

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

濒危兰科植物再引入技术及其应用

陈宝玲^{1,2}, 宋希强^{1,2,3,*}, 余文刚^{1,2}, 陈建伟⁴, 罗毅波³

(1. 海南大学热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室 儋州 571737; 2. 海南大学园艺园林学院, 儋州 571737
3. 中国科学院植物研究所系统与进化植物学国家重点实验室 北京 100093; 4. 国家林业局濒危物种进出口管理办公室 北京 100714)

摘要:稀有、濒危植物的再引入,是在条件成熟时,把经过迁地保护的人工繁殖体重新放回到它们原来自然和半自然的生态系统或适合它们生存的野外环境中去,重建较为完善的生态系统。再引入技术的目标在于提高生态系统生物多样性及群落稳定性,建立可自我维持种群,它是继就地保护和迁地保护等保护策略之外的一种新兴的珍稀濒危植物保育方式。国际上再引入技术的研究刚起步,高度成功的还不多,目前可借鉴的成熟经验较少。通过分析国内外已经开展的若干珍稀濒危植物再引入技术案例,重点介绍国内外濒危兰科植物再引入的研究现状、技术体系和评价标准,讨论了再引入技术的类型和方法,并总结了可能影响再引入成败的制约性因素,分析了适用于兰科植物的再引入技术要素。由此提出濒危兰科植物再引入的重要现实意义,为今后的规模化人工栽培提供科学依据,同时有利于指导其他濒危植物再引入技术规程的制定。

关键词:濒危植物;生物多样性;再引入;兰科菌根真菌

Re-introduction technology and its application in the conservation of endangered orchid

CHEN Baoling^{1,2}, SONG Xiqiang^{1,2,3,*}, YU Wengang^{1,2}, CHEN Jianwei⁴, LUO Yibo³

1 Key Laboratory of Protection and Developmental Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources (Hainan University), Ministry of Education, Danzhou 571737, China

2 College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Danzhou 571737, China

3 State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, CAS, Beijing 100093, China

4 CITES Implementation Office of China, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

Abstract: Re-introduction method, introducing the human-bred seedlings of a species into its natural distributed area, can effectively conserve the endangered and rare species in natural situation and may help to reconstruct a degraded ecosystem associated with species loss. Re-introduction aims to improve ecosystem diversity and community stability, to rebuilt sustainable populations, and consequently to become an effective method in conservation of endangered and rare species, as well as the early-developed conservation methods including *in-situ* and *ex-situ* conservation methods. Re-introduction has been developed internationally for a relatively short time with little highly successful case, which could mainly attributed to inappropriate environmental factors in the reintroducing sites and lack of knowledge about the biology and ecology of the target species. In present paper, by reviewing several re-introduction case-studies and some criterions of international organizations of plant conservation, we discussed the detailed technology and evaluation of the effectiveness about the re-introduction method (mainly focus on endangered Orchid) and summarized the main feasible conditionality of a successful re-introduction. A better understanding of the biology and ecology of the conserved plant and the selection of proper reintroducing sites are emphasized as major elements for the success of re-introduction. Furthermore, the main types and elements of re-introduction method in orchid conservation are also explained. We pointed out that the re-introduction of endangered and rare orchids is particularly difficult since they are often having a deep symbiosis with other organisms such

基金项目:国家自然科学基金(30860233); 国家科技支撑计划(2008BAC39B05); 霍英东青年教师基金(11029)

收稿日期:2009-11-07; **修订日期:**2010-09-21

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

as fungi and host plants. Before re-introduction of an orchid is carried out, we should provide the mutualist either in the environments or implanting into the conserved orchids, as well as constructing the suitable conditions in introducing sites for them. Finally, we proposed some future developments of re-introduction method, which can be used as a guide to the species conservation in a larger scale, not only for the orchid but also for the other species.

Key Words: endangered plant; biodiversity; re-introduction; orchid mycorrhizal fungi

20 世纪以来,全球生物多样性面临着自身进化和人类活动严重干扰的双重威胁。随着人类社会工业化进程的加速,消费需求的增加,森林资源受到不同程度的破坏,这些致使一些植物种类受到威胁甚至趋于绝灭,大量具有重要农、林、医药、园艺等价值及具有潜在价值的植物种类正在迅速消失。兰科植物由于其重要的观赏价值和很高的药用价值,目前野生资源破坏极其严重。全世界的兰科植物 Orchidaceae 约有 700 属 20000 多种^[1],其中兰属植物(*Cymbidium*)在我国有近 2000 年的栽培历史,许多种类如天麻(*Gastrodia elata*)、铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)等兼具很高的药用价值^[1]。近年来,由于人类活动的干扰和破坏,如砍伐天然植被、过度放牧、火灾干扰、人为践踏及过度采挖等行为,正使得植物居群萎缩,生境破碎化,物种扩散受阻^[2-3]。此外,兰科是典型的菌根植物,在种子的早期萌发,幼苗生长发育和成年时植株的部分营养元素的获取均需依赖兼性真菌的侵染^[4]。有的兰花种子甚至可以在原地保存好几年,当遇到合适的萌发条件时,种子才恢复活力开始萌发^[3],因此,一个特定地点在 5a 内由蒴果萌发成幼苗的几率一般低于 5%^[5]。由于人为破坏和自身的生物学“瓶颈”,兰科植物濒危形势变得十分严峻。濒危物种的保护和研究已经成为世界普遍关注的热点问题,重建种群和原有的生境及生态系统,积极开展濒危植物的保护生物学研究迫在眉睫^[6]。

