

我国近 30 年来植物迁地保护及其研究的综述

许再富, 黄加元, 胡华斌, 周惠芳, 孟令曾

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘要: 从 20 世纪 80 年代起, 中国植物园与世界植物园同步挑起了植物迁地保护的历史重担, 使植物园的数量迅速增加至近 200 个, 收集保存了占中国植物区系 2/3 的 20 000 个物种, 并在稀有濒危植物迁地保护原理与方法的科学研究上获得了新的进展。然而, 中国植物园的布局与世界的植物园一样, 物种越丰富的地区, 已建立的植物园越少; 在保存的物种中, 不仅忽视了遗传多样性的保护, 而且有约 1/3 的国家重点保护种类主要因适应性问题而生长不良、出现生殖障碍, 甚至死亡。为了提高我国植物迁地保护的有效性, 本文就《中国稀有濒危植物保护名录》的修订与公布、《中国植物保护战略》的制定, 以及我国植物园协调机制的建立、植物迁地保护网络系统的完善、稀有濒危植物迁地保护的规范等问题进行讨论。

关键词: 中国植物迁地保护; 近 30 年的进展; 评述与对策

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1009-3142(2008)06-0764-11

A commentary on plant *ex situ* conservation and its researches in China nearly thirty years

XU Zai-Fu, HUANG Jia-Yuan, HU Hua-Bin,

ZHOU Hu-Fang, MENG Ling-Zeng

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

Abstract: The number of botanical garden has rapidly increased to near 200 in China since 1980s due to shoulder heavy loads in plant *ex situ* conservation, 20 000 species of wild plants, two third of China's flora, have been cultivated in Chinese botanical gardens, and the researches on the principles and methodologies of *ex situ* conservation for rare and endangered plants have also made a mighty advance. The distribution pattern of Chinese botanical gardens, however has the same situation to the world, the richer species of plant where have, the less botanical gardens there are; and it is not only the genetic diversity being ignored, but also one third of protected rare and endangered species didn't growing well, having reproductive barriers and even death. In order to raise the effectiveness of plant *ex situ* conservation for China, the authors discuss on some strategies as the revising and announcing of "China's Protective Lists of Rare and Endangered Plants", working out the "China's Strategy for Plant Conservation", the construction of coordinative mechanism for Chinese botanical gardens, the improvement of Chinese botanical gardens conservation network, and working out the standards of conserving practices for rare and endangered plants in Chinese botanical gardens as well.

Key words: China's plant *ex situ* conservation; advanced in near thirty years; commentary and strategy

据国际植物园保护组织最新估计, 在世界约 300 000 种高等植物中, 已有 60 000~100 000 种, 即多达 1/3 受威胁, 其中约 34 000 种处于灭绝的濒

危状态。假如不采取有效的保护措施, 至本世纪末, 将有 2/3 的植物种类从地球上消失 (CBD & UNEP, 2002)。在我国, 2000 年中国环境与发展国际合

* 收稿日期: 2007-06-17 修回日期: 2007-12-28

基金项目: 国家林业局自然保护司基金(XTBG030304)[Supported by the Foundation of National Bureau of Forestry(XTBG030304)]

作者简介: 许再富(1939), 男, 终身研究员, 博士生导师, 主要从事保护生物学研究。

作委员会生物多样性工作组邀请了一批国内外专家对我国 4 409 种植物进行了评估, 被评估的植物包括极危、濒危和易危等等级在内的受威胁物种竟达 3 782 种, 占被评估种数的 85. 8% (汪松等, 2004)。植物迁地保护是植物多样性就地保护的重要辅助措施, 而植物园(树木园)的活植物栽培是世界公认的植物迁地保护的最重要场所, 它们是稀有、濒危植物的最理想“避难所”(Jackson 等, 2000)。国际自然和自然资源保护同盟(IUCN)在 1978 年出版了《IUCN 植物红皮书》, 提出了优先保护的 250 种来自世界 89 个国家和地区受严重威胁的、对人类有特别重要意义和有价值的植物(Lucas 等, 1978)。

参照 IUCN 的标准, 1980 年, 当时的国务院环保领导小组就开始组织专家编制我国珍稀濒危植物名录, 于 1987 年出版了《中国珍稀濒危保护植物名录》(第一册)(国家环保局等, 1987), 1989 年出版了《中国珍稀濒危植物》(354 种)(傅立国, 1989)和 1990 年出版了《中国植物红皮书》(第一册)(傅立国, 1992)等。以我国植物园为主, 20 世纪 80 年代初期以来就以我国的珍稀、濒危植物为对象, 开展了迁地保护及其研究工作, 获得了较大的进展。本研究主要通过对植物园的信函调查、重点植物园的实地考察和相关的论著查阅等。在掌握相关的科学数据的基础上, 根据植物迁地保护的原理与方法, 对我国野生植物迁地保护的有效性及其对策进行探讨, 以为我国植物保护战略的制订提供科学依据。

1 野生植物迁地保护及其研究获得重大进展

20 世纪 80 年代初期, 我国一些植物园几乎与世界发达国家植物园同步, 由传统的植物引种驯化发展到珍稀、濒危植物迁地保护, 挑起了野生植物保护的历史新重担, 迎来了迅速发展的新时期, 使收集、保存的植物种类迅速增加, 也加强了珍稀、濒危植物保护的科学研究, 使植物迁地保护的水平有较大提高。

1.1 珍稀濒危植物保护促进了植物园的发展

自 1860 年我国第一个植物园——香港动植物园建立至 1950 年的 140 年中, 我国仅建有 10 多个植物园。1950 年, 中国科学院一建立就根据国家经济发展对经济植物的需求, 接收和新建了一批植物园, 开展植物资源的发掘、遴选和引种驯化的研究,

