Nei's 指数估算等位基因频率时忽略了杂合基因,所以要低于 Shannon's 信息指数。

表 3 基于 ISSR 标记的蒙古扁桃的遗传多样性
Table 3 Genetic diversity of *P. mongolica* based on ISSR marker

种群 Population	多态位点数 <i>N. P. B</i>	多态位点比率 <i>PPB</i>	等位基因 观察值 <i>N_a</i>	有效等位 基因数 <i>N_e</i>	Nei's 多样性指数 <i>H</i>	Shannon's 信息指数 <i>I</i>
包头萨拉齐种群	134	67%	1.6700	1.4222	0.2405	0.3569
阿拉善左旗巴彦诺日公种群	108	54%	1.5400	1.3378	0.1946	0.2890
乌海千里沟种群	110	55%	1.5500	1.3604	0.2029	0.2991
东升庙那仁乌拉种群	106	57%	1.5300	1.3546	0.2008	0.2953
贺兰山岩画种群	112	56%	1.5600	1.3563	0.2060	0.3057
呼和浩特市五一水库种群	86	43%	1.4300	1.2960	0.1668	0.2440
平均 Average	109	55.3%	1.5466	1.3545	0.2026	0.2983

2.3 蒙古扁桃种群的遗传结构

蒙古扁桃总的基因多样性(H_t)为 0.3241,种群内的基因多样性(H_s)为 0.2019。基因分化系数(G_{st})为 0.3769,表明种群内的遗传变异占 62.31%,说明蒙古扁桃的遗传变异主要来自于种群内。由基因分化系数得出蒙古扁桃种群间的基因流(Nm)为 0.8266。

2.4 蒙古扁桃种群的遗传距离

为了进一步分析蒙古扁桃各种群的遗传分化程度,计算了不同蒙古扁桃种群间的 Nei's 遗传一致度和遗传距离(表 4),群体的遗传一致度为 0.7586—0.9427,遗传距离为 0.0456—0.2630,可以看出各种群间遗传距离较远,这可能与采样地点间的距离以及蒙古扁桃种群间片段化的分布特征相关。采用 Nei's 无偏估计法进一步阐明种群间的遗传关系,对得到的距离矩阵采用 UPGMA 法进行聚类分析得 6 个种群间的聚类分析图(图 2)。可以看出,乌海千里沟和东升庙那仁乌拉的遗传距离最近,遗传一致度最高,其次是包头萨拉齐种群、阿拉善左旗巴彦诺日公种群遗传关系较近而跟上述两个种群的遗传关系较远,呼和浩特市五一水库种群和贺兰山岩画种群遗传关系较近,但是与上述 4 个种群遗传关系较远(表 4)。

表 4 Nei's 无偏遗传一致度和遗传距离
Table 4 Nei's Unbiased Measures of Genetic Identity and Genetic distance

种群 Population	包头萨拉齐 种群	阿拉善左旗 巴彦诺日公种群	呼和浩特市 五一水库种群	贺兰山岩画 种群	乌海千里沟 种群	东升庙那仁 乌拉种群
包头萨拉齐种群	* * * *	0.9432	0.8018	0.8075	0.8472	0.8441
阿拉善左旗巴彦诺日公种群	0.0585	* * * *	0.8046	0.7687	0.8037	0.8143
呼和浩特市五一水库种群	0.2209	0.2174	* * * *	0.8201	0.7895	0.8156
贺兰山岩画种群	0.2139	0.2630	0.1983	* * * *	0.7964	0.8061
乌海千里沟种群	0.1658	0.2185	0.2363	0.2276	* * * *	0.9554
东升庙那仁乌拉种群	0.1694	0.2055	0.2038	0.2155	0.0456	* * * *

右上角为遗传一致度(I),左下角为遗传距离(D)

2.5 不同种群的 60 个蒙古扁桃株系的聚类分析

使用 NTSYSpc-2.1e 软件,利用 UPGMA 法对分布在不同地区的 6 个蒙古扁桃共 60 个株系进行聚类分

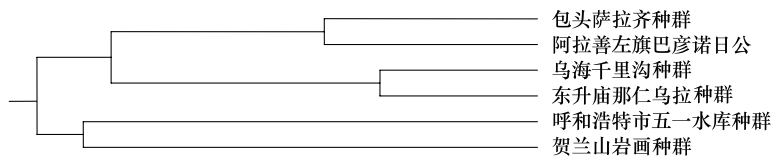


图2 6个蒙古扁桃自然种群的UPGMA聚类图

Fig. 2 Dendrogram obtained by UPGMA cluster analysis based on Nei's genetic distance among the 6 populations of *P. mongolica*

