

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

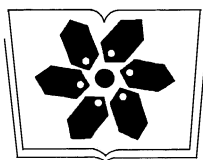
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **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 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12	

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

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

DOI: 10.5846/stxb201111021655

李萍萍, 孟衡玲, 陈军文, 孟珍贵, 李龙根, 杨生超. 云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性. 生态学报, 2012, 32(24): 7747-7756.

Li P P, Meng H L, Chen J W, Meng Z G, Li L G, Yang S C. Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of *Rodgersia sambucifolia* and related species. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7747-7756.

云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性

李萍萍¹, 孟衡玲^{1,2}, 陈军文¹, 孟珍贵¹, 李龙根¹, 杨生超^{1,*}

(1. 云南农业大学/云南省优势中药材规范化种植工程研究中心, 昆明 650201;

2. 红河学院生命科学与技术学院, 红河 661100)

摘要: 为有效保护和持续利用药用植物云南岩陀及其近缘种质资源提供基础数据, 采用巢式方差分析和聚类分析等方法对岩陀及其近缘种质资源共 4 个种(包括变种)的 15 个居群 150 个单株 16 种表型性状进行表型多样性分析。结果表明: 不同种间表型性状变异均超过 20%, 变异由大到小依次为光腹鬼灯檠、岩陀、羽叶鬼灯檠、七叶鬼灯檠; 居群间表型性状变异较高, 其地上部分干重、单株根状茎数变异较大, 变异系数均超过 50%; 小叶表面毛被状态变异系数为 100%、小叶背沿脉柔毛色变异系数为 0, 因此这些性状为种和变种分类的重要依据; 4 个种的居群内变异系数均大于居群间, 变异主要来源于居群内。种的表型多样性指数相对较高, 其中根粗最高, 叶表面毛被状态和叶背面沿脉柔毛色最低, 总体平均多样性指数为 1.39; 不同种间表型多样性指数变化在 1.23—1.44, 岩陀最高, 七叶鬼灯檠最低; 通过聚类分析可将 15 个居群分为 4 类。结果暗示: 岩陀及其近缘种质资源的遗传改良应适当地减少抽样居群数, 增加居群内的家系数, 重视居群内优良单株的选择; 种质资源的保护应尽量保护一个居群的完整性。

关键词: 岩陀; 种质资源; 表型多样性; 表型多样性指数; 表型分化系数

Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of *Rodgersia sambucifolia* and related species

LI Pingping¹, MENG Hengling^{1,2}, CHEN Junwen¹, MENG Zhengui¹, LI Longgen¹, YANG Shengchao^{1,*}

1 Yunnan Province Research Center on Good Agricultural Practice for Dominant Chinese Medicinal Materials, Yunnan Agricultural University, Kunming, 650201, China

2 College of Life Science and Technology, Honghe University, Honghe, 661100, China

Abstract: The objective of the present study was to examine phenotypic diversity in populations of *Rodgersia sambucifolia* and related species, thereby providing important information to assist in the effective protection and sustainable utilization of these germplasm resources. Nested ANOVA and cluster analysis were used to elucidate phenotypic diversity, based on 16 traits, in 150 plants from 15 populations of *R. sambucifolia* and three related species (including varieties) in Yunnan Province, China. The average within-species coefficient of variation was greater than 20%. *Rodgersia sambucifolia* var. *estrigosa* possessed the largest coefficient of variation, followed successively by *R. sambucifolia*, *R. aesculifolia*, and *R. pinnata*. There was great variation in phenotypic traits within populations. The largest within-population variation coefficients (> 50%) were those for dry weight of aerial plant parts, the number of rhizomes per plant, and hair on the adaxial leaflet surface (100%), while that for color of flocculence on the abaxial leaflet surface was 0. These traits could thus be used to distinguish *R. sambucifolia* and its related species. For the four species, phenotypic variation coefficients were higher within than between populations, with most observed variation derived from within-population variability.

基金项目: 云南省科学技术厅重点产业创新工程项目(2008IF004)

收稿日期: 2011-11-02; 修订日期: 2012-09-06

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

Species phenotypic diversity indexes were relatively high, with those for rhizome diameter the highest, and those for adaxial leaflet surface hair and color of flocculence on the abaxial leaflet surface the lowest. The overall mean phenotypic diversity index was 1.39, ranging from a high of 1.44 in *R. sambucifolia* to 1.23 in *R. pinnata*. In addition, cluster analysis showed that the 15 populations of *R. sambucifolia* and related species could be divided into four categories. The results obtained here suggest that: 1) sampling more individuals within a single population, rather than collecting a few individuals from many different populations, is the best strategy for genetic improvement of *R. sambucifolia* germplasm resources; 2) more attention should be focused on choosing superior individuals during the process of genetic improvement; and 3) population integrity is the key determining factor for protection of germplasm resources of *R. sambucifolia* and related species.