促进了我国植物园的发展(佟凤勤等, 1997)。1980 年以后, 随着我国改革开放, 经济社会的迅速发展, 各级政府和公众对环境 and 生物多样性保护的意义有了新的认识, 也伴随着和谐社会构建、精神文明建设以及自然资源持续利用等的需要, 尤其植物种质资源的保护, 我国新的植物园便如雨后春笋出现(图 1)。近 25 年来, 大约每一个季度就增加一个植物园(贺善安等, 2005), 至今已有近 200 个, 初步构建了我国植物园的植物迁地保护网络。

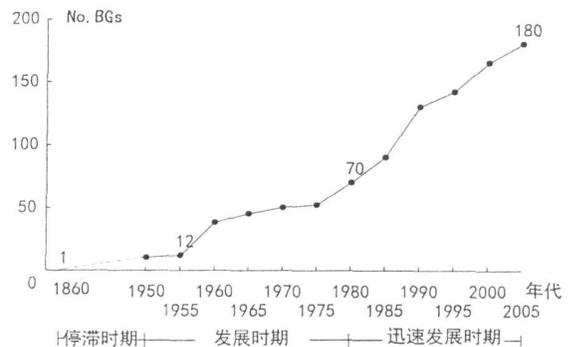


图 1 我国植物园的发展(参照贺善安等, 2005)

Fig. 1 The development of Chinese botanical gardens

1.2 植物园引种栽培保存的植物迅速增加

20 世纪上半叶以前, 由于我国处于半封建半殖民地时期, 战争频繁, 国家经济千疮百孔、民不聊生, 政府也不重视科学研究, 我国建立的少数植物园都是奄奄一息, 估计引种栽培植物总计不外两、三千种。1950~1980 年是我国植物园快速发展的第一个时期, 在此期间, 我国植物园主要是根据国家经济建设的需要, 以各类经济植物为主要对象, 进行“变野生为家栽、变它地(国)为本地(国)”的植物引种驯化研究, 为国家经济发展提供了一批重要植物资源(佟凤勤等, 1997)。植物园收集、栽培的植物种类也有较大的增加。多数植物园栽培的植物少于 1 000 种, 部分植物园栽培了 1 000~2 000 种, 少数植物园达 3 000~4 000 种。20 世纪 80 年代以后, 我国植物园先后担负起稀有、濒危植物迁地保护的历史新重担, 并迎来了快速发展的时期。1986 年, 中国植物学会的几个专业委员会在杭州联合召开了珍稀、濒危植物保护研究学术讨论会, 并以中国植物学会的名义发出了“要重视保护我国的珍稀、濒危植物”的倡议书; 1989 年在广州召开的“中国科学院第三次植物园工作会议”把“植物种质资源尤其濒危植物的保护”作为中科院植物园的重要任务, 有力地推动了我国植物园的植物多样性保护及其研究工作, 使

植物的收集保存数量迅速增加。1994年,《中国生物多样性保护行动计划》就提到我国植物园110多个,引种保存了中国植物区系的种类已达16000~18000种,国家第一批重点保护珍稀濒危植物已有80%被引种保存”(国家环保局,1994)。在世纪之交,中国科学院把“国家战略性资源植物迁地保护网络基地建设”纳入到国家知识创新工程序列,并提出了“科学植物园”的概念,要求把植物园建成生命科学创新研究及知识传播支撑平台,并与国际一流植物园接轨,而且也在以北京(科)植物园和北京市植物园为基础,推动我国“国家植物园”体系的建设。1997年,中国科学院以西双版纳植物园为试点,开始对院属5个植物研究机构进行“两所(北京、昆明)三园(西双版纳、武汉、华南)”的体制改革,并与地方合作,加强了对“三园”的支持强度,使西双版纳植物园和华南植物园收集保存的植物在2004、2006年先后都超过10000种,武汉植物园也达到7000种。以西双版纳植物园为例,在10000种植物中,57.84%来自中国热区,26.23%来自邻近的东南亚国家;其中有4294种具各种经济利用潜力,有重要科研价值的类群1053种,特有、稀有、濒危植物近1000种(许再富,2006)。所以,估计我国植物园中收集、栽培、保存的植物约有40000种,而属于我国植物区系成分也可能有20000种,占我国区系成分的2/3以上。

1.3 稀有濒危植物迁地保护研究的进展

我国对稀有、濒危植物迁地保护研究始于1980年组织的《中国植物红皮书》的编写。据对相关文献的不完全检索,从1980~2006年,我国科技人员在国内外的学术刊物及出版的著作中,发表了涉及植物迁地保护的论文171篇,出版的论著3本。在出版的论著中,由许再富(1998)编著的《稀有濒危植物迁地保护的原理与方法》是迄今我国在该领域的一本较系统的专著,贺善安等(2005)出版的《植物园学》和任海(2006)出版的《科学植物园建设的理论与实践》也都有一章对植物迁地保护进行讨论。对已查到的171篇论文,按年代进行统计,其结果如图2。16年平均每年发表论文6.3篇,其中1990年最多,发表的论文多达31篇,这是因为1988年在我国南京召开了“植物园国际研讨会”的国际学术会议(论文集出版滞后了两年)。所以,我国对植物迁地保护的研究大体可以1990年为转折点,分为前后两个时期。