析,聚类结果显示(图3):在相似度为0.624处展开,所有株系可以分成两大类,第一大类(I)包括呼和浩特市五一水库和贺兰山岩画种群的所有株系,剩下的聚为一大类,说明上述两个种群与其余的种群差异较大。除去第一大类(I)的情况下,在相似度为0.7638处可将其余材料分成6大类,其中阿拉善左旗巴彦诺日公20种群、包头萨拉齐1种群分到第Ⅴ、Ⅶ类中,第Ⅱ类包含东升庙那仁乌拉种群和除被分在第Ⅲ类的乌海千里沟41种群、乌海千里沟48种群的材料的的所有株系,第Ⅳ包含BS5、7,第Ⅵ类包含包头萨拉齐2种群、包头萨拉齐3种群—包头萨拉齐9种群和阿拉善左旗巴彦诺日公11种群—阿拉善左旗巴彦诺日公19种群。这一聚类结果与Popgene32软件产生的种群间的聚类结果一致,种群内个体间表现出丰富的遗传多样性。同一种群内个体几乎全部聚集在自身种群中,仅包头萨拉齐5种群和包头萨拉齐7种群聚到阿拉善左旗巴彦诺日公种群中,这也从一个侧面反映出了所选样地间由于地理距离远导致基因流小。

2.6 不同地区蒙古扁桃种群叶片长宽比平均值、株高和冠幅平均值

由于生物体的基因型决定表型,所以丰富的遗传多态性势必会引起表型的多态性。因此对分布在不同地区6个蒙古扁桃种群的叶片长宽比平均值、株高和冠幅平均值统计如下表5所示。由表5可知,乌海千里沟种群、东升庙那仁乌拉种群、呼和浩特市五一水库种群的叶片长宽比平均值相近,包头萨拉齐种群和阿拉善左旗巴彦诺日公种群的叶片长宽比值相近,其中包头萨拉齐种群叶片长宽比值最大为2.53,贺兰山岩画种群叶片长宽比值最小为1.68;乌海千里沟种群和东升庙那仁乌拉种群株高和冠幅平均值相近,包头萨拉齐种群和呼和浩特市五一水库种群株高和冠幅平均值相近,贺兰山岩画种群和阿拉善左旗巴彦诺日公种群种群株高和冠幅平均值相近,其中包头萨拉齐种群(BS)种群株高和冠幅平均值最大分别为0.98 m和1.67 m,东升庙那仁乌拉种群种群冠幅平均值最小分别为0.26 m和0.43 m。

表5 不同蒙古扁桃种群株高、冠幅和叶片长宽比

Table 5 Plant height, crown width and leaf length/width ratio of <i>P. mongolica</i> in different populations						
项目/种群 Project/population	乌海千里沟	东升庙那仁 乌拉	呼和浩特市 五一水库	阿拉善左旗 巴彦诺日公	包头萨拉齐	贺兰山岩画
叶片长宽比平均值 Leaf length/width ratio	1.95	2.10	1.90	2.41	2.53	1.68
株高平均值/m Plant height	0.45	0.26	0.95	0.75	0.98	0.82
冠幅平均值/m Crown width	0.74	0.43	1.03	1.10	1.67	1.02

对6个种群的蒙古扁桃叶片长宽比值(表5)比较表明:乌海千里沟种群、东升庙那仁乌拉种群和呼和浩特市五一水库种群叶片的长宽比值接近,而阿拉善左旗巴彦诺日公种群和包头萨拉齐种群叶片的长宽比值也很接近,贺兰山岩画种群的叶片长宽比值最小,这也从另一个侧面反映出了不同蒙古扁桃种群间的亲缘关系并且与UPGMA方法所得的不同蒙古扁桃种群间的聚类结果很相似。但是所测各种群株高、冠幅情况(表5)并没有与聚类结果相一致,而是与分布地的气候和生境条件相一致,如呼和浩特市五一水库种群(HW)、包头萨拉齐种群(BS)、贺兰山岩画种群(HY)和阿拉善左旗巴彦诺日公种群(AB)所在地的植被覆盖率均在80%以上并且群落结构复杂,所以土壤中具备相对充足的水分和养分,而乌海千里沟种群(WQ)和东升庙那仁乌拉种群(DN)所在地的植被覆盖率在50%以下,群落结构相对单一,且大多生长在台地,土壤主要砾石质为