Key Words: *Rodgersia sambucifolia*; germplasm resources; phenotypic diversity; phenotypic diversity index; phenotypic differentiation coefficient

岩陀 (*Rodgersia sambucifolia* Hemsl.) 又名西南鬼灯檠, 为虎耳草科 (Saxifragaceae) 鬼灯檠属 (*Rodgersia* Hemsl.) 多年生草本植物, 主要分布于我国云南、四川、贵州海拔 1800—3650 m 的林下、灌丛、草甸或石隙中; 是云南傈僳族、苗族、白族习用的药物, 名称源于傈僳文名“埃陀 (Airtot)”。岩陀所含有的岩白菜素^[1]具有镇咳祛痰的功效, 是用于治疗慢性气管炎、支气管炎、肺气肿、肺心病、支气管哮喘等呼吸系统疾病的特效药物。岩陀根状茎的岩白菜素含量在 4% 左右, 最高可达 6.07%^[2], 是我国西南地区用于生产岩白菜素的主要药源植物。另一方面, 羽叶鬼灯檠 (*R. pinnata* Franch.) 和七叶鬼灯檠 (*R. aesculifolia* Batal) 和岩陀含有相似的有效成分, 并具有相同的功效和应用^[3-4]。因此, 我国云南、四川、陕西、新疆等地制药企业也以岩陀的近缘种羽叶鬼灯檠、岩白菜 (*Bergenia purpurascens* (Hook. f. et Thoms.) Engl) 等药源植物资源为原料提取岩白菜素; 由于制药原料全部依靠采挖野生资源, 长期过度无序的采挖导致野生药源植物自然更新能力下降、蕴藏量日益减少; 此外, 多数岩白菜素药源植物多生长在高海拔地区, 生长速度缓慢, 结果造成岩白菜素药源植物资源需求紧张。

表型多样性主要研究群体在分布区域内各种环境下的表型变异, 是遗传多样性与环境多样性的综合体现^[5-7], 也是生物多样性与生物系统学研究的重要内容^[8], 通过有效的采样、合理的数学统计方法能揭示群体的遗传规律及变异大小, 并可客观评价其遗传多样性。表型多样性研究一直受到国内外众多学者的关注^[9-14], 但大多数研究主要集中在种内居群水平上的研究, 作为连续的植物类群, 属内物种间、种内居群间和居群内个体间 3 个层面上的研究报道则相对较少。目前, 岩陀及其近缘种质资源的研究相对集中于其药用成分开发利用, 而对其区系地理、居群多样性等方面的研究在国内外尚未见报道。鉴于云南省是鬼灯檠属植物的集中分布区, 本试验主要选取分布在云南省内的 4 个种 (包括变种) 的 15 个居群为样本, 从上述 3 个层面上来分析岩陀及其近缘种质资源的自然表型变异情况及其遗传多样性特征, 为筛选优良变异、制定资源保护及利用策略提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 居群选择与材料的采集

根据《中国植物志》、《云南植物志》以及中国科学院昆明植物研究所标本馆对鬼灯檠属植物采集记录以及相关资料和文献记载, 选择云南岩陀种质资源的集中分布区作为考察的重点地区, 确定考察的范围及路线, 在其全分布区内选取 15 个有代表性的地点作为考察对象, 于 2008 年 9 月 2 日—10 月 31 日, 对云南省 5 个州 (市) 的 14 个县进行考察。按照岩陀及其近缘种质资源在云南省的主要分布地区的 5 个州市, 除兰坪县是在同一县域的怒江流域和澜沧江流域选择两个居群外, 其余均在考虑江河流域的基础上按每个县域选择一个居群, 选择 15 个天然居群。每个居群选取 10 个植株, 植株间距大于 5 m。采样居群中心位置采用全球卫星定位系统 (GPS) 定位, 采样地生境如表 1 所示。

表 1 岩陀及其近缘种质资源的居群生境

Table 1 Habitat of germplasm resources of *R. sambucifolia* and its related species

编号 Code	种(变种) Species (Variety)	地点 Locality	北纬 N Northern latitude N	东经 E East longitude E	海拔/m Altitude	生境类型 Habitat type
R-01	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	会泽县金钟镇金钟山	27°21'34"	104°40'40"	2405	林下
R-02	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	禄劝县撒营盘镇一叫凹	25°59'26"	103°37'26"	1898	林下
R-03	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	罗平县九龙镇六白大山	25°18'06"	104°27'58"	1828	石隙
R-04	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	永胜县南华乡老巢山	25°58'24"	104°38'04"	2323	林下、山谷溪沟两旁
R-05	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	玉龙县黄山镇文笔山	27°14'24"	100°35'06"	2915	林下
R-06	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	嵩明县嵩阳镇小团山	25°56'46"	103°06'00"	2188	林下、灌丛中
R-07	岩陀 <i>R. sambucifolia</i>	富民县永定镇大风丫口	26°00'26"	100°31'28"	3030	林下
R-08	羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i>	鹤庆县草海镇马厂	26°55'52"	100°32'32"	3231	林下
R-09	羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i>	兰坪县金顶镇哑巴箐	26°55'28"	100°31'56"	3208	林下、潮湿的岩壁上
R-10	羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i>	大理市观音堂感通山	26°00'14"	100°31'52"	3048	灌丛草地
R-11	羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i>	洱源县三营乡东山	26°21'16"	100°10'48"	2830	林下、灌丛草地
R-12	七叶鬼灯檠 <i>R. aesculifolia</i>	富源县大河镇圭山	26°01'18"	104°38'10"	2328	灌丛、石隙
R-13	七叶鬼灯檠 <i>R. aesculifolia</i>	泸水县老窝乡自奔山	25°02'58"	99°31'44"	2884	林下
R-14	光腹鬼灯檠 <i>R. sambucifolia</i> var. <i>estrigosa</i>	宁蒗县大兴镇观音庙	26°54'22"	101°29'16"	2334	林下、灌丛草地
R-15	光腹鬼灯檠 <i>R. sambucifolia</i> var. <i>estrigosa</i>	兰坪县中排乡元宝山	27°31'38"	100°14'10"	2828	林下