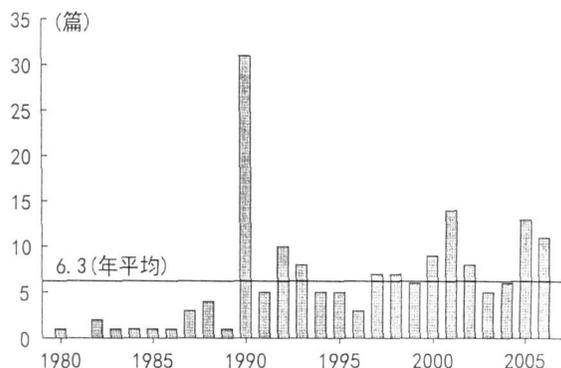


图2 1980~2006年我国植物迁地保护领域的论文发表动态

Fig.2 The papers of plants *ex situ* conservation presented during the period of 1980-2006 in China

1.3.1 1990年以前稀有濒危植物迁地保护研究 据1991年国家环境保护局编的《珍稀濒危植物保护与研究》一书所列的由国家环保局、国家基金委、林业部、中国科学院等所支持的44个有关珍稀、濒危植物保护主要研究项目的统计、分析,在20世纪80年代,我国开展研究的主要是珍稀、濒危植物的考察、调查及评估,计18项,占总数的40.9%和稀有、濒危植物的引种、繁殖计12项,占总数的27.3%,两者共30项,占有项目的68.2%(国家环保局,1991)。在20世纪80年代,由于我国稀有濒危植物及其迁地保护研究刚刚起步,发表的论文不到20篇,但也取得一些重要成果。

(1)按IUCN的标准初步弄清了我我国植物受威胁的状况:1980年5月,原国务院环境保护领导小组办公室会同中国科学院植物研究所、中国植物志编辑委员会向全国农、林、牧、医药、园林、商业等方面的国家机关、科研单位和高等院校等单位以及有关专家发出了《征求珍贵、稀有的野生植物种类名录的通知》及《珍贵、稀有植物调查表》后,不仅很快得到了大量的反馈信息,而且促进了较多省区对珍稀、濒危植物的考察调查研究。在广泛调研的基础上,按照IUCN 1978的植物受威胁等级标准,我国在1987年出版了《中国珍稀濒危保护植物名录》(第一册),首批确定了我国珍稀、濒危植物的388种(国家环保局等,1987),每种植物都较详细地描述了形态特征、地理分布、受威胁的状况、生物-生态学特性、保护价值、保护措施及栽培繁殖技术等,为迁地保护及其科学研究提供了极其重要的科学信息。

(2)解决了一批稀有濒危植物的繁殖与栽培问题:我国一些植物园和科研机构在20世纪80年代

开展了较多的稀有、濒危植物引种、繁殖和栽培的研究,取得了一些重要成果。百山祖冷杉(*Abies beshanzuensis*)的人工繁殖特别困难,浙江庆元县林技站以日本冷杉为砧木,采用枝接、髓心形成层对接、围土劈接、靠接等多种嫁接方法均获得成功。世界罕见的绒毛皂荚(*Gleditsia vesitita*)在湖南省南岳衡山仅有 2 株,南岳树木园以皂荚为砧木,用嫁接方法繁殖了 500 株。郑州航空工业管理学院根据珙桐(*Davidia involucre*)的生物学特性,结合郑州地区温湿情况,拟定了“以水为主,浇‘三水’——封冻水、萌动水和生长季节勤浇水”的栽培管理措施,使珙桐在郑州引种成功(国家环保局, 1991)。桫欏(*Alsophila spinulosa*)是由孢子繁殖,人工育苗十分困难,从野外人工移植也很难成活,西双版纳植物园采用组织培养技术成功培育了一大批桫欏幼苗,并解决了栽培的难题(程治英等, 1991)。对于稀有、濒危植物的露地保存,南京植物园提出了“鼎足模式”:人工管理下的园圃栽培——半自然生境的过渡种植——返回自然生境的归化种植。而西双版纳植物园则在园内保存的经过破坏过的一片面积达 100 hm² 的残存热带雨林中建立了滇南热带濒危植物迁地保护区,将与其相似生境的 30 多种国家保护植物引入其中,其中 2/3 种类生长良好,1/3 长势一般,没有不适应的,比较成功。

(3) 对受威胁植物的优先保护及保护种群大小进行了有创意的探讨: ①植物稀有和受威胁的定量评价方法研究。植物的稀有及受威胁的不同程度是评价它们优先保护的基础。20 世纪 80 年代,国内外对植物受威胁的等级都采用“IUCN Plant Red Data Book”的灭绝(EX)、濒危(E)、渐危(V)和稀有(R)系统(Lucas 等, 1978)。但对各个等级只有定性的概念,很难掌握其标准。1984 年,西双版纳植物园的许再富和陶国达以西双版纳分布的 49 种国家重点保护植物为例,根据植物个体生态、种群动态及群落生态的生态学原理,研究了植物分布区类型、区域内分布状况、生物群落确限度、植物群落中的重要值和植物群落结构等五个方面作为植物稀有、受威胁的表达信息。然后对各种信息按表达的强弱采用 5 到 1 的数量尺度进行标记,发展了一个植物受威胁系数公式(Coefficiency of threatendness)。根据计算的结果,把植物的稀有、渐危和濒危当作一种简单的植物受威胁的危险程度增加的线性关系去处理,并参照了《世界自然资源保护大纲》所推荐的确定