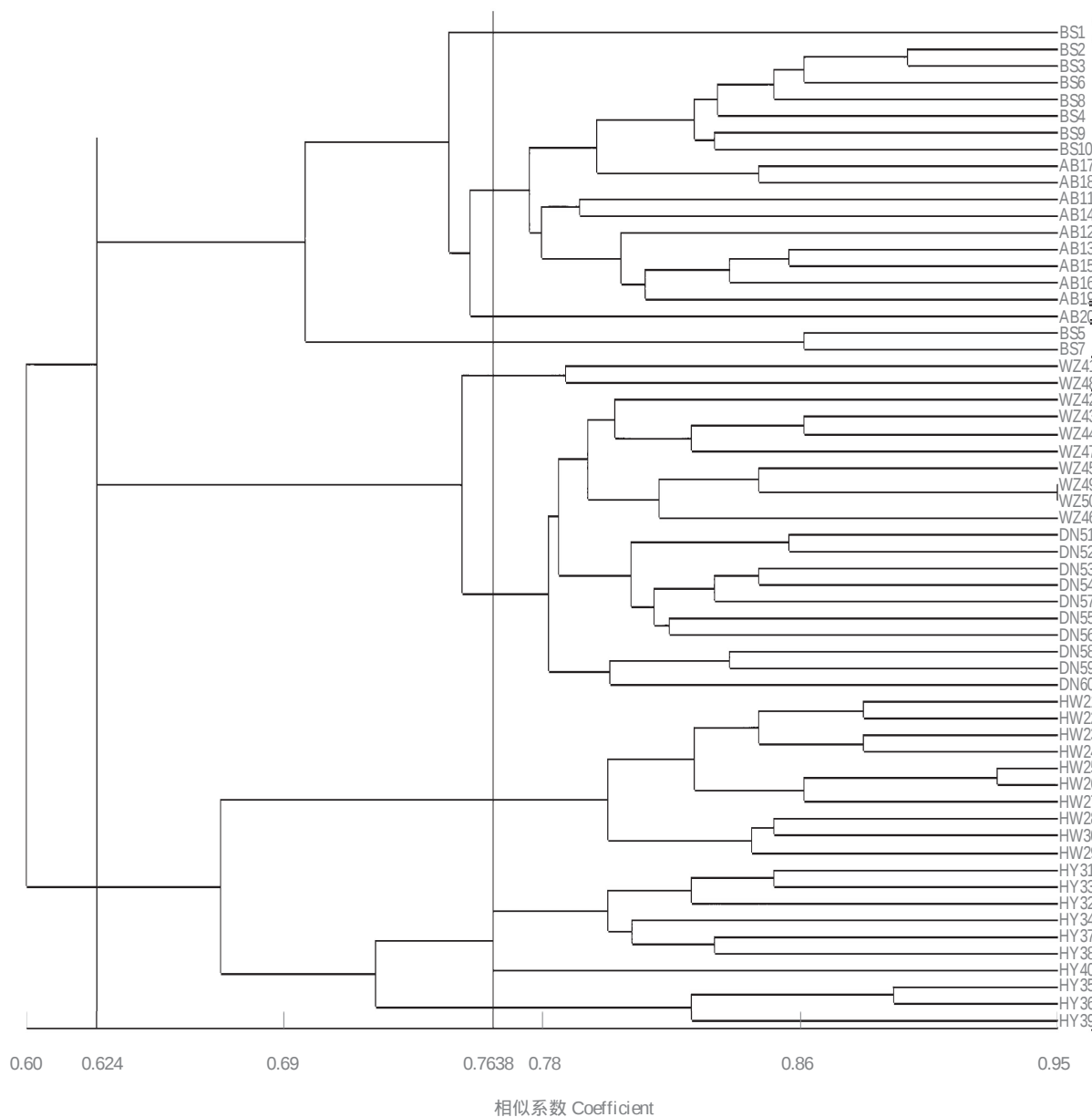


图3 60个蒙古扁桃株系基于SM相似系数的UPGMA聚类图

Fig. 3 Dendrogram obtained by UPGMA cluster analysis of 60 *P. mongolica* based on SM similarity coefficient