1.2 性状的选取和测定方法

以采集的岩陀、羽叶鬼灯檠、七叶鬼灯檠、光腹鬼灯檠等鬼灯檠属 4 个种的 15 个居群 150 个样本个体为材料,由于鬼灯檠属居群部分个体尚未开花,采集到的各居群开花植株数量从 0—10 株不等,因此选取根状茎及叶部性状的测量值进行统计分析。选取明显显示多样性的性状或在鬼灯檠属植物种的分类上起到决定性作用的根状茎、茎、叶等 16 个外观性状作为表型多样性分析指标,测量方法见表 2。并分别计算其数量性状(连续性变异)在居群内的平均值($\bar{X}$)和变异系数值。

表 2 岩陀及其近缘种质资源表型性状观测方法

Table 2 Measurement methods of phenotypic traits for germplasm resources of *R. sambucifolia* and its related species

编号 Code	性状 Traits	测量方法 Measuring methods
1	株高/cm	开花的植物株高从地面到第一朵花梗的距离,未开花的植物株高是从根基部到复叶着生位置的长度
2	单株基生叶数	直接测定
3	基生叶柄长/cm	直接测定
4	基生小叶数	直接测定
5	基生小叶长/cm	选取相同部位的叶片测定叶子最长处
6	基生小叶宽/cm	选取相同部位的叶片测定叶子最宽处
7	基生小叶长宽比	基生小叶长宽比的平均值
8	叶型	1=掌状复叶,2=近羽状复叶、侧生小叶片轮生,3=羽状复叶、侧生小叶片对生,4=羽状复叶、侧生小叶片稀互生
9	小叶腹面毛被状态	1=腹面无毛,2=疏生近无柄之腺毛,3=背糙伏毛
10	小叶背面沿脉柔毛色	1=疏生柔毛,2=柔毛,3=具黄褐色柔毛,4=具长柔毛
11	单株根状茎数	直接测定
12	单株根状茎长/cm	选择有代表性的主根
13	单株根状茎粗/cm	选取根部中间部位进行测量
14	根状茎断面颜色	1=白色 2=乳白色,3=肉红色,4=粉红色 5=微紫色,6=紫色
15	地上部分干重/g	带回学校后在室内阴干称地上部植株的重量
16	地下部分干重/g	带回后洗净在室内阴干称重

1.3 数据处理与统计分析

1.3.1 变异系数的分析

采用各居群不同单株性状的平均值为基础计算居群间性状的变异系数。

$$\text{均值 } \bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}, (X_i \text{ 为个体观测值}, n \text{ 为观测个体数})$$

$$\text{变异系数 } CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

1.3.2 巢式方差分析

对 15 个岩陀及其近缘种质资源居群的 150 株个体的 16 个表型性状进行巢式方差分析,分析其在居群间和居群内的差异。

群体巢式方差分析线性模型^[15]为:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{(i)j} + \varepsilon_{(i)jk}$$

式中, Y_{ijk} 为第 i 种鬼灯檠属植物, 第 j 个居群, 第 k 个观测值, μ 为总均值, S_i 为群体效应(固定), $T_{(i)j}$ 为群体内居群效应(随机), $\varepsilon_{(i)jk}$ 为实验误差。

1.3.3 表型分化系数

根据巢式方差分析结果,分别计算 16 个表型性状居群内和居群间的方差分量和各性状的表型分化系数,用以说明居群内和居群间的变异在总变异中的比例。

$$\text{计算各居群间表型分化系数}^{[16]} \text{ 公式 } V_{ST} = \frac{\sigma_{T/S}^2}{(\sigma_{T/S}^2 + \sigma_s^2)} \times 100\%$$

式中, V_{ST} 为表型分化系数,表示居群内变异占遗传总变异的百分比。 $\sigma_{T/S}^2$ 为居群间方差分量; σ_s^2 为居群内方差分量。

1.3.4 聚类分析

参考基于变异系数作为权重的聚类分析方法,按照性状越稳定,权重越大的思路,采用以下公式计算各性状的权重值,对性状原始数据用倒数进行标准化处理,以标准化处理的数据与权重值的乘积为基础,用 DPS 软件对表型数据进行欧式距离的 UPGMA 系统聚类分析。

$$W = 1 - \frac{CV}{100}$$

1.3.5 多样性指数

表型性状多样性指数采用 Shannon's 信息指数计算,在计算多样性指数时的划级方法如下:先计算参试材料总体平均数($\bar{X}$)和标准差(s),然后划分为 10 级,从第一级 $[X_i(x+2d)]$,每 $0.5d$ 为一级。每一级的相对频率用于计算多样性指数。

平均多样性指数(H')和多样性指数(H)的计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}$$

$$H = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n H'$$

式中, i 为第 i 个性状的代码($i=1,2,3,\dots,m$, m 为性状所分的等级数), j 为性状数($j=1,2,3,\dots,n$), P_{ij} 为第 j 个性状第 i 个代码值出现的频率,即其在群体中所占的比率。 $\ln$ 为自然对数。

2 结果与分析

2.1 岩陀及其近缘种质资源的变异系数分析

变异系数的大小可间接反映出群体的表型多样性丰富程度,变异系数大,说明该群体表型多样性丰富。分析结果表明,变异系数由大到小的顺序为光腹鬼灯檠、岩陀、七叶鬼灯檠、羽叶鬼灯檠;不同种间表型性状变

表 3 岩陀及其近缘种质资源各表型性状的变异系数/%
Table 3 Variation coefficients of phenotypic traits in *Rodgersia sambucifolia* and its related species