定应予考虑的受威胁物种的图解公式,按物种损失的急切性和损失大小确定了优先保护的次序,达到了保护物种多样性的目的。1985 年在西班牙大加拿岛召开的《植物园和世界保护战略》的第一次世界大会上,许再富(1987)报导了这一定量评价方法,也于 1987 年在《云南植物研究》详细介绍了此方法。这种方法于 1987 年曾被 WWF 的一个文件评价为确定稀有、濒危植物评价等级的“new criteria”(新标准),也被我国一些研究者较多地应用。②受威胁植物的优先保护类型研究。由于包括我国在内的世界野生植物受威胁的植物种类越来越多,除了濒危植物需要优先保护外,许再富于 1985 年在上述的《植物园与世界保护战略》的大会报告上也提出了特有种、栽培植物野生亲缘种和重要经济潜力种类等植物必须优先保护的意見(Xu, 1987)。后来于 1990 年在“中国科学院生物多样性研讨会”上他系统地提出了在众多的稀有濒危植物中必须优先保护的植物包括:稀有种,单(寡)型分类群,重要经济潜力的种类,作物野生亲缘种,生态系统关键种,旗舰种等(许再富, 1990)。这一优先保护的植物系列被我国很多植物园广泛应用。③迁地保护的有效种群大小的研究物种保护注重其遗传多样性而要求一较大的种群,在 20 世纪 80 年代国际上曾有“多多益善”之说。要维护一个大种群的物种在就地保护尚且困难,而在植物园资源极其有限的迁地保护条件下更是不可能的。所以,在 1980 年,国际上对物种保护的“最小种群”(minimum population, MP)或“最小存活种群”(minimum viable population, MVP)进行了较多的研究,认为,短期(50 年)存活的种群有效种群大小不低于 50,长期(1 000 年)存活的种群有效种群大小应是 500。也有根据在干扰生态系统中,有些物种种群降到 30~ 50 甚至更少的情况下,它们还能够自然生存下来,而认为具体情况应具体分析。许再富根据国际上的一些最新研究结果,于 1988 年在我国南京召开的“植物园国际研讨会”的大会上发表了一个植物园保护植物种群大小的经验公式。该公式根据植物生活型——乔木、灌木和草本,以及植物的繁殖系统——自花或异花授粉和无融合生殖等确定植物迁地保护的较合适株数及加权系数,较合理地解决了植物园对稀有、濒危植物迁地保护的“最小种群”问题(Xu, 1990),引起到会专家的关注,也被我国的一些植物园较多采用。

1. 3. 2 1990 年以后的我国稀有濒危植物迁地保护

研究 20世纪90年代以后,我国以植物园为主开展的稀有濒危植物研究,发表了150多篇论文和出版了一些专著。发表论文数量较多的刊物是《广西植物》、《生物多样性》、《武汉植物学研究》、《云南植物研究》和《植物资源与环境学报》等;发表论文数量较多的单位是西双版纳热带植物园、武汉植物园、华南植物园、昆明植物园、桂林植物园和南京植物园等;支持植物迁地保护研究课题较多的部门是中国科学院、国家自然科学基金会和云南省基金会等。20世纪90年代以来,我国对稀有、濒危植物的迁地保护研究除了继续进行一些考察、调查、引种、繁殖、栽培等的研究外,取得了一些新的进展。

(1) 迁地保护的稀有濒危植物遗传多样性的测试研究:植物迁地保护的目标既要保存物种,而且要维持其遗传多样性。目前我国植物园的迁地保护基本偏于前者,只有少数具有较好科研条件的植物园才开展了迁地保护的稀有、濒危植物种群的遗传多样性测试的研究。西双版纳植物园比较了广西青梅(*Vatica guangxiensis*)来自桂西南和滇南的3个栽培与自然居群的遗传多样性,结果表明了迁地保护居群涵盖了该物种88.3%的遗传多样性,在遗传多样性保存上是基本成功的(李巧明等,2001)。武汉植物园对长江三峡库区将被淹没的特有濒危植物疏花水柏枝(*Myricaria laxiflora*)的13个自然居群和1个迁地保护居群的等位酶遗传变异进行了比较测试,分析的结果表明,该园迁地保护的混合居群基本上保存了其遗传多样性的总水平(李作洲等,2003)。该园也研究了迁地保护的5株伞花木(*Eurycorymbus cavaleriei*)及其200多株子代幼苗的遗传多样性,在测试的12个酶系中,多态基因点低于10%,其遗传多样性远远低于该种分布在湖南4个自然居群的水平(康明等,2005)。华南植物园采用ISSR分子标记技术对迁地保护的金花茶(*Camellia nitidissima*)的3个迁地保护居群进行遗传多样性分析,并与其野生居群遗传参数比较,表明迁地保护居群基本有效地保护了金花茶的遗传多样性总水平(韦霄等,2005)。

(2) 稀有濒危植物迁地保护群落的构建研究:植物在自然分布中都具有群落性。西双版纳植物园在20世纪80年代开始对稀有、濒危植物进行迁地保护时,就根据野生植物在单一种植条件下生长不良和容易发生病虫害等弊端(许再富等,1985),提出了要根据它们在自然群落的状况和必要的试验,把它