目前,珍稀濒危植物的保护主要有就地保护、迁地保护和再引入 3 种常见的保护方式(表 1)^[7-11]。再引入也称“回归”、“重引入”,是指有意地将某些已经在野外消失或者由于某种原因而灭绝的物种及稀有物种重新引入到它们原来的自然和半自然的生态系统或适合它们生存的野外环境中,以使其最终成为或强化为可长期成活的、自行维持下去的种群^[10-12]。再引入是一项长期的生态恢复工作,是联系稀有濒危植物迁地保护与就地保护的一座重要桥梁,也是迁地保护的稀有、濒危植物的最终归宿^[10]。根据再引入区域该种的分布情况,人们将再引入的技术类型划分为增强型再引入、引种型再引入及重建型再引入等方

表 1 珍稀濒危植物保育的 3 种主要保护方式^[7-11]

Table 1 Three methods about the conservation of rare and endangered plants^[7-11]

	目标 Destination	保护对象 Protect target	保护地形式 Sites	保护类型 Types	材料来源 Materials	三者关系 Relations	现实意义 Significance
再引入 Re-introduction	提高生态系统生物多样性及群落稳定性,建立可自我维持种群	已经在野外消失或灭绝的物种及珍稀濒危物种	历史区域、现有生境及相似生境	增强、重建、引种	主要源于迁地保护的种质保存和繁殖	生物多样性保护的重要形式,就地保护的重要辅助方法	恢复生态系统,为多种其它生物提供生存与发展的条件,同时唤起公众保护自然的热情
就地保护 in-situ conservation	保护野生生物种群及生境	珍稀濒危物种、特有种以及生态系统关键种	现有自然环境,如自然保护区、森林公园等	原地保护	自然生态系统中本地的种子或芽	生物多样性保护的最重要形式	保护有价值的自然生态系统和具有珍稀濒危植物分布的区域及关键物种
迁地保护 ex-situ conservation	收集、保护、开发和利用多样性的植物,为重建野外种群做准备	极度濒危或已灭绝物种及珍稀、重要的植物资源	自然生境之外,如活体栽培、种子库、离体保存、DNA 库等	异地栽培及离体种质贮藏	收集,引种	生物多样性保护的重要形式,就地保护的重要补充,再引入材料的收集和培养	珍稀濒危植物的避风港,物种重返自然的来源以及今后栽培物种繁殖计划的主要遗传物质储存库

式^[10-11]。目前,再引入是稀有濒危植物就地保护的一种重要的辅助方法,尤其是对那些由于人类干扰、过度采集和捕获及栖息地破坏等原因趋于绝灭的种类,再引入通过积极提高和促进各学科信息、政策的交流,迅速成为恢复广泛多样的动植物种类和种群的重要手段,唤起了大众对濒危植物保育工作深切的人道关怀,然而,当前关于再引入技术的研究却开展较少,全球生物多样性亟需一套将濒危植物再引入其原生生境的有效技术路径。

1 濒危植物再引入研究现状

近年来,国际上许多野生动物保护组织在积极地进行物种的再引入工作,以挽救濒临灭绝的珍贵野生动物种。1987 年美国恢复生态学会成立,决心兴起重建、再生、再创和再占据的生态工程^[6]。目前已有 25 个国家正在进行着 250 个再引入的项目,涉及的物种有鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、哺乳动物、植物等濒危种类,其中植物种类约有 35 科,涵盖菊科 Asteraceae、豆科 Leguminosae、梧桐科 Sterculiaceae、仙人掌科 Cactaceae、龙胆科 Gentianaceae 等^[12]。植物的再引入在全球刚起步,是一项新兴的且长期有效的生物多样性保护工程。世界自然保护联盟(IUCN)编印的第 1 本《物种回归指南》距今仅 10 余年。相比而言,发达国家的再引入开展的相对较早,尤其是美国、澳大利亚、新加坡、英国、法国等国家,在植物的再引入研究中做了许多探索和较大的贡献。凤尾蕨(*Fissidens pauperculus*)的再引入组织认为了解其生物学特性是选择适生环境和恢复其种群的基础^[13]。而从再引入材料方面考虑,多选择野生残余植株的种子及块茎或种子萌发的幼苗,如:花毛茛(*Ranunculus aestivalis*)的种子、幼芽和根经过在试管内增殖大量的个体,保存在试管内运送到植物园,然后再引入至保护区,通过多级适应性炼苗驯化,第 1 个夏天后原地数量增加约 6 倍,存活率达 92.8%^[14];但花毛茛再引入出现部分苗的死亡是由于试管苗生根不够充分,且受病虫害干扰,然而组织培养这种克隆繁殖途径在初期的精心管护(如补水)和监测下对维持小种群却是可行的^[14]。此外,再引入种群的选址一般选择该稀有种群的邻近地或者历史区域,必要时做一些人为干扰以营造适生生境并便于后期管理。如:松果菊(*Echinacea laevigata*)在被再引入前 18 个月就开始对选择的 3 个生境进行了火烧处理,并于 3 个月前清理竞争性林木,然后才引入了 100 株 1 年生植株和 300 粒种子及该物种的其他 4 种人工繁殖的同生境植物,以期营造一个合适的生境和合理的生态群落^[15]。再引入后的管理和监测中的定期水分管理也很必要,一般前 6 周每周灌水 1 次^[14],唇形科植物(*Dicerandra immaculata*)则是用与水化合的凝胶颗粒(类似于保水剂)一起种植于可以吸收足够水分的地点,根据当地降雨情况持续近 2 个月的定期灌溉^[16]。再次,再引入前的植物病虫害检疫非常重要,引入后还需与现存种群隔离,防止杂交^[15]。因此,引入大量的苗,优化植株的最初大小,并了解该种的生境需求以仔细选址,再选择适当的时机再引入,这些构成再引入成功的重要影响因素^[14]。再引入结果的评价是一项长期的工作,除了评价其适应性和成活率,更应包含开花、结实过程以及随着时间的推移出现较大数量的新苗作为补充,建立可自我维持的种群。马缨丹(*Lantana canescens*)在再引入后 15—18 个月时,成活率最大,达到 84%,新苗的补充也是最多^[17]。