居群编号	株高	单株基 生叶数	基生叶 柄长	单叶 小叶数	小叶长	小叶宽	小叶 长宽比	小叶 叶型	小叶腹面 毛被状态	小叶背面沿 脉柔毛色	根状茎数	根状茎长	根状茎粗	根状茎断 面颜色	地上部分 干重	地下部分 干重
岩陀 <i>R. asambucifolia</i>																
R-01	37.78	82.52	24.19	32.06	14.37	16.28	11.41	10.2	0	0	33.78	25.19	30.51	39.72	89.74	44.66
R-02	33.29	92.18	25.63	19.3	15.2	14.07	13.09	17.89	0	0	55.61	19.37	29.49	32.5	53.38	63.73
R-03	26.51	35.14	30.38	15.71	20.25	35.73	39.4	35.14	0	0	78.68	22.34	21.4	28.41	69.97	37.48
R-04	27.67	47.35	20.21	17.76	16.14	20.64	12.99	33.99	0	0	59.84	40.02	21.13	30.19	94.87	43.61
R-05	24.97	0	28.23	12.78	20.26	12.33	12.26	15.06	0	0	36.44	19.18	24.32	19.57	48.62	52.69
R-06	25.87	58.76	24.36	20.35	17.41	24.25	10.37	0	0	0	39.36	32.07	28.05	49.03	71.06	47.33
R-07	55.96	46.58	39.42	16.88	25.15	23.76	7.01	32.27	0	0	43.34	19.55	13.63	20.45	54.82	46.99
羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i>																
R-08	37.78	82.52	24.19	32.06	14.37	16.28	11.41	10.2	0	0	33.78	25.19	30.51	39.72	89.74	44.66
R-09	16.45	73.7	12.59	11.28	13.14	21.74	15.93	36.89	0	0	72.98	30.91	15.01	36.27	41.86	74.43
R-10	23.51	47.49	24.9	11.66	14.91	17.33	7.67	32.27	0	0	64.25	27.96	17.24	21.08	52.45	51.85
R-11	26.39	36.89	24.03	12.29	15.14	23.48	10.79	19.17	0	0	47.14	21.82	36.44	48.65	43.91	37.55
七叶鬼灯檠 <i>R. aesculifolia</i>																
R-12	26.31	56.25	20.81	9.11	12.84	22.76	14.98	28.75	0	0	50.61	29.78	22.13	50.6	57.12	56.59
R-13	12.2	28.75	20.24	5.89	19.18	32.5	80.08	0	0	0	47.14	27.15	16.98	37.16	51.77	26.7
光腹鬼灯檠 <i>R. Sambucifolia</i> var. <i>strigosa</i>																
R-14	39.73	57.01	46.55	23.33	23.37	30.78	19.79	28.41	0	0	48.65	21.48	15.28	32.43	72.21	58.1
R-15	40.92	55.88	26.28	6.8	12.92	14.45	11.7	47.14	0	0	41.7	13.63	19.33	35.14	63.02	35.96

居群编号 Code; 株高 Plant height; 单株基生叶数 Basal leaf number per plant; 基生叶柄长 Petiole length of basal leaf; 单叶小叶数 Leaflet number per basal leaf; 小叶长 Leaflet length; 小叶宽 Leaflet width; 小叶长宽比 Length-width ratio of leaflet; 叶型 Blade profile; 小叶腹面毛被状态 Hair in adaxial surface of leaflet; 小叶背面沿脉柔毛色 Colour of flocculence in abaxial surface of leaflet; 根状茎数 Rhizome number; 根状茎长 Rhizome length; 根状茎断面颜色 Colour of section for rhizome; 地上部分干重 Dry weight of aerial part; 地下部分干重 Dry weight of underground part

异均超过 20%,不同居群的岩陀及其近缘种质资源表型性状变异以宁蒗最大,玉龙最小;不同性状居群间变异系数的平均值差别较大,从 0(叶表面有无伏毛、叶背沿脉柔毛色)到 59.44(地上部分干重)不等,其中地上部分干重、单株根状茎数等表型性状变异较大,超过 50%;小叶表面毛被状态、小叶背沿脉柔毛色等表型性状变异为 0,说明各性状中,小叶腹面毛被状态、小叶背面沿脉柔毛色在居群内比较稳定;同一表型性状在不同居群间的变异幅度也有差异,16 个性状在 15 个居群间变异以基生叶数最大,小叶腹面毛被状态、小叶背面沿脉柔毛色最小(表 3)。

2.2 岩陀及其近缘种质资源的巢式方差分析

巢式方差分析可以揭示种内和种间的变异,对 4 个鬼灯檠属植物 15 个居群 150 株个体的 16 个形态性状进行巢式方差分析表明,株高、基生叶数、基生小叶数、单株根状茎数、地上部干重等性状在居群间和种间存在显著性差异,种间叶型、小叶腹面毛被状态达到极显著差异,其它性状指标差异不显著;居群间除小叶腹面毛被状态和小叶背面沿脉柔毛色差异不明显外,其余性状均达到极显著差异(表 4)。

2.3 岩陀及其近缘种质资源居群表型分化

按巢式设计方差分量比占总变异的比例,用群体间的方差分量占遗传总变异(群体间和群体内方差分量之和)的比例表示群体间的表型分化系数 V_{ST} 。各性状的变异在种间、居群间、以及个体间的分布情况如表 4 所示。鬼灯檠属 4 个种间方差分量百分比为 44.38%,居群间为 22.36%,个体间为 33.26%,说明居群间和居群内的变异都很丰富,且居群内的变异大于居群间(表 4)。