们组成各种类型的多层次、多种类的人工群落。也以此来补偿迁地保护地与自然环境在环境条件上的差异,并不断调整,改善其结构和生境条件,使在新的栽培条件下,被保护的植物能较好地生长、发育和繁育后代(Xu, 1987)。该园也在园内,把一片面积达100 hm²的热带雨林残存植被开辟为滇南热带稀有濒危植物迁地保护区,引种栽培了当地分布的国家重点保护植物45种,其中86.2%的种类生长良好,完全适应其生境(刘宏茂等,1993)。通过对江西东乡含有濒危植物普通野生稻(*Oryza rufipogon*)和长喙毛茛泽泻(*Renalisma rostratus*)的水生植物群落的研究结果,武汉大学生命科学院在气候与原产地相似的地方开展了普通野生稻和长喙毛茛泽泻迁地群落的重建试验,结果认为两个濒危种的群落迁地保护获得成功(李今等,1999)。当然,这类迁地保护群落还离不开对杂草控制和水位调控等生境管理措施,是否成功还有待于进一步评估。另一项研究是武汉植物园根据三峡库区及其附近的残存稀有、濒危植物的调查结果,在同属长江流域的湖北九宫山自然保护区建造迁地保护群落,设计了一个面积约3 000 m²,优势种为珙桐(*Davidia involucre*)、金钱槭(*Dipteronia sinensis*)、水青树(*Tetracentron sinensis*)和银鹊树(*Tapiscia sinensis*)等为优势的迁地保护群落(叶其刚等,2000)。虽然该迁地保护群落的营建效果还有待进一步评估,但该项目从迁地群落的地点选择、面积确定、物种组成和群落结构等较好地探讨了稀有、濒危植物迁地保护群落设计的原理和方法。

(3) 稀有濒危植物迁地保护的生境比较研究:作为植物引种重要理论基础的“气候相似论”,即光温、水湿等相似性已在我国植物园的稀有、濒危植物迁地保护中得到较好的应用。西双版纳植物园报导了国产15种龙脑香科植物在野外和栽培条件下的物候和生长状况的比较,发现迁地保护植株的抽梢、开花和结果多比野生状况提早,而树高和径粗的生长也多比野外条件快得多,其迁地保护是成功的(孟令曾等,2005)。桂林植物园一方面对该园栽培保存的260多种稀有、濒危植物的生长发育状况进行评价,结果表明75%的种类适应或基本适应该园的迁地保护环境,而原产于广西的种明显比分布于区外的种适应性更强(黄仕训等,2006)。另一方面则比较了广西的热带稀有濒危植物在不同气候带的西双版纳植物园、广西石山树木园、厦门植物园和桂林植物

园等的生长发育情况, 研究的结果表明, 冬春的低湿和霜冻是广西热带稀有、濒危植物能否成功保存的主要限制因素(陈泓等, 2006)。然而, 对土壤异质性生境问题却往往被忽视。针对土壤生境问题, 武汉植物园对长江三峡库区的两种特有植物荷叶铁线蕨(*Adiantum reniforme* var. *sinensis*)和疏花水柏枝的自然生境与迁地保护生境特征进行了比较研究。表明虽然迁地保护地生境土壤的排水条件、养分含量和几种微量元素与荷叶铁线蕨自然生境土壤有较大差别, 和土壤质地以及季节性淹没方面与疏花水柏枝有明显不同, 但两种植物在迁地保护区基本可以成活, 能完成从种子(孢子)到种子(孢子)的生命周期(沈泽昊等, 1999)。桂林植物园为了检验分布在石山稀有、濒危植物在酸性红壤的迁地保护地的

效果, 选取了东京桐(*Deutzianthus tonkiensis*)、海南椴(*Hainania trichosperma*)、任木(*Zema insignis*)、掌叶木(*Handeliidendron bodinieri*)和青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)等 7 种石山植物, 开展了它们在原产地(石山、石灰岩)和迁地保护地(土山、酸性红壤)的形态特征的比较研究。结果表明, 这 7 种植物在迁地保护园都生长良好, 除了桂林紫薇外, 都已开花, 其中掌叶木开花而不结果, 海南椴、小花异裂菊能结果但种子空粒, 没有萌发能力, 只有东京桐、青檀和任木结果的种子能繁殖后代。此外, 它们的外形特征、生长发育习性及体内的矿质元素含量等与自然生境的植株有较大的变化(黄仕训等, 2001)。以上研究表明了不同的植物对生境的适应性有较大的差异。

表 1 中国植物园面积大小分类

Table 1 The area size of Chinese botanical gardens

植物园 BGs	小园 Small			中等 Medium	大园 Big			总计 Total
	特小	较小	小型		大型	较大	特大	
面积 Area (hm ²)	< 5	6~ 20	21~ 40	41~ 100	101~ 200	201~ 500	> 500	
园数 N. BGs (个)	7	22	17	30	11	20	11	120
占园数 (%)	7.5	18.3	14.2	25.0	9.2	16.7	9.2	100

2 重点保护植物迁地保护状况的评述

2.1 植物迁地保护的植物园网络基本建成, 但还必须加以完善

自 20 世纪 80 年代以来, 我国植物园先后挑起了我国稀有、濒危植物为主的野生植物资源的迁地保护的历史重担, 并在我国经济社会快速发展的历史背景下获得了快速的发展, 估计有近 200 个, 占了世界植物园的 1/10, 初步构成了包括我国重点保护植物在内的野生植物迁地保护的网路系统。然而, 我国植物园的分布格局与世界上一致, 存在着严重的缺陷: 植物种类和特有植物分布越丰富的地方, 以及生态环境越独特的地方, 植物园的数量越少。我国植物园多分布在我国东部经济较发达的地区。西部地区的云、贵、川既是我国植物多样性最富集, 又是我国特有植物种类最多的省份, 而新疆、青海、西藏等省区, 地域广大而地质历史、地形地貌、生态环境十分特殊, 分布有众多的高山植物、干旱和半干旱植物。但我国西部目前已建植物园的数量却很少, 西藏却连一个植物园也没有, 这对我国野生植物迁地保护十分不利。此外, 在我国植物园中, 有较大