主,所以土壤环境干旱、贫瘠,这可能是造成后两个种群株高和冠幅小的原因。

3 讨论

3.1 蒙古扁桃的遗传多样性

遗传多样性一般是指种内的遗传多样性,或称遗传变异,也就是种内不同种群间或是一个种群内的不同个体的遗传变异的总和^[27]。研究表明:一个物种遗传多样性越高,对环境变化的适应能力就越强,越容易扩展其分布范围和开拓新环境^[28]。目前已知分布在内蒙古西部的珍稀濒危植物具备较高的遗传多样性水平,如张萍,董玉芝等对梭梭遗传多样性的 ISSR 分析表明,其遗传多态性比率 *PPB* 为 84.85%,物种水平上 *Nei's* 多样性指数 *H* 为 0.3482^[29]。张颖娟,王玉山等对长叶红砂遗传多样性的 ISSR 分析表明,其多态位点比率为 86.84%,物种水平上 *Nei's* 多样性指数 *H* 为 0.3804^[30]。张颖娟,杨持对四合木遗传多样性的 RAPD 分析表明,其不同地区的遗传多态性比率在 78%—88%^[31]。而蒙古扁桃的遗传多样性水平高于上述植物。本研究

结果表明 6 个不同地区蒙古扁桃的遗传多样性比率 PPB 、Nei's 多样性指数 H 、Shannon's 信息指数 I , 均高于新疆扁桃 (*Amygdalus ledebouriana* Schlecht.) 的 ISSR 遗传多样性水平 ($PPB = 92.1\%$ 、 $H = 0.2809$ 、 $I = 0.4327$)^[32], 并且种群水平的遗传多样性高于物种水平。方海涛等对蒙古扁桃花生物学特性研究发现蒙古扁桃形成了自交和异交混合的传粉对策^[6], 这种混合式的传粉模式有利于个体间基因的流动, 因此会增加种群内或种群间的遗传多样性水平。这与蒙古扁桃片段化的分布特点以及所处环境气候多变, 干旱贫瘠的土壤环境存在一定的关系。

3.2 蒙古扁桃的保护

近年来, 由于分布区自然生态环境的恶化和周边农牧民的过度樵采、放牧, 野生蒙古扁桃数量锐减, 分布范围急剧缩小, 使这一珍贵植物资源处于濒危灭绝的边缘^[15]。保护物种, 就是要保护它的遗传多样性。物种的遗传多样性越高, 说明它越容易适应多变的环境条件, 从而更容易扩展其分布范围和开拓新的环境。蒙古扁桃种群间的遗传分化系数 $G_{st} = 0.3769$ 可知, 蒙古扁桃 37.69% 的遗传分化来源于种群间, 即有 62.31% 的遗传分化存在于蒙古扁桃种群内。种群内遗传多样性越高, 越有利于对该物种种质的保护^[33]。因此在采集和管理能力有限的情况下, 应当在不同的种群中采集尽可能多的蒙古扁桃个体便可有效的保护蒙古扁桃这一种质资源。蒙古扁桃是亚洲中戈壁荒漠特有种, 在荒漠植物中具有很重要的意义, 长期在严酷、恶劣的自然环境中繁衍进化(如: 2003 年在内蒙古阿拉善左旗腾格里沙漠内发现蒙古扁桃自然居群), 保存了特殊的耐寒、耐贫瘠的宝贵基因库。从目前蒙古扁桃的分布范围来看, 仅贺兰山山脉和九峰山以西的阴山山脉分布比较集中, 其余分布区多是点状分布、不集中, 从长远来看这种分布格局不利于蒙古扁桃种质资源和遗传多样性的保护。本实验研究显示, 包头萨拉齐种群遗传多样性水平要明显高于其余种群, 应当首先加强对该地区及其周边蒙古扁桃的保护, 然而仅保护该地区的蒙古扁桃居群显然对蒙古扁桃这一物种遗传多样性的保护不利, 应当制定合适的迁地保护策略。斯琴巴特尔等^[14]的研究表明, 蒙古扁桃种皮中含有抑制种子萌发的物质, 加之蒙古扁桃种子萌发对温度的要求较高, 最适温度 18—23℃, 超过 25℃ 种子萌发就受到抑制, 这使得蒙古扁桃自然更新困难。如果给予适当的保护以及有效的繁殖, 蒙古扁桃种群可以有效的恢复其分布范围。