2.4 岩陀及其近缘种质资源居群表型聚类分析

UPGMA 聚类分析结果表明,采自不同地理居群的 15 份岩陀及其近缘种质资源材料间的相似系数介于 0.00—1.04 之间,在相似系数为 0.41 处,可将 15 份岩陀及其近缘种质资源分为四类,第一类包括采自曲靖市的会泽、罗平,昆明市的禄劝、嵩明,丽江市永胜、玉龙等绝大部分岩陀;第二类包括昆明市的富民、丽江市的宁蒗、怒江州的兰坪中排的小部分岩陀及其变种光腹鬼灯檠;第三类包括采自大理州的鹤庆、洱源、大理,怒江州的兰坪金顶的所有羽叶鬼灯檠;第四类包括采自曲靖市的富源、怒江州的泸水的所有七叶鬼灯檠,其分类结果几乎是按照种来进行聚类的,进一步说明种间差异最大,地理因素对居群多样性的影响较小(图 1)。

2.5 岩陀及其近缘种质资源表型多样性比较

通过对岩陀及其近缘种质资源 4 个种 16 个表型性状计算表型多样性指数,结果表明(表 5):岩陀及其近缘种质资源表型多样性指数差异较大,其中单株根状茎粗最高,小叶表面毛被状态和小叶背面沿脉柔毛色最低,总体平均多样性指数为 1.39,不同种间表型多样性指数变化在 1.23—1.44,岩陀最高,羽叶鬼灯檠次之,七叶鬼灯檠最低。

3 讨论

3.1 岩陀及其近缘种质资源种间变异

本研究根据植物属、种、个体等层面上的分类类群的连续性原理,把葛颂^[16]等的表型多样性理论应用在属内种间的遗传变异分析,有别于大部分研究把类群的变异主要考虑在种及其以下层次。研究结果显示,属内 4 个种的差异最大,表明通过形态指标观测划分的物种的分类方法能较好地地区分鬼灯檠属植物的种间差异,物种的生殖隔离是物种多样性保持的有效措施。4 个种间的平均方差分量百分比(44.38%)均较种内居群间(22.36%)和居群内个体间(33.26%)的高,即在属内种间或种内的表型变异均主要由遗传引起,受环境

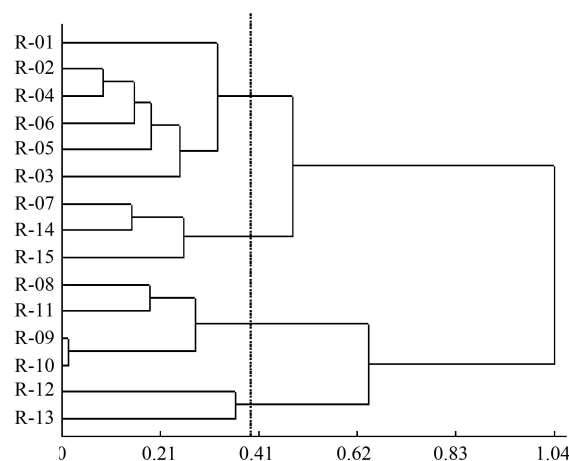


图 1 基于岩陀及其近缘种质资源表型性状的聚类树型图

Fig. 1 Cluster tree based on phenotypic traits of germplasm resources of *Rodgersia sambucifolia* and its related species

表 4 岩陀及其近缘种质资源表型性状方差分析、方差分量及居群间表型分化系数

Table 4 Variance analysis and phenotypic differentiation coefficient of phenotypic traits among populations of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and its related species													
性状 Traits	均方(自由度) MS(df)			F			方差分量 Variance component			方差分量百分比/% Percentage of variance component			居群间表型 分化系数/% Phenotypic differentiation coefficient
	种间	居群间	个体间	种间	居群间	个体间	种间	居群间	个体间	种间	居群间	个体间	
株高 Plant height/cm	2247.23 (3)	2532.05 (11)	275.19 (135)	0.89	9.20**		197.20	225.69	275.19	28.25	32.33	39.42	45.06
单株基生叶数 Basal leaf number per plant	4.38 (3)	16.46 (11)	2.31 (135)	0.27	7.11**		0.21	1.41	2.31	5.25	35.95	58.80	37.94
基生叶柄长 Petiole length of basal leaf/cm	2030.83 (3)	977.99 (11)	153.09 (135)	2.08	6.39**		187.77	82.49	153.09	44.35	19.48	36.16	35.01
基生小叶数 Leaflet number per basal leaf	5.74 (3)	8.77 (11)	1.55 (135)	0.65	5.66 *		0.42	0.72	1.55	15.59	26.85	57.56	31.81
基生小叶长 Leaflet length/cm	324.83 (3)	271.64 (11)	16.96 (135)	1.20	16.02**		30.79	25.47	16.96	42.05	34.79	23.16	60.03
基生小叶宽 Leaflet width/cm	65.62 (3)	60.85 (11)	4.97 (135)	1.08	12.24**		6.06	5.59	4.97	36.48	33.61	29.91	52.91
基生小叶长宽比 Length-width ratio of leaflet	1.94 (3)	1.32 (11)	0.61 (136)	1.46	2.16		0.13	0.07	0.61	16.22	8.70	75.08	10.38
叶型 Blade profile	15.89 (3)	1.88 (11)	0.28 (135)	8.43**	6.80**		1.56	0.16	0.28	78.10	8.04	13.86	38.36
小叶腹面毛被状态 Hair in adaxial surface of leaflet	34.67 (3)	1.82 (11)	0.00 (135)	19.07**	0.00		3.47	0.18	0.00	95.02	4.98	0.00	100
小叶背面沿脉柔毛色 Colour of flocculence in abaxial surface of leaflet	25.78 (3)	0.00 (11)	0.00 (135)	0.00	0.00		2.58	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0
单株根状茎数 Rhizome number	40.44 (3)	68.59 (11)	6.80 (135)	0.59	10.08**		3.36	6.18	6.80	20.58	37.80	41.62	47.59
株根状茎长 Rhizome length/cm	1419.71 (3)	687.09 (11)	18.44 (135)	2.07	37.26**		140.13	66.86	18.44	62.16	29.66	8.18	78.38
单株根状茎粗 Rhizome diameter/cm	9.05 (3)	2.64 (11)	0.30 (135)	3.43	8.67**		0.87	0.23	0.30	61.91	16.53	21.56	43.40
根状茎断面颜色 Colour of section for rhizome	8.82 (3)	5.19 (11)	1.37 (135)	1.70	3.80 *		0.75	0.38	1.37	29.90	15.33	54.77	21.87
地上部分干重 Dry weight of aerial part/g	559.33 (3)	668.63 (11)	97.83 (135)	0.84	6.83**		46.15	57.08	97.83	22.95	28.39	48.66	36.85
地下部分干重 Dry weight of underground part/g	52714.23 (3)	27222.37 (11)	2297.07 (135)	1.94	11.85**		5041.72	2492.53	2297.07	51.28	25.35	23.36	52.04