我国濒危植物的再引入研究工作起步较晚,开展的多是保育生物学中的种群恢复或重建及再引入的初期探索性研究。陈芳清等^[18]对濒危植物疏花水柏枝(*Myricaria laxiflora*)设多个移栽地,分别从不同的地点采集移栽材料,以生长旺盛、繁殖力强、遗传性状稳定的 3—10 年生植株为主,在三峡库区开展种群重建研究,经长期监测发现种群恢复较好。随着生物技术的迅速发展,近年来,组培快繁技术为再引入工作的开展提供了快捷、方便且质量优良的种苗,进一步推动了再引入工程的发展。中科院华南植物园科研人员模拟国家一级濒危植物报春苣苔(*Primulina tabacum*)的野外生长环境,解决了诱导生根的难题,再将利用生物克隆技术培育出的 400 多株报春苣苔再引入到其原生地广东连州地下河景区开展重建种群,这对保存该物种及我国其他珍稀植物的“解濒危”有非常重大的意义^[19]。深圳市兰科植物保护中心的科研人员经过 5a 多的试验,采用原产地野外生态观测与“迁地保护-繁育-再引入原产地”相结合的技术手段来恢复杏黄兜兰(*Paphiopedilum armeniacum*)野生居群,将我国国际一级保护濒危物种杏黄兜兰在世界上首次成功再引入大自然,探索出濒危物种保护的有效途径^[20]。2007 年 12 月,国家林业局把仙湖植物园成功扩繁的恐龙时代“活化石”——德保

苏铁(*Cycas debaoensis*)再引入到广西的自治区级黄连山自然保护区,德保苏铁回归自然工作的正式启动,标志着我国珍稀濒危植物的保育工作已由单纯的就地保护发展到以迁地保护促进就地保护的新阶段^[21],而且迁地培育的成熟经验可以确保再引入栽植的成活。2009年11月,国际植物园保护联盟(BGCI)资助的我国特有树种、珍稀濒危植物珙桐(*Davidia involucrata*)再引入项目正式启动,在湖北佛宝山再引入500株珙桐,以此改变其目前的生存状况,维护生物多样性^[22]。尽管先前的再引入只是对这些优先保护的物种开展的零散工作,且高度成功的较少,但随着濒危物种消失的脚步加速,人们已经开始深刻认识到人与自然和谐共存的真谛,从此,在原生分布区域重建物种种群的呼声日益高涨,继而引发了一系列的濒危物种繁殖和移入工作的尝试和探索。基于兰科植物研究濒危植物的再引入技术,将惠及兰科植物及其以外的其他珍稀物种的保育。

2 濒危兰科植物再引入技术体系

2.1 可行性研究

濒危物种的再引入涉及到重建种群的生理生态适应性、遗传风险、基因污染及资金投入等一系列的问题,因此,再引入前的可行性分析非常重要。详细的生态学研究为评价该种与再引入生境的关系及该种灭绝后其生境变迁的程度提供基本依据。涉及到再引入的植物必须是原种,或者和原种最近缘的种群和分类群,最好是该区域以前同族的种类^[23]。对那些已经灭绝很久的种群,调查已丧失个体的历史信息,结合分子遗传学研究来确定这些个体的分类地位;如果再引入区域尚存在野生种群,要对其生物学特性及分类详细研究,包括对生物学及非生物学栖息地的需求、扩散机制、繁殖生物学、共生关系(如共生关系及传粉者)、捕食昆虫及病害等;对于已经得到人工培育和栽培的种类需考虑其个体的适应性变化,以确定它们重新适应其传统栖息地的能力。如:National Parks 和 Wildlife Service^[2]对濒危蜘蛛兰属植物(*Caladenia concolor*)及其同属的2种兰花通过详细调查其生理生态、生境、伴生物种及人口少的地方潜在种群情况等,确定了扩大该物种再引入到其他潜在生境的可能;南澳大利亚对12种全国性濒危的地生的野生兰花种群恢复前对其进行严格的历史分布点和适生生境调查,并建立生境数据库和GIS模型,定位其潜在生境及其种群分布^[3];杏黄兜兰在次生林、人工林、人工迹地、草坡中甚至裸露岩面上再引入的植株生长较好^[24],表现了一些杂草的特性,在生长中需要人为的给予一定扰动,作为濒危物种的保护要充分考虑到这些生物学特性。此外,再引入个体种群的建立应在多种条件下建模,以便确定每年再引入的最佳数量和每年可自我维持种群的个体数量,必要时需深入研究先前相同或相似种类的再引入,广泛与相关专家交流,从而改进再引入计划。另外,尤其是因人为破坏而开展的再引入还需通过解释和宣传教育来改善周边社区群众的认识 and 态度,从而认同再引入的社会意义和生态价值,当然,获得较多的资金支持对完成项目计划及后续阶段的工作非常关键。

2.2 再引入的类型和方法

BGCI(国际植物园保护组织)根据自然生境是否分布有要再引入的植物而把再引入分成3类,即增强型再引入、重建型再引入和引种型再引入^[10]。增强型再引入是通过再引入增大生境中的现有种群;重建性再引入是以再引入的手段扩大原生境中已经消失的种类的分布范围;引种型再引入是把物种再引入到合适的生境中,不需清楚该生境以前是否有再引入物种分布。在再引入的实践中究竟采用何种类型的方法,应该以再引入物种、再引入的自然生境以及项目支持强度而酌定。