References:

- [1] Wu L Z, Liu G H, Ma X Z. Observation on leaves structure of national level protected plants *Potania mongolica* and *Prunus mongolica*. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry, 1998, 19(4): 46-50.
- [2] Fang H T, Li J L, Wang LY. Research advance of endangered Plant *Prunus mongolica*. Yinshan Academic Journal, 2004; 18(2): 16-18.
- [3] Zhao Y Z. Study on floristic geographical distribution of *Amygdalus mongolica*. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMonggol: Natural Science, 1995, 26(6): 713-715.
- [4] Wu G S, Liu Z, Zhao S Y. Review of studies on *Prunus mongolica*. Inner Mongolian Journal of Animal Sciences and Production, 1994, (3): 25-29.
- [5] Sechenbater. *Prunus mongolica*. Bulletin of Biology, 2003, 38(8): 23-24.
- [6] Fang H T, Hong Y, Na R, Sechenbater. Study on flower biology of endangered plant *Prunus mongolica*. Guihaia, 2007, 27(2): 167-169, 166-166.
- [7] Environmental Protection Bureau of China, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences. Rare and Endangered Species List of China (Volume 1). Beijing: Science Press, 1987.
- [8] Jin L P. The Impact of Under Different Ecological Conditions of Drought Stress on Physiological Indicators and Anatomical Structures of *Prunus Mongolica* [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2009: 6-6.
- [9] Jin L P, Cui S M, Du J W, Jin C X, Wu Y F, Qi R G. Effects of drought stress in different ecological conditions of the *Prunus mongolica* Maxim almond leaves in PAL and C4H activity. Acta Agriculurae Boreali-Simica, 2009, 24(5): 118-122.
- [10] Bao Y L. Study on Drought Resistance Physiological Characteristic of Desert Plant *Prunus mongolica* Maxim [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Normal University, 2007: 6-6.
- [11] Siqinbater, Xiu M. Hydrological characteristic of the desert plant *Prunus mongolica* on the Mongolian plateau of China. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(3): 484-489.