因子的影响较小。居群内个体间也表现出了较大的方差分量,说明鬼灯檠属植物种在分布范围和生境的多样性方面表现出具体种对环境的依赖性。变异最小的是种内居群间,这可能与鬼灯檠属植物的花无花瓣,能进行风媒传粉,从而能在较远距离进行传粉,实现基因交流有关,但具体的传粉方式仍有待进一步研究,该研究结果与聚类分析结果一致,为以后的表型多样性分析提供了一些参考和借鉴。

表 5 岩陀及其近缘种质资源居群不同性状表型多样性指数

性状 Traits	表型多样性指数 Index of phenotypic diversity			
	岩陀 <i>R. sambucifolia</i> (<i>n</i> = 7)	羽叶鬼灯檠 <i>R. pinnata</i> (<i>n</i> = 4)	七叶鬼灯檠 <i>R. aesculifolia</i> (<i>n</i> = 2)	光腹鬼灯檠 <i>R. sambucifolia</i> var. <i>estrigosa</i> (<i>n</i> = 2)
株高 Plant height/cm	1.94	1.96	1.68	1.73
单株基生叶数 Basal leaf number per plant	0.52	1.30	1.09	1.32
基生叶柄长 Petiole length of basal leaf/cm	1.97	1.95	1.57	1.82
基生小叶数 Leaflet number per basal leaf	1.87	1.15	1.32	1.30
基生小叶长 Leaflet length/cm	1.89	1.93	1.61	1.81
基生小叶宽 Leaflet width/cm	1.96	1.84	1.93	2.02
基生小叶长宽比 Length-width ratio of leaflet	1.79	1.87	0.52	1.61
叶型 Llade profile	0.97	0.87	0.20	0.86
小叶腹面毛被状态 Hair in adaxial surface of leaflet	0.00	0.00	0.00	0.00
小叶背面沿脉柔毛色 Colour of flocculence in abaxial surface of leaflet	0.00	0.00	0.00	0.00
单株根状茎数 Rhizome number	1.88	1.52	1.37	1.82
单株根状茎长 Rhizome length/cm	1.85	1.95	1.68	1.47
单株根状茎粗 Rhizome diameter/cm	1.93	2.00	1.97	1.68
根状茎断面颜色 Colour of section for rhizome	1.64	1.41	1.37	1.11
地上部分干重 Dry weight of aerial part/g	1.46	1.62	1.70	1.61
地下部分干重 Dry weight of underground part/g	1.71	1.53	1.88	1.81
平均 Mean	1.44	1.40	1.23	1.36

3.2 岩陀及其近缘种质资源居群间与居群内的表型变异

表型多样性主要研究种群在其分布区域内环境条件下的表型变异,是基因型和环境互作的结果,表型变异必然蕴涵着遗传变异,表型变异越大,可能存在的遗传变异越大,也是进行遗传多样性研究最基本的组成部分^[17]。对遗传多样性的研究可以揭示物种或居群的进化史,能为濒危物种的保护和利用提供科学依据,是人工驯化和遗传育种研究的基础,也是揭示种群适应性的有效途径之一^[18]。岩陀及其近缘种质资源 4 个种居群内的变异系数均大于居群间,变异主要来源于居群内,种间变异大小依次为光腹鬼灯檠、岩陀、羽叶鬼灯檠、七叶鬼灯檠,小叶表面毛被状态及小叶背沿脉柔毛色可作为种和变种分类的重要依据;在种间,除小叶表面毛被状态和叶型达到极显著,其余性状均为不显著;在居群间,除小叶表面毛被状态、小叶背沿脉柔毛色、小叶长宽比外,其余 13 个表型性状均达到显著或极显著差异,岩陀种质资源表型丰富,其变异主要来源于居群间和居群内,为优异种质选择和岩陀遗传多样性保护提供了物质基础,有利于种质资源的筛选和新品种的培育。

群体表型分化系数是群体间表型方差占群体间和群体内表型总方差的比例^[15],它对应于基因分化系数^[16]。小叶腹面毛被状态的表型分化系数为 100%,小叶背面沿脉柔毛色的表型分化系数为 0,其余 14 个表型性状的表型分化系数为 10.38%—78.38%,平均为 43.23%,低于岷江百合 61.52%^[20],高于灯盏花 26.58%^[21]和泸定百合 21.16%^[22],与紫丁香 43.93%相当^[23],这表明岩陀天然群体间表型分化系数较大,该物种可能存在较高的群体内自交率^[24];但其居群内的表型多样性大于居群间,对一个物种遗传结构来说,植物本身的繁育方式起决定作用^[25];岩陀及其近缘种质资源 4 个种的多样性指数为 1.23—1.44,平均值 1.39,较籼稻 1.145、粳稻 1.281^[10],野生稻 1.328^[17]等植物的表型多样性指数高,较鹅观草 1.825 低^[19],进一步表