BGCI根据植物材料将再引入的方法归纳为在自然生境中直接播种的方法、经苗圃繁殖的苗木的移植方法和在生境中创造条件以促进土壤中残存种子的萌发、生长或有利于外来物种的传入等^[10]。近年来植物克隆繁殖技术已经很成熟,足以为再引入提供种苗支持,但组培苗基因源缺乏多样性,野外生存能力比较脆弱。植物与环境因子是相互依赖、彼此制约的,研究证实,共生真菌可以通过根际激发效应影响植物的C、N利用效率,改变营养元素在地上和地下的分布格局^[25],从而有效促进植物的生长。兰科植物的种子储藏的养分极少,自然条件下,在果实开裂的5个月内,只有当种子具有适合的气候条件并遇到有益真菌的侵染时才能萌发^[3],即便是可以进行光合作用的成年植株,也多寄生于VA菌根获得营养^[26]。菌根技术无疑成为具有典型菌根特性的兰科植物再引入技术中的一个突破点,Ramsay^[27]通过集中调查有潜在共生真菌的生境再引入构

兰(*Cypripedium calceolus*)来提高小苗成活率,但此种方法的工作量较大且周期长。Quarmby^[3]采用组织分离法从兰科植物的肉质根中分离出内生真菌,通过与种子共生萌发和试管栽培等试验来评估所分离菌的有效性,回接有益共生菌到兰科植物试管苗中,极大的提高了移栽到野外的成活率。Batty 等^[28]认为共生萌发是产生苗的最好方法,精心培养优质的种苗及休眠球茎,可有效的提高地生兰移栽成活率。此外,在培养瓶中无菌培养与土壤栽培之间增加一中间阶段(温室内),能够有效提高实验室内共生萌发的地生兰幼苗移栽到土壤中的成功率^[29]。Stewart^[30]发现短唇绶草(*Spiranthes brevilabris*)在接菌后的改良的燕麦培养基(MOM)中种子最早可在第10天萌发,在41d时萌发最多,而不接菌的萌发率小于2%,并且种胚形成后不再发育。此外,他将无菌播种55d并有叶长出的短唇绶草移入温室里的灭菌土壤中接菌,继续培养78d后再引入到现有区域、历史区域及适生区域的自然灌丛中,1个月内成活率达100%,6个月内已经有9.9%的植株开花。北美已经尝试了少量种类的共生繁育技术研究,甚至把它作为长远的指导本土其他兰花的恢复计划的重要手段,虽然目前成功的指数不高,但它为提高再引入的成活率提供了一道技术保障^[3]。因此,通常在兰花种质保存的同时还应保存这些有益真菌。然而,也有研究发现在一个地区移栽的地生兰科植物实生苗的存活率与该地区本种植物的丰富度和是否有合适的共生菌关系不大^[31],这可能与兰科植物的种类、生活型及其移栽地土壤的营养丰富度等特性有关。

2.3 再引入的植物种苗的质量要求及最佳再引入时机选择

理论上讲,濒危与非濒危植物都可以开展再引入,而珍稀濒危植物是生物多样性的优先保护对象,且以全球范围内稀有和具有重要经济、文化或生态意义的种类优先^[10]。除了IUCN建议的那些珍稀濒危植物,必须是原来种类的相同种系,还需注意其遗传组成。因此,再引入一般由就地保护和迁地保护提供种源^[2],以健壮的实生苗或种子为再引入的载体进行植物资源的生物学、生态学特性以及它们的保护和持续利用的研究,因为它们具有较强的生命力,能较好地保持其遗传多样性及保证正常生长,且可较大程度上避免对再引入生境的危害。较早些的再引入多尝试以种子扩繁植物种群,种子借助风力传播到适合生存的生境,但近年来多通过无菌播种扩繁种苗^[3]。种苗的形式及质量对再引入的成活率有着极大的影响。James^[32]发现异交授粉的种子更有利于再引入的成功;Batty 等^[29]试验得出苗的大小对其成活率也有很大的影响,一般大的植株产生的球茎较大且数量较多,更易度过夏季休眠,当然也可选择1年中不同时期、不同龄段的幼苗及球茎比较进行来确定合理的再引入途径^[32];雷莉亚兰(*Laelia crispa*)的再引入选择6个月大的试管苗在严格的高山气候下炼苗2个月,生长旺盛后取25株再引入亚特兰大高山雨林里靠近母株的森林灌丛腐殖质土中^[33];Alley 等^[15]证实裸根苗也可以开展再引入,不过后期的管理难度较大些;老虎兰(*Grammatophyllum speciosum*)再引入时发现30—40cm高,具有16—20片叶,至少带有3个芽且具有良好根系和肉质假鳞茎的组培驯化苗更易成活^[34]。究竟选用何种种苗形式,应根据兰科植物的生物学特性,并以最大的野外成活率和生理生态适应性为标准,多角度衡量和选择。

迁地保护中的珍稀濒危植物在人工条件下经过多代繁殖,可能会丧失一定的繁殖和自卫能力,或因种群太小而产生的基因漂变等削弱了它们的生命力。因此,珍稀濒危植物再引入的时机也很关键,一般选择迁地保护很成功的时候再引入,借助迁地保护的成熟经验来制定科学合理的再引入技术规程,在已繁殖的植物材料准备充足的情况下,即可选择合适的生境和恰当的时机将珍稀濒危植物再引入自然环境,一般在雨季前或者雨季再引入种苗^[30]。在鼎湖山,桫欏(*Alsophila spinulosa*)、格木(*Erythrophloeum fordii*)、观光木(*Tsoongiodendron odorum*)、长叶竹柏(*Podocarpus fleuryi*)、鸡毛松(*Podocarpus imbricatus*)等便是经过迁地保护大量繁殖后再引入到森林的各种自然生境中^[35]。