比例的植物园是城市公园性质的, 有较大比例的植物园面积偏小(表 1), 有较大比例的植物园缺乏科学研究条件, 也有较大比例的植物园的经济处在拮据状况等, 它们难以担负起我国野生植物有效迁地保护的繁重任务。根据国内外植物园在植物迁地保护的成就, 它们必须具有以下的重要条件(许再富, 1998): (1) 稳定的财政支持 由于植物迁地保护是一个长期而花费大的社会公益事业, 要有相当的和稳定的财政支持, 否则会因半途而废而对资源反而造成浪费; (2) 较大的土地面积 由于受威胁的植物有增无减, 对一个物种的保护要有一定大小的种群, 它们对生境要求多样, 所以植物园应拥有较大的土地面积, 具多样化的生境, 污染要少和不易被人为破坏; (3) 较好的园址位置 为了便于科学研究和把植物迁地保护与就地保护, 以及再引种(回归)较好地结合起来, 园址最好是靠近大面积的自然植被或自然保护区; (4) 必要的科研条件 植物迁地保护的成败与否与科学研究有密切关系, 所以植物园应有必要的科研条件, 包括野外考察、植物鉴定、生态、遗传和园艺等方面的人才和必要的研究设施如植物标本馆、种质库、有关的实验室和信息系统等; (5) 必要的科普设施 植物园通过展示多样化的植物向公众开

展植物学、生态学、园艺学和保护生物学等的科普设施,传播人与自然和谐共处、协同发展等科学思想,它应有一定的科普教育设施如访问中心、必要的陈列室,博物馆和一些知识园。

我国植物园中具备上述综合条件的估计只有 20~30 个,必须加以完善。中国科学院拥有 14 个植物园(包括与地方共建或双管),它们多数具有上述综合条件。所以在世纪之交,中科院就把“国家战略资源植物迁地保护网络基地建设”纳入到知识创新工程序列,并提出了“科学植物园”的概念,要求把植物园建成生命科学创新研究及知识传播支撑平台,并与国际一流植物园接轨。如今,西双版纳植物园、武汉植物园和华南植物园在院地的共同支持下,已成我国的核心植物园。近来,中科院又决定建设 2~3 个核心园和推动以北京植物园(南、北两园)为核心的我国“国家植物园”体系的建设,使我国植物迁地保护网络更加完善(许再富, 2006)。

2.2 迁地保护的植物种类相当可观,但忽视了遗传多样性的保护

我国植物园到底栽培了多少种植物,其中属我国的野生植物有多少,保存了我国重点保护植物有多少?由于我国还没有一个全国植物园栽培保存植物的数据库,很难准确地回答上述的问题。1997 年,笔者曾根据对 47 个植物的查询结果,估计了我国 120 个植物园中栽培保存的植物有 17 000 个种,其中属于我国第一批重点保护植物约 350 种,占公布种类的 90%(许再富, 1997)。近几年来,我国的一些植物园收集、保存的物种迅速增加,如西双版纳植物园从 1999 年的 4 008 种增至 10 000 种,华南植

物园由 2000 年的 5 000 多种增至 10 000 种,武汉植物园由 4 000 种增至 7 500 种,而北京(市)植物园栽培的植物也超过 10 000 种。因而可以估计,在我国植物园中,栽培的植物约有 40 000 种(taxa),估计有 40% 来自国外,10% 为园艺品种,而属于我国的野生植物约占 50%,即我国野生植物种有 20 000 种在植物园中栽培保存。至于我国重点保护植物中有多少种类已进行了迁地保护?在 1997 年,笔者调查的是第一批名单中约有 350 种,即占 388 种的 90% 已在植物园中栽培保存。近几年来,虽然一些植物园加大了稀有、濒危植物的收集、保存力度,但从最近的调查看到,一些原来栽培保存的物种由于主要是适应性问题,有一些已死亡。如在武汉植物园,据说原来引种保存了 300 多种稀有、濒危植物,但至 1999 年成活的仅 244 种,即保存率仅约 80%(万开元等, 2006)。所以我国重点保护植物的第一批植物估计只有少量的增加,而对第二批名单中的植物,以及我国特有成分的栽培保存可能增加较多。

到底我国受威胁的植物有多少?在 20 世纪 90 年代以前,专家们估计的是占我国区系成分的 10%~15%,即多达 3 000~4 500 种。1998 年出版的《中国生物多样性国情研究报告》中的数据认为,我国裸子植物种类的 28% 和被子植物种类的 13% 为濒危物种(IUCN/SSC, 2000)。而 2004 年出版的《中国物种红色名录》则根据《IUCN 物种红色名录标准在地区水平的应用报告》(2003 版)的新标准,抽样对我国植物受威胁进行了新的估计,其结果如表 2(汪松等, 2004)。若把根据 IUCN 标准评估的“极危(CR)”和渐危(EN)视为我们已习惯的“濒危”

表 2 中国高等植物受威胁状况
Table 2 The situation of high plants threatened in China

等级 Grades	灭绝 EX	野外灭绝 EW	地区灭绝 RE	极危 CR	渐危 EN	易危 VU	近危 NT	失危 LC	数据缺乏 DD	不定评价 NA	评估种数 Species No.
裸子植物 (spp.)	0	0	0	33	41	84	48	18	2	0	224
占评估 (%)	0	0	0	14.6	18.15	37.17	21.23	7.9	0.88	0	100
被子植物 (spp.)	2	2	0	651	1 080	1 893	302	200	52	0	
占评估 (%)	0.05	0.05	0	15.56	25.82	45.25	7.22	4.78	1.24	0	100
合计 (spp.)	2	2	0	684	1 121	1 977	350	218	54	0	4 407
占评估 (%)	0.05	0.05	0	15.52	25.44	44.86	7.94	4.95	1.23	0	100