明岩陀及近缘种质资源居群内的表型多样性高于居群间的表型多样性,且居群内的遗传多样性是造成其多样性较高的主要原因,与表型分化系数的结果一致。

3.3 岩陀及近缘种质资源表型多样性与地理分布的关系

通过聚类分析发现,在相似系数为 0.41 时可将 15 份种质资源分为四大类,第一大类为岩陀,第二大类为光腹鬼灯擎,第三大类为羽叶鬼灯擎,第四类为七叶鬼灯擎,其聚类主要是以种为依据,性状的表型特征没有依地理距离而聚类,表明在分布区域相对较小的范围内,遗传特性是其表型变异的主导因子。

3.4 岩陀及近缘种质资源遗传改良策略及多样性的保护策略

云南省属低纬度高海拔多山地省份,地貌结构复杂,热、水、土等条件的空间差异突出,形成了复杂多样的自然生态环境,岩陀及其近缘种质资源分布范围广,表型性状在居群内和居群间均存在真实明显的遗传变异,但居群内变异大于居群间。因此,岩陀及其近缘种质资源的遗传改良应重视对居群内优良单株的选择,适当减少抽样居群数,增加居群内的家系数,优先考虑群体内的选择、保护和利用。生物多样性保护的关键之一是物种的保护,邹喻苹等^[26]认为变异主要存在于居群内的物种,应将居群作为资源调查和收集的基本单元,因此对岩陀及其近缘种质资源的保护首先应是对现有种群生境的就地保护,制定相应的采集规范,明确轮采间隔期,保护野生资源,并对种群消长进行监测。还需对岩陀种质资源开展全面的保护生物学研究,李昂和葛颂^[27]认为开展保护生物学研究是解决生物多样性危机、挽救成千上万物种的根本出路,也是合理的资源开发和利用的前提。其次是收集具有优良性状的岩陀及其近缘种质资源进行驯化栽培,实现规模化生产,观测岩陀在栽培条件下的有效成分变化规律,并通过在栽培条件下明确表型变异多样性与有效成分的含量关系。再次是建立岩陀种质资源圃,这是本研究的另一部分的研究工作,通过异地保护的方式保护岩陀及其近缘种质资源,并在采集过程中尽量保持居群的完整性。

致谢:承蒙云南农业大学农学与生物技术学院郭凤根教授进行物种鉴定

References:

- [1] Shi G R, Li D M, Liu G M. Studies on the chemical constituents of *Rodgersia sambucifolia*. Journal of Dali University, 2008, 7(4): 1-2.
- [2] Xiu D B, Zhang Z P. Determination of bergenin in root of *Rodgersia aesculifolia* by HPLC. Northwest Pharmaceutical Journal, 2007, 22(1): 6-7.
- [3] Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia (Part 1), Beijing: China Medical Science Press, 1977.
- [4] Yunnan Provincial Bureau of Health. Yunnan provincial pharmaceutical standard (1996 Version), Kunming: Yunnan University Press, 1998.
- [5] Mitchell-Olds T, Willis J H, Goldstein D B. Which evolutionary processes influence natural genetic variation for phenotypic traits? Nature Reviews Genetics, 2007, 8(11): 845-856.
- [6] García-Verdugo C, Fay M F, Granado-Yela C, de Casas R R, Balaguer L, Besnard G, Vargas P. Genetic diversity and differentiation processes in the ploidy series of *Olea europaea* L.: a multiscale approach from subspecies to insular populations. Molecular Ecology, 2009, 18(3): 454-467.
- [7] García-Verdugo C, Méndez M, Velázquez-Rosas N, Balaguer L. Contrasting patterns of morphological and physiological differentiation across insular environments: phenotypic variation and heritability of light-related traits in *Olea europaea*. Oecologia, 2010, 164(3): 647-655.
- [8] Yan A M, Chen W X. Phenotypic feature diversity of rhizobia isolated from *Medicago* sp., *Melilotus* sp. and *Caragana* sp.. Biodiversity Science, 1999, 7(2): 112-118.
- [9] Bagchi S K, Joshi D N, Rawat D S. Variation in seed size of *Acacia* spp. Silvae Genetica, 1990, 39(3/4): 107-110.
- [10] King J N, Yeh F C, Heaman J C H. Selection of growth and yield traits in controlled crosses of Coastal Douglas-fir. Silvae Genetica, 1998, 37(3/4): 158-164.
- [11] Li B, Gu W C, Lu B M. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*. Biodiversity Science, 2002, 10(2): 181-188.
- [12] Zhao X, Zhao S J. Phenotypic diversity of different *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng populations. Journal of South China University of Technology: Natural Science, 2007, 35(4): 117-122, 133-133.
- [13] Chen G, Du X M. Genetic diversity of basal germplasm phenotypes in upland cotton in China. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(8): 1649-1656.
- [14] Li Z C, Zhang H L, Zeng Y W, Shen S Q, Sun C Q, Wang X K. Studies on phenotypic diversity of rice germplasm in Yunnan, China. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 832-837.