2.4 再引入地选址要求

IUCN于1984年对于植物再引入的生境提出了要求,即优选致濒因素已经解除或大部分解除的地方及满足该物种生存需要的生境进行再引入。因此,为了保证再引入物种正常的生长、发育和自我维持,最好是选择它们原来的生态系统,或者尽量选择与原来的生态系统相似的群落或生境,即一般选择该种的历史分布区域、

现有生境及相似生境。人工繁殖的紫纹兜兰(*Paphiopedilum purpuratum*)植株在 400—500 m 海拔范围内选择与三洲田紫纹兜兰原产地相似的环境进行再引入,经定期观察表明,其生长状况,特别是新根生长、分蘖芽的萌发、开花结果等均与原产地相同^[36]。此外,再引入地区还应有足够的容纳量,来承载再引入种群的增长^[7],并在达到繁殖年龄后利于在此生境中自我更新。一般选择公园、自然保护区、市中心道路旁的大树上及岛屿开展再引入试验^[34],在通风且利于种子传播的地方引入选定的植物。若引入次生林则要考虑地面湿度,伴生物种及有其他附生植物(如蕨类、地衣苔藓等)出现的微环境^[33]。此外,再引入的地点必须有传粉昆虫出现,*Diuris fragrantissima* 的花期与其伴生的同期开花植物相似,开花时双方可共用传粉者^[32]。微环境的选择也应科学合理的规划,万代兰(*Vanda spathulata*)在野外布置了海拔、温度及透光度差异较大的两个区域,固定植株于树木的不同高度,来确定适合的再引入微环境^[37-38]。总之,再引入地选址需遵循光温、水湿条件等“气候相似”的原则,及一定的气候条件下遵循“生境相似”的原则和一定的生境中的“植物群落”的原则。

2.5 再引入后的管理和监测

再引入后要必要的人工调控,定期监测其成活情况及适应性,使进入自然群落中的稀有、濒危植物能与其他物种协调、互利,表现出一定的竞争力,并且要及时对幼苗更新受阻的再引入物种开展种群的补值和增援。长期监测是长远释放及确定再引入计划成功与失败的需要,监测的目的除了为再引入的最终效果的评价提供依据,还要为改进后期管理措施提供指导,也是今后人工模拟野外生境大规模繁殖有经济价值的濒危物种的生物学基础研究。监测时间要根据再引入植物种类的生活型特征决定,可能要延续至再引入的种群达到正常繁殖的年龄。目前野生动植物的保护和管理,多结合“3S 技术”、网络技术、计算机技术和数学模型联合研究种群时空动态、潜在数量,预测适宜生境,以便个体定位,实现远程长期监测、管理。动物具有移动性,初期和长期监测难度大,在再引入研究中多通过无线电遥测技术对释放的个体进行跟踪监测,借鉴动物再引入的某些成熟技术指导植物再引入是非常有现实意义的。植物再引入后可以通过探针、遥测、微气候监测等方式,对其数量统计,并进行生态学和性状研究,如成活率、生长量、生物气候及再繁殖等因素以及再引入植物到达繁殖年龄后的自然传粉的发生过程,以此来检测个体及居群的长期适应性和成活率。在必要时还需人工协助其生存,例如对再引入地进行生态环境的优化,清除杂草,防治病虫害,定期补植,人工动态监测及花期适当人工授粉等,以实现从“苗—种子—苗”的过渡和正常的繁衍生息,重新建立稳定的种群。老虎兰再引入野外后,每年进行监测,待到新芽冒出,根系扒紧树干,则已经预示本次再引入会有较好的效果^[34],Scade 等^[31]通过长期监测发现经过试验室培养 5 个月的 6 种兰科植物实生苗再引入到澳大利亚西部的灌丛林中后,在生长期由于昆虫等原因,野外存活率下降到 49%—21% 之间,而且那些不具地下茎或块茎的种类在旱季生存率急剧降低,个别种在旱季之后的生存率仅达到 10%。Batty 等^[28]发现 *Caladenia arenicola* 和 *Pterostylis sanguinea* 在开始移到野外时成活了,但是在第 2 个生长季再监测时只有 *P. sanguinea* 仍幸存,说明随着再引入时间的递增,受生存环境和种苗自身素质的影响,其成活情况和适应能力都可能出现不同程度的变化。因此,再引入后的监测是一项长期的管护工作,适时的跟踪其健康状况、数量变化等指标,研究一般不少于 5a。

3 濒危兰科植物再引入评价标准

再引入的效果评价以是否达到再引入的目标为标准,并以再引入时的形态学基础数据记录和监测结果为主要依据。最基本的标准是在植株达到繁殖年龄时可以实现从种子到种子的过渡,对生境无害且能自我维持,还有利于增加群落的生物多样性。最终标准是在再引入后较长时间中具有维持其遗传多样性的足够大种群且种群结构合理,而再引入植物也能够正常参与群落的生态系统过程。植物专家许再富针对再引入自然生态系统和物种本身提出了衡量植物再引入工程的成功指标,即恢复野性,能够在野生自然环境中自我生长,繁殖后代,并能够融入自然形态,参与生态系统,不危害现存环境^[10]。因此,一般要过 10a 左右的时间才能鉴别出此次植物的再引入是否成功。