- [12] Siqintuya. Effect of Soil Drought Stress on the Physiological Activities in Seeds and Roots of *Prunus mongolica Maxim* [D]. Inner Mongolia; Inner Mongolia Normal University, 2007: 6-6.
- [13] Zou L L, Hong Y, Ren G X. The comparative research on the germination rate and seedling growth of the endangered plants *Prunus mongolica* and *Prunus pedunculata*. Journal of Inner Mongolia Normal University; Natural Science Edition, 2008, 37(6): 791-794.
- [14] Sechenbater, Mab L. Study on seed germination's physiology of *Prunus mongolica Maxim*. Guihaia, 2002, 22(6): 564-566.
- [15] Yan Z Z, Li A D, Li D L, Li C L. Growth characteristics of endangered *Amygdalus mongolica*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 625-628.
- [16] Wang W J, Ye H, Wang L Y, Zhu L X, Jia K G. Resistance of *Prunus mongolica* to Meloidogyne hapla. Journal of Beijing University of Agriculture, 2009, 24(1): 24-27.
- [17] Liu C H, Ye H, Li H, Zhu L X, Jia K G. The resistance of *Prunus mongolica* to crown gall. Acta Agriculturae Boreali occidentalis Sinica, 2009, 18(3): 181-183.
- [18] Teng H, Yuan Q, Bai S L, Shao D H. The effect of plant hormone in the different levels on the callus formation process of *Prunus mongolica Maxim*. Journal of Inner Mongolia Agricultural University; Natural Science Edition, 2008, 29(4): 13-16.
- [19] Geng J, Zhu L X, Jia K G. Establishment of culture system of *Prunus mongolica* shoot with single bud. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2007, 16(5): 218-221.
- [20] Fang H T, Seqinbate. Blossom character and insect pollination of *Prunus mongolica Maxim*. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2): 177-181.
- [21] Fang H T, Hong Y, Na R, Sechenbater. Study on flower biology of endangered plant *Prunus mongolica*. Guihaia, 2007, 27(2): 167-169.
- [22] Doyle J J, Doyle J L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochemical Bulletin, 1987, 19(1): 11-15.
- [23] Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1973, 70(12): 3321-3323.
- [24] Lewontin R C. The apportionment of human diversity. Evolutionary Biology, 1972, 6(38): 381-398.
- [25] Yeh F C, Boyle T, Yang R C, Ye Z, Xiyan J M. POPGENE, the User Friendly Shareware for Population Genetic Analysis, Version 1.31. University of Alberta and Centre for International Forestry Research, 1999.
- [26] Slatkin M, Barton N H. A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene flow. Evolution, 1989, 43(7): 1349-1368.
- [27] Sun J K. Identification of Genetic Relationship of Almond by RAPD and ISSR [D]. Xinjiang: Xinjiang Agricultural University, 2008: 4-4.
- [28] Lu X S, He Q. The genetic variation of population and the analysis for gene diversity. Acta Prataculturae Sinica, 1999, 8(3): 76-82.
- [29] Zhang P, Dong Y Z, Wei Y, Hu C Z. ISSR analysis of genetic diversity of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge in Xinjiang. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(7): 1337-1341.
- [30] Zhang Y J, Wang Y S. Analysis on the population genetic diversity of endangered shrub *Reaumuria trigyna* by ISSR markers. Bulletin of Botanical Research, 2008, 28(5): 568-573.
- [31] Zhang Y J, Yang C. An analysis of the genetic diversity of populations endemic species *Tetraena mongolica maxim*. (*Zygophyllaceae*) by RAPD in ORDS plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1917-1922.
- [32] Lü Z J, Li J, Tahan O S, Zeng B, Luo S. ISSR analysis for genetic diversity of *Amygdalus ledebouriana* germplasm from Xinjiang, China. Journal of Fruit Science, 2010, 27(6): 918-923.
- [33] Tian C J, Lei Y D, Shi S H, Nan P, Chen J K, Zhong Y. Genetic diversity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) populations in northeastern and northwestern China as revealed by ISSR markers. New Forest, 2004, 27(3): 229-237.
- [34] Charters Y M, Robertson A, Wilkinson M J, Ramsey G. PCR analysis of oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L. Ssp. *oleifera*) using 5'-anchored simple sequence repeat (SSR) primers. Theoretical and Applied Genetics, 1996, 92(3/4): 442-447.
- [35] Huang J C, Sun M. Genetic diversity and relationships of sweetpotato and its wild relatives in *Ipomoea series Batatas* (Convolvulaceae) as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) and restriction analysis of chloroplast DNA. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 100(7): 1050-1060.
- [36] Wiesnerová D, Wiesner I. ISSR-based clustering of cultivated flax germplasm is statistically correlated to thousand seed mass. Molecular Biotechnology, 2004, 26(3): 207-214.
- [37] Kumar R S, Parthiban K T, Rao M G. Molecular characterization of *Jatropha* genetic resources through inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. Molecular Biology Reports, 2009, 36(7): 1951-1956.
- [38] Rajwade A V, Arora R S, Kadoo N Y, Harsulkar A M, Ghorpade P B, Gupta V S. Relatedness of Indian flax genotypes (*Linum usitatissimum* L.); an inter-simple sequence repeat (ISSR) primer assay. Molecular Biotechnology, 2010, 45(2): 161-170.
- [39] dos Santos L F, de Oliveira F J, dos Santos Silva A, de Carvalho F M, Costa J L, Pádua J G. ISSR markers as a tool for the assessment of genetic diversity in *Passiflora*. Biochemical Genetics, 2011, 49(7/8): 540-554.