- [15] Gu W C. Statistical Genetics. Beijing: Science Press, 2004.
- [16] Ge S, Wang M X, Chen Y W. An analysis of population genetic structure of masson pine by isozyme technique. *Scientia Silvae Sinicae*, 1988, 24(4): 399-409.
- [17] Liu W, Chen F, Chen Y, Pan D J, Fan Z L, Chen J Y, Li C. Phenotypic diversity of ordinary wild rice in north of Guangdong. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(8): 21-24.
- [18] Zeng J, Zheng H S, Gan S M, Bai J Y. Phenotypic variation in natural populations of *Betula alnoides* in Guangxi, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2): 59-65.
- [19] Xiao H J, Xu Z, Zhai L J, Li Y B, Xie J H, Meng L Q. Phenotypic diversity of *Roegneria kamoji* ohwi population. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(11): 2222-2227.
- [20] Zhang C X, Ming J, Liu C, Zhao H T, Wang C C, Shan H C, Ren J F, Zhou X, Mu D. Phenotypic variation of natural populations in *Lilium regale* Wilson. *Acta Horticulurae Sinica*, 2008, 35(8): 1183-1188.
- [21] Yang S C, Xu S Z, Wen G S, Liu Y G, Xiao F H. Phenotypic diversity of populations in germplasm resources of *Erigeron breviscapus*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(8): 1573-1579.
- [22] Jia L, Lu Q L, Yu H. A study on genetic diversity of Zunyi population and Mouding population of *Lilium sargentiae* Wilson. *Journal of Yunnan University: Natural Science*, 2003, 25(S1): 84-90.
- [23] Ming J, Gu W C. Phenotypic variation of *Syringa oblata* Lindl. *Forest Research*, 2006, 19(2): 199-204.
- [24] Zhou S L, Zhang F, Wang Z R, Hong D Y. Genetic diversity of *Mosla hangchouensis* and *M. chinensis* (Labiatae). *Acta Genetica Sinica*, 1998, 25(2): 173-180.
- [25] Lu J W, Wang Z, Yan H, Pei Y H, Gao H W. Phenotypic diversity analysis of *Caragana microphylla* Lam. natural populations in the middle of Inner Mongolia. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2009, 10(1): 77-80.
- [26] Zou P Y, Ge S, Wang X D. Molecular Markers of System and Evolution in Botany. Beijing: Science Press, 2001.
- [27] Li A, Ge S. Advances in plant conservation genetics. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 61-71.

参考文献:

- [1] 施贵荣, 李冬梅, 刘光明. 西南鬼灯檠的化学成分研究. *大理学院学报*, 2008, 7(4): 1-2.
- [2] 胥道宝, 张转平. HPLC 法测定索骨丹根中岩白菜素含量. *西北药学杂志*, 2007, 22(1): 6-7.
- [3] 国家药典委员会. 中国药典 (一部). 北京: 中国医药科技出版社, 1977.
- [4] 云南省卫生厅. 云南省药品标准(1996 版). 昆明: 云南大学出版社, 1998.
- [8] 阎爱民, 陈文新. 苜蓿、草木樨、锦鸡儿根瘤菌的表型多样性分析. *生物多样性*, 1999, 7(2): 112-118.
- [11] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究. *生物多样性*, 2002, 10(2): 181-188.
- [12] 赵翊, 赵树进. 白木香群体的表型多样性分析. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(4): 117-122.
- [13] 陈光, 杜雄明. 我国陆地棉基础种质表型性状的遗传多样性分析. *西北植物学报*, 2006, 26(8): 1649-1656.
- [14] 李自超, 张洪亮, 曾亚文, 申时全, 孙传清, 王象坤. 云南稻种资源表型遗传多样性的研究. *作物学报*, 2001, 27(6): 832-837.
- [15] 顾万春. 统计遗传学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [16] 葛颂, 王明麻, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构. *林业科学*, 1988, 24(4): 399-409.
- [17] 刘维, 陈芬, 陈雨, 潘建建, 范芝兰, 陈建西, 李晨. 粤北普通野生稻表型多样性研究. *广东农业科学*, 2010, 37(8): 21-24.
- [18] 曾杰, 郑海水, 甘四明, 白嘉雨. 广西西南桦天然居群的表型变异. *林业科学*, 2005, 41(2): 59-65.
- [19] 肖海峻, 徐柱, 翟利剑, 李玉冰, 谢继红, 孟利前. 鹅观草居群表型多样性研究. *西北植物学报*, 2007, 27(11): 2222-2227.
- [20] 张彩霞, 明军, 刘春, 赵海涛, 王春城, 单红臣, 任君芳, 周旭, 穆鼎. 岷江百合天然群体的表型多样性. *园艺学报*, 2008, 35(8): 1183-1188.
- [21] 杨生超, 徐绍忠, 文国松, 刘有贵, 萧凤回. 灯盏花种质资源群体表型多样性研究. *西北植物学报*, 2008, 28(8): 1573-1579.
- [22] 贾琳, 陆巧玲, 虞泓. 泸定百合遵义居群与牟定居群的遗传多样性研究. *云南大学学报: 自然科学版*, 2003, 25(增刊): 84-90.
- [23] 明军, 顾万春. 紫丁香表型多样性研究. *林业科学研究*, 2006, 19(2): 199-204.
- [24] 周世良, 张方, 王中仁, 洪德元. 杭州石芥苎和石香薷的遗传多样性研究. *遗传学报*, 1998, 25(2): 173-180.
- [25] 陆景伟, 王赞, 严欢, 裴玉红, 高洪文. 内蒙古中部地区小叶锦鸡儿天然居群表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(1): 77-80.
- [26] 邹喻苹, 葛颂, 王晓东. 系统与进化植物学中的分子标记. 北京: 科学出版社, 2001.
- [27] 李昂, 葛颂. 植物保护遗传学研究进展. *生物多样性*, 2002, 10(1): 61-71.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 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: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 70.00 元