来说,我国高等植物中,受严重威胁的比例已高约 40%,即多达 12 000 种植物,这是一个令人惊叹的数字。若以《植物全球保护战略》所期待的,至 2010 年,全球有 60% 的受威胁植物,其中 90% 的极危(CR)植物能得到迁地保护的话(CBD&UNEP,

2002),我国植物园的担子是很重的。令人担心的是,包括稀有、濒危植物在内的受威胁严重植物的迁地保护,在我国既没有一个协调的机构,又没有专项经费的支持,已使我国植物园收集、保存的稀有、濒危植物的增加速度从 20 世纪 90 年代以来已逐步减

缓,而已收集、保存的种类能不能得到长期的维护也是一个令人担心的问题。

表 3 植物园保存第一批国家保护植物的种群大小

Table 3 Population size of national protected plants in Chinese BGs

保存个体数 Population size	保存种数 Protected sp.		占保存种数 (%) Sharing protected sp.	
	1998 年	2003 年	1998 年	2003 年
1	182	35	10.7	10.5
2	204	40	12	12
3	120	23	7.1	6.9
4	111	21	6.5	6.3
5	162	32	9.6	9.6
6	44	9	2.6	2.7
7	36	8	2.1	2.4
8	47	9	2.8	2.7
9	9	3	0.5	0.9
10	140	27	8.3	8.1
11~ 20	209	41	12.3	12.3
21~ 30	89	17	5.2	5.1
31~ 40	40	8	2.4	2.4
> 40	503	59	17	17

其实,我国植物园至今以稀有濒危植物为主的我国受威胁植物的迁地保护还处在物种的收集保存阶段,而基本上忽略了物种遗传多样性的收集保存,面临着很大的遗传风险(康明等,2005)。据了解,我国植物园目前保存的稀有、濒危植物,大多数的种子都来自个别自然居群和少数母株,没有应用“多基因库采样法”(multiple genepool sampling),而且有相当比例的(40%~60%)的物种是在植物园间相互引种的。若以一个居群迁地保存的起码个体数是10~20(Xu,1990)来评价我国植物园对稀有濒危植物的迁地保护状况,并假设保存的物种都仅有一个野生居群,也仅有约46%种类达到此标准,而仅保存1~5株植物的种数也约占了总数的45%(如表3)。由于保存的植物来自少数的母株和保存了极少的植株,它们容易产生近交(inbreeding)和近交衰退(inbreeding depression);当把来自不同居群的个体栽在一起,虽有利于防止近交衰退,但却有可能产生杂交衰退(outbreeding depression),不能保护各个居群的各自的遗传多样性;而当把亲缘较近的物种栽在一起,如武汉植物园的秤锤树(*Sinojackia xylocarpa*)和狭果秤锤树(*S. rehderiana*),它们可能产生种间杂交(康明等,2005)。其实这些近交、杂交的问题都可以通过植物园间的种质交流、人工套袋授粉等方法加以解决,但需要较多的投入。

由于我国多数植物园在人力、财力和物力(包括土地面积与生境)等十分有限,既不可能保存众多的稀有、濒危植物,也难以保存一个物种的多个自然居群和维持较大的种群数。所以,各个植物园应根据自己的资源状况,根据科研和科普等任务,因地制宜地制订稀有、濒危植物保护的策略。对于一个资源有限的植物园,如要在稀有、濒危植物保护的有效性作出贡献,则宁可保存少数的物种,并在其遗传多样性保护上下功夫。

2.3 迁地保护的稀有濒危植物多数生长良好,但还有不少适应问题

植物园对植物的迁地保护,主要是利用其园地,栽培保存活植物。植物迁地保护的提出仅有30来年的历史,但作为一种方法,它与人类历史上发展农耕开始就进行的植物引种驯化十分相似,因而在一定意义上讲,它也是一种已有六、七千年历史的古老而传统的方法。只是它们的目标有些不同,植物引种驯化包括“变野生为家栽”和“变它地为本地”,强调人工驯化或风土驯化,其主要目的是利用,尤其为其时的利用服务。植物迁地保护则着重地区野生植物,即“变野生为家栽”,强调保护,尤其植物遗传多样性的维持,要求尽可能地避免驯化,以免使植物在进化过程中所形成的自我保护与繁殖能力这两个主要功能由人类越俎代庖。因而,为使迁地保护的植物能正常生长发育、繁殖后代,并减少由于气候、环境差异和人工措施而引起的“驯化”,保护植物的引种必须是气候区内或气候相似的地区,包括光温、水湿条件,这就是植物引种的“气候相似”的原则。在一定的气候条件下,植物是分布在不同的生境中,包括地形、地貌和土壤基质等,所以植物迁地保护必须遵循“生境相似”的原则。植物在一定的生境中,它们与其它种类的植物种类,与各种动物、微生物总是生长在一起的,组成了多种多样的植物群落,它们之间具有十分复杂的互动关系,因而植物迁地保护必须建立在对各种植物在群落中的地位及作用的研究基础上,模拟当地的植物群落结构,这就是“植物群落”的原则(许再富,1998)。

调查和统计了11个植物园的国家保护植物迁地保护的适应与开花结果,发现植物生长、适应良好的占48%,中等的占40%,差的占12%;已开花的种类占38%,结果的仅占开花的64%(表4)。此统计还不包括引种而主要因不适应而死亡的种类。由于我国植物园对稀有、濒危植物及国家保护

植物迁地保护主要从 20 世纪 80 年代开始, 所以很多植物尤其乔木种类还未达到开花结果的年龄, 所以笔者估计, 我国植物园迁地保护的国家保护植物

中约有 1/3 的种类已经死亡、生长不良或出现发育障碍。这除了与栽培技术有关外, 主要原因是违背了气候相似、生境相似和植物群落等原则。

表 4 植物园迁地保存植物的生长适应及开花结果状况

Table 4 The growth & breeding situation of protected plants in Chinese botanical gardens