影响兰科植物成活的外界因素很多,例如移栽地点(如坡向、荫蔽度等)、杂草遮盖度以及兰科植物自身生物学特点等^[31],小生境如微气候(湿度)、寄主树干的质地、有无其他附生植物以及种质基因是否具有多样

性等^[34]。一般而言,高湿度的区域更易促进苗的成活,粗糙且保水的树皮更适合兰花的生存,同时,有其他附生植物的树干更受兰科植物喜爱,而且种苗基因型多样有利于植物更好的适应野外环境。兰科植物的再引入评价标准随植物的种类、特性及其适应性表现不一,基本要求是要体现生命和生长特征。雷莉亚兰在再引入3个月后已有12株的假鳞茎生长明显,2a后有17株开花并与母株的个体回交,无需人工授粉^[33];万代兰在雨季开始生长,再引入4个月基本长出1—2片新叶^[37-38]。

4 展望

4.1 再引入迅速成为野生动植物管护的工具

兰科植物的保育事业正备受瞩目,目前全世界所有的野生兰花种类均被列入了濒危野生动植物国际贸易公约(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES),同时我国已将兰科植物全部物种纳入了《中国物种红色名录》^[39],并已经将其列为国民经济和社会发展第10个五年计划纲要中野生动植物拯救工程中的15大物种之一,第1个以兰科植物为主要保护对象的自治区级自然保护区——广西雅长兰科植物自然保护区也于2005年成立^[40]。然而,就地保护和迁地保护都只是一个暂时的挽救措施,要使兰科植物“集体走出”濒危行列,再引入技术无疑是解决问题的根本并逐渐成为国际上行之有效的保护方式,该保育方式不仅保护了目标植物,也保护了一个生存境地和一个合理的群落系统。如今,再引入正迅速的被用作野生动植物管理的工具,逐渐覆盖广泛多样的植物种类,未来将出现再引入数量和植物种类的剧增,生境恢复和多元化种类的再引入会越来越普遍,公众对自然保护问题的意识将逐渐提高。

4.2 再引入技术渐成体系

保护野生种群数量是前提,消除其周边的威胁因子是重要的辅助,其野外历史区域和现在区域分布的详细调查是基础。再引入技术的难点在于生存空间的保证、生境恢复、改造和植被控制、种群和生境监测等,因此,研究中需要侧重于再引入地的选择和生境评价及生境适应性因素的探讨。此外,针对人工繁殖的的克隆后代在野外适生性差的现状,动物的再引入多采取“软释放(soft release)”——在释放地点放置让其适应环境的笼舍^[7],也叫预释放。同理,组培快繁的植物幼苗在实现真正的再引入之前也要给予适当的再引入地半野生栽培,或者先在苗圃内模拟野外小生境的附主或者基质开展适度驯化,人工可控的逐步引导其适应环境,以提高再引入的成功系数。兰科植物的再引入技术还处于探讨阶段。针对兰科植物种子的特性,多采用无菌播种获得大量组培苗引入野外。但组培苗定植难,成活率低,较难适生于当地生态系统,这时兰科菌根真菌可以为其提供部分矿物质营养和水分,而对于石斛、天麻等药用兰花,共生真菌的侵染及其代谢物还可以提高药效。故此,分离筛选出优势的功能性内生真菌,如壮苗的、生根的、促分蘖的及具有与药用兰花相似药效等特性的优势菌,再回接到组培苗根部,等到侵染成功后选择适于菌根苗生长的环境开展再引入,这种菌-苗互惠共生的体系将是提高再引入的种苗质量和后期成活率的一个技术亮点。

4.3 植物再引入的现实意义及可能存在的问题

一套有效的再引入工序及原产地种群长期监测系统一旦建立,其初期的种群动态反映了种群发生、发展的基本规律,同时也预示种群的发展趋势。通过对恢复种群动态的研究,可以加深对物种生物学特征的了解,并对恢复的结果进行初步评价^[41]。蜘蛛兰属及兜兰属等兰科植物的再引入研究,不仅对这些兰科植物本身的保护和将来的持续利用有深远的意义,而且向全世界公众表达了人类与大自然协调发展的可能性和必要性。再引入技术是一门新的正在摸索的技术,其中动物的再引入已经有了一定的进展,而大多数植物对环境条件的要求并不苛刻,并且植物具有多样化的繁育系统,其自然生殖和人工繁殖都比动物的容易,因此再引入阻力较小。然而,遗传风险问题不容忽视,盲目的引种、不合理的定植以及材料的来源不清则会导致稀有濒危植物的遗传混杂、近交衰退或杂交衰退;人为选择和生长环境的改变也容易造成濒危物种对迁地保护的遗传适应,当7种稀有植物从富钙的石灰岩地区引种到植物园的酸性土壤中后,在形态和生活史等方面发生了不同程度的变化^[42],这些改变会对物种的再引入产生什么样的影响还是未知。IUCN建议再引入前要在濒危物种的原产地就近进行迁地保护并避免人为的选择。因此,找到一个平衡点,将再引入过程中可能遇到的各种

遗传风险控制在最低限度将是今后需长期关注的问题。

致谢:感谢新加坡植物园 Yam Tim Wing 博士提供相关文献,中国科学院武汉植物园任明迅博士对本文写作的帮助。

References:

- [1] Luo Y B, Jia J S, Wang C L. A general review of the conservation status of Chinese orchids. *Biodiversity Science*, 2003, 11 (1): 70-77.
- [2] National Parks and Wildlife Service. Draft Recovery Plan for the Crimson Spider Orchid (*Caladenia concolor*), the Bethungra Spider Orchid (*Caladenia* sp. *Bethungra*), and the Burrinjuck Spider Orchid (*Caladenia* sp. *Burrinjuck*). Hurstville NSW: NSW nationalparks and Wildlife Service, 2002.
- [3] Quarmby J P. Recovery Plan for Twelve Threatened Orchids in the Lofty Block Region of South Australia 2007 — 2012. South Australia: Department for Environment and Heritage, 2006.
- [4] Dearnaley J D W. Further advances in orchid mycorrhizal research. *Mycorrhiza*, 2007, 17: 475-486.
- [5] Ramstetter J M. *Triphora trianthophora* (Swartz) Rydb. Three-birds Orchid. New England Plant Conservation Program Conservation and Research Plan, 2001: 1-26.
- [6] Qi C J. A review of conservative biology. *World Forestry Research*, 1997, 2: 21-27.
- [7] Pullin A S. Conservation Biology. Cambridge: Cambridge University Press, 2002: 200-229.
- [8] Wan K Y, Chen F, Li Z Z, Gu Q, Wu C Y, Yu C B. The nutrition condition of endangered mechanism and conservation strategy of rare plants. *Ecology and Environment*, 2004, 13 (2): 261-267.
- [9] Li J, Shao J Z. A study of dynamics of exsitu conservation population of endangered plant *Qryza rufipogon*. *Journal of Hubei Normal University (Natural Science)*, 1999, 19 (1): 31-34.
- [10] Xu Z F. Principles and Methodologies of Ex Situ Conservation for Rare and Endangered Plants. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1998: 46-63.
- [11] Chen F Q. Study on population biology and reintroduction of an endangered species *Myricaria laxiflora*. Beijing: Institute of Botany Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [12] Krishnamurthy K V compile//Zhang Z W translation. Textbook of Biodiversity. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1-162.
- [13] The Poor Pocket Moss Recovery Team. Recovery Strategy for the Poor Pocket Moss (*Fissidens pauperculus* M. Howe) in British Columbia. Victoria: British Columbia Ministry of Environment, 2007.
- [14] Pence V, Murray S, Whitham L, Cloward D, Barnes H, Van Buren R. Supplementation of the autumn buttercup population in Utah, USA, using *in vitro* propagated plants//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008: 239-243.
- [15] Alley H, Affolter J M, Ceska J F. Recovery of smooth coneflower in the Chattahoochee National Forest, Georgia, USA//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008: 244-248.
- [16] Peterson C L, Kaufmann G, Bradford J. An adaptive approach to translocating and augmenting the rare scrub mint to Savannas Preserve State Park, Florida, USA//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008: 249-252.
- [17] Possley J, Maschinski J. Re-introduction of hammock shrubverbena into South Florida//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008: 235-238.
- [18] Chen F Q, Xie Z Q, Xiong G M, Liu Y M, Yang H Y. Reintroduction and population reconstruction of an endangered plant *Myricaria Laxiflora* in the Three Gorges Reservoir area, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (7): 1811-1817.
- [19] The ectogenesis of endangered *Primulina tabacum* has been succeeded. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2007, 11: 39.
- [20] Lei S P. The endangered *Paphiopedilum armeniacum* has been successfully reintroduced in natural habitat. *China Green Times*, 2007.
- [21] Zhou R. Study on ex-situ conservation of wild plants under special state control in China. Haerbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [22] Hubei Province Forestry. The reintroduction project of rare and endangered *Davidia involucrata* was started. (2009-11-05) [2009-12-05]. <http://www.forestry.gov.cn/distribution/2009/11/05/zrbh-2009-11-05-877.html>.
- [23] SSC Re-introduction Specialist Group. IUCN/SSC Guidelines for Re-Introductions//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008: 78-284.
- [24] Liu Z J, Liu K W, Chen L J, Lei S P, Li L Q, Shi X C, Huang L Q. Conservation ecology of endangered species *Paphiopedilum armeniacum* (Orchidaceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (9): 2791-2800.
- [25] Wang S J, Ruan H H. Feedback mechanisms of soil biota to aboveground biology in terrestrial ecosystems. *Biodiversity Science*, 2008, 16 (4): 407-416.
- [26] Hope Hornbeck J, Reyher D J, Hull Sieg C, Crook R W. Conservation assessment for Southern Maidenhair Fern and Stream Orchid in the Black Hills National Forest South Dakota and Wyoming. United States Department of Agriculture, 2003: 1-40.