参考文献:

- [1] 吴丽芝, 刘果厚, 马秀珍. 国家级重点保护植物绵刺、蒙古扁桃叶片结构的观察. 内蒙古农牧学院学报, 1998, 19(4): 46-50.
- [2] 方海涛, 李俊兰, 王黎元. 珍稀濒危植物蒙古扁桃研究进展. 阴山学刊: 自然科学版, 2004, 18(2): 16-18.
- [3] 赵一之. 蒙古扁桃的植物区系地理分布的研究. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1995, 26(6): 713-715.
- [4] 吴高升, 刘忠, 赵书元. 蒙古扁桃的研究综述. 内蒙古畜牧科学, 1994, (3): 25-29.
- [5] 斯琴巴特尔. 蒙古扁桃. 生物学通报, 2003, 38(8): 23-24.
- [6] 方海涛, 红雨, 那仁, 斯琴巴特尔. 珍稀濒危植物蒙古扁桃花生物学特性. 广西植物, 2007, 27(2): 167-169, 166-166.
- [7] 国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录(第一册). 北京: 科学出版社, 1987.
- [8] 金丽萍. 不同生态条件下干旱胁迫对蒙古扁桃生理指标及解剖构造的影响 [D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2009: 6-6.
- [9] 金丽萍, 崔世茂, 杜金伟, 金彩霞, 吴玉峰, 其日格. 干旱胁迫对不同生态条件下蒙古扁桃叶片 PAL 和 C_4H 活性的影响. 华北农学报, 2009, 24(5): 118-122.
- [10] 包玉龙. 荒漠植物蒙古扁桃耐旱生理特性研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学, 2007: 6-6.
- [11] 斯琴巴特尔, 秀敏. 荒漠植物蒙古扁桃水分生理特征. 植物生态学报, 2007, 31(3): 484-489.
- [12] 斯琴图雅. 土壤干旱胁迫对蒙古扁桃种子及根系生理活动的影响 [D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学, 2007: 6-6.
- [13] 邹林林, 红雨, 任国学. 濒危植物蒙古扁桃和柄扁桃种子萌发率和幼苗生长比较研究. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版, 2008, 37(6): 791-794.
- [14] 斯琴巴特尔, 满良. 蒙古扁桃种子萌发生理研究. 广西植物, 2002, 22(6): 564-566.
- [15] 严子柱, 李爱德, 李德禄, 李昌龙. 珍稀濒危保护植物蒙古扁桃的生长特性研究. 西北植物学报, 2007, 27(3): 625-628.
- [16] 王雯君, 叶航, 王灵燕, 朱立新, 贾克功. 蒙古扁桃对北方根结线虫的抗性鉴定. 北京农学院学报, 2009, 24(1): 24-27.
- [17] 刘常红, 叶航, 李辉, 朱立新, 贾克功. 蒙古扁桃对根癌病的抗性评价. 西北农业学报, 2009, 18(3): 181-183.
- [18] 滕鹤, 袁琴, 白淑兰, 邵东华. 不同激素水平对蒙古扁桃愈伤组织发生过程的影响. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2008, 29(4): 13-16.
- [19] 耿军, 朱立新, 贾克功. 蒙古扁桃单芽茎段培养体系的建立. 西北农业学报, 2007, 16(5): 218-221.
- [20] 方海涛, 斯琴巴特. 蒙古扁桃的花部综合特征与虫媒传粉. 生态学杂志, 2007, 26(2): 177-181.
- [21] 方海涛, 红雨, 那仁, 斯琴巴特尔. 珍稀濒危植物蒙古扁桃花生物学特性. 广西植物, 2007, 27(2): 167-169.
- [27] 孙晋科. 扁桃种质资源 RAPD 和 ISSR 分析 [D]. 新疆: 新疆农业大学, 2008: 4-4.
- [28] 卢欣石, 何琪. 种群遗传变异及基因多样性分析. 草业学报, 1999, 8(3): 76-82.
- [29] 张萍, 董玉芝, 魏岩, 胡成志. 利用 ISSR 标记对新疆梭梭遗传多样性的研究. 西北植物学报, 2006, 26(7): 1337-1341.
- [30] 张颖娟, 王玉山. 珍稀濒危植物长叶红砂种群遗传多样性的 ISSR 分析. 植物研究, 2008, 28(5): 568-573.
- [31] 张颖娟, 杨持. 中国特有种四合木种群遗传多样性的 RAPD 分析. 生态学报, 2002, 22(11): 1917-1922.
- [32] 吕志江, 李疆, 吾买尔夏提·塔汉, 曾斌, 罗淑萍. 新疆野扁桃种质资源遗传多样性的 ISSR 分析. 果树学报, 2010, 27(6): 918-923.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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:1000717	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 70.00 元