- [27] Ramsay M M. Re-establishment of the lady's slipper orchid in the UK//Soorae P S, ed. Re-introduction News. Newsletter of the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, Abu Dhabi: The United Arab Emirat, 2003, 22: 26-28.
- [28] Batty A L, Brundrett M C, Dixon K W, Sivasithamparam K. *In situ* symbiotic seed germination and propagation of terrestrial orchid seedlings for establishment at field sites. Australian Journal of Botany, 2006a, 54: 375-381.
- [29] Batty A L, Brundrett M C, Dixon K W, Sivasithamparam K. New methods to improve symbiotic propagation of temperate terrestrial orchid seedlings from axenic culture to soil. Australian Journal of Botany, 2006b, 54: 367-374.
- [30] Stewart S L. Successful re-introduction of the short-lipped ladies' -tress to Florida, USA; implications for the future of native orchid restoration//Soorae P S, ed. Re-introduction News. Newsletter of the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, Abu Dhabi: The United Arab Emirat, 2003, 22: 21-22.
- [31] Scade A, Brundrett M C, Batty A L, Dixon K W, Sivasithamparam K. Survival of transplanted terrestrial orchid seedling in urban bushland habitats with high or low weed cover. Australian Journal of Botany, 2006, 54: 383-389.
- [32] James E A. Saving the fragrant doubletail orchid depends on captive-breeding and re-introduction//Soorae P S, ed. Re-introduction News. Newsletter of the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, Abu Dhabi: The United Arab Emirat, 2003, 22: 18-21.
- [33] Miller D F, Warren R C. Re-introduction of orchid species to the high mountain Atlantic rainforest in the State of Rio de Janeiro, Brazil//Soorae P S, ed. Re-introduction News. Newsletter of the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, Abu Dhabi: The United Arab Emirat, 2003, 22: 23-24.
- [34] Yam T W. Conservation and re-introduction of the tiger orchid and other native orchids of Singapore//Soorae P S, ed. Global Re-introduction Perspectives: Re-introduction Case-studies from around the Globe. Abu Dhabi: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, The United Arab Emirat, 2008, 261-265.
- [35] Wang J h, Huang Z L. Endangered mechanism and protective countermeasure of the species in Dinghuo Mountain Biosphere Reserve. Journal of Jilin Agricultural University, 1998, 20 (2): 103-105.
- [36] Liu Z J, Zhang J Y, Ru Z Z, Lei S P, Chen L J. Conservation biology of *Paphiopedilum purpuratum* (Orchidaceae). Biodiversity Science, 2004, 12 (5): 509-516.
- [37] Decruse S W, Gangaprasad A, Seeni S, Menon V S. Micropropagation and ecorestoration of *Vanda spathulata*, an exquisite orchid. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2003, 72: 199-202.
- [38] Seeni S, Latha P G. In vitro multiplication and ecorehabilitation of the endangered Blue Vanda. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2000, 61: 1-8.
- [39] Wang S, Xie Y. China Species Red List (vol. 1). Beijing: Higher Education Press, 2004: 420-468.
- [40] Wei J K. The first wild orchids Nature Reserve have established in Guangxi Yachang. Guangxi Forestry, 2005, 4: 36.
- [41] Liu G H, Zhou J, Li W, Guo Y H. Population restoration of *Oryza rufipogon* II. population dynamics. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26 (3): 372-376.
- [42] Kang M, Ye Q G, Huang H W. Pay Attention to Genetic Risks in Plant Ex Situ Conservation. Genetic, 2005, 27 (1): 160-166.

参考文献:

- [1] 罗毅波, 贾建生, 王春玲. 中国兰科植物保育的现状和展望. 生物多样性, 2003, 11 (1): 70-77.
- [6] 祁承经. 保护生物学概述. 世界林业研究, 1997, 2: 21-27.
- [8] 万开元, 陈防, 李作洲, 谷祺, 吴彩云, 余常兵. 珍稀植物濒危机制及保育策略中的营养条件. 生态环境, 2004, 13 (2): 261-267.
- [9] 李今, 邵锦震. 普通野生稻迁地保护种群的数量动态研究. 湖北师范学院学报(自然科学版), 1999, 19 (1): 31-34.
- [10] 许再富. 稀有濒危植物迁地保护的原理和方法. 昆明: 云南科技出版社, 1998: 46-63.
- [11] 陈芳清. 濒危植物疏花水柏枝种群生物学和回归引种的研究. 北京: 中国科学院(博士学位论文), 2005.
- [12] Krishnamurthy K V 著//张正旺译. 生物多样性教程. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-162.
- [18] 陈芳清, 谢宗强, 熊高明, 刘彦明, 杨会英. 三峡濒危植物疏花水柏枝的回归引种和种群重建. 生态学报, 2005, 25 (7): 1811-1817.
- [19] 国家一级濒危植物报春苣苔人工培育成功. 广东农业科学, 2007, 11: 39.
- [20] 雷嗣鹏. 濒危物种杏黄兜兰成功回归自然. 中国绿色时报, 2007.
- [21] 周瑞. 中国国家重点保护野生植物迁地保护研究. 哈尔滨: 东北林业大学(硕士学位论文), 2009.
- [22] 湖北省林业局. 珍稀濒危植物珙桐物种回归项目在湖北利川市启动. (2009-11-05) [2009-12-05]. <http://www.forestry.gov.cn/distribution/2009/11/05/zrbh-2009-11-05-877.html>.
- [24] 刘仲健, 刘可为, 陈利君, 雷嗣鹏, 李利强, 施晓春, 黄来强. 濒危物种杏黄兜兰的保育生态学. 生态学报, 2006, 26 (9): 2791-2800.
- [25] 王邵军, 阮宏华. 土壤生物对地上生物的反馈作用及其机制. 生物多样性, 2008, 16 (4): 407-416.
- [35] 王俊浩, 黄忠良. 鼎湖山自然保护区的植物种濒危机制及保护对策. 吉林农业大学学报, 1998, 20 (2): 103-105.
- [36] 刘仲健, 张建勇, 茹正忠, 雷嗣鹏, 陈利君. 兰科紫纹兜兰的保育生物学研究. 生物多样性, 2004, 12 (5): 509-516.
- [39] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录(第一卷). 北京: 高等教育出版社, 2004: 420-468.
- [40] 韦健康. 广西雅长第一个野生兰科植物自然保护区挂牌成立. 广西林业, 2005, 4: 36.
- [41] 刘贵华, 周进, 李伟, 郭友好. 普通野生稻种群恢复的生态学研究 II. 种群动态. 植物生态学报, 2002, 26 (3): 372-376.
- [42] 康明, 叶其刚, 黄宏文. 注意植物迁地保护中的遗传风险. 遗传, 2005, 27 (1): 160-166.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

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