植物园 BGs	调查种数 Reviewed sp.	生长适应状况 Growth situation (%)			开花结果状况 Breeding situation (%)	
		好 Well	中 Medium	差 Bad	开花 Blooming	结果/开花 Fruiting/ blooming
西安植物园	39	22(56)	14(66)	3(8)	—	—
西双版纳植物园	57	38(67)	16(28)	3(5)	39(68)	35(90)
昆明植物园	75	54(72)	15(20)	6(8)	35(47)	32(91)
昆明树木园	63	22(32)	23(34)	17(25)	16(24)	5(31)
贵州植物园	36	—	—	—	26(92)	4(15)
华西植物园 ¹⁾	153	44(29)	77(50)	32(21)	—	—
桂林植物园	141	48(34)	71(50)	22(16)	21(15)	6(29)
华南植物园 ²⁾	29	16(55)	10(35)	3(10)	18(62)	3(17)
武汉植物园	96	85(89)	7(7)	4(4)	45(47)	38(84)
九江种质圃	107	38(36)	62(58)	7(7)	—	—
南岳树木园	46	16(35)	24(52)	6(13)	31(67)	27(87)
厦门植物园	86	43(50)	37(43)	6(7)	10(12)	5(50)
合计 Sum	933	426(48)	356(40)	109(12)	241(38)	155(64)

¹⁾ 为杜鹃花; ²⁾ 为木兰科植物。

2.4 以活植物迁地保护成功的标准衡量, 距有效保护任重而道远

根据物种迁地保护的目标, 许再富(1998)曾制订了稀有、濒危植物在迁地保护地成功与否的评价标准, 并被我国植物园较多应用。该标准分为起码的标准、进一步标准和最终的标准三个等级。若以此来衡量我国重点保护植物迁地保护的有效性, 它将是任重而道远的。

(1) 起码的标准: 从种子到种子。“从种子到种子”是评价稀有、濒危植物迁地保护是否成功的起码标准。它要求迁地保护的植物生长正常, 能开花结果和通过有性繁殖的方式繁衍后代(属于自然克隆和无融合生殖的种类除外)。因而对其评估, 至少应在植物能繁殖第二代的幼苗时才能进行。我国植物园对国家重点保护植物的迁地保护工作主要从 20 世纪 80 年代开始, 至今已有约 40% 的种类开花, 约 15% 的种类结果, 结合其生长状况, 即生长良好和较好的种类约占了保存种类的 85%。可以认为, 我国重点保护植物中, 目前能达到“从种子到种子”起码标准的种类不会超过 25%, 而随着保护植物的生长进程, 若干年后, 达到起码标准的种类将会迅速增加, 而最多不会超过 50%。

(2) 进一步的标准: 保存性与代表性。这是对迁地保护植物所采用材料的检验。保存性(preservation)是指进行迁地保护植物是否包含了该物种的

所有遗传基因类型? 因为对物种的保护必须维持物种的遗传完整性; 代表性(representation)系指对某一居群的采样是否应用“多基因库采样法”, 即所采取的样品必须代表那个居群的遗传多样性。因而对其评价必须提供充分的调查采样和栽培的记录。在国家重点保护植物中, 若它们仅有一个居群或个别植株, 如普陀鹅耳枥(*Carpinus putoensis*)仅有一株, 广西青梅(*Vatica guangxiensis*)的那邦居群仅有 3 株大树, 只要对它们的迁地保护能完成从种子到种子的过程, 就达到了这一等级的标准。据了解, 绝大多数植物园对多数国家重点保护植物的野外采样都没有应用“多基因库采样法”, 其种子仅来自个别或少数的居群, 在植物园保存的也仅有少数的植株, 虽然一些种类在多个植物园中有保存, 但它们多是从植物园到植物园的引种。由此看来, 在我国重点保护植物的迁地保护中, 能达到这一“进一步标准”的种类估计不会超过 20%。

(3) 最终的标准: 保持性与防止性。稀有、濒危植物在迁地保护的保存是一个相当长的时间, 一般认为是 50~100 年, 其目标是要能维持物种的原有遗传性。保持性(retention)是指对某一居群经迁地保护后能维持该居群的基因频率; 而防止性(prevention)系指随着时间的推移, 经多代繁殖, 不会因自然选择驯化, 近亲繁殖或种间杂交等而出现原有遗传多样性的流失。由于我国多数植物园的园地

面积较小, 保存的国家重点保护植物的株数少, 有一些种类被保存在气候和生境与野生分布地差异较大的植物园中, 也很难避免杂交所导致的杂交衰退 (outbreeding depression)、遗传同化 (genetic assimilation) 和基因渗透 (intraggression) 等一系列的后果 (康明等, 2005)。因而, 目前以及若干年后, 估计在我国重点保护植物的迁地保护中, 能达到保持性和防止性的“最终目标”等级的物种不会超过 15%。

3 我国重点保护植物迁地保护的若干对策

3.1 应修订和正式公布《中国稀有濒危保护植物名录》, 使迁地保护有据可依

20 世纪 80 年代, 在时为国务院环境保护委员会的支持下, 由中科院植物研究所组织了上百名植物学家根据 IUCN 在 80 年代的植物濒危等级标准, 主要是定性地评价了我国受威胁的植物, 并于 1984 年公布了《中国稀有濒危保护植物名录 (I)》。该名录便成了我国植物园开展稀有、濒危植物迁地保护及其研究的主要依据。后来虽然由中科院植物研究所编写了《名录 (II)》, 由于它至今尚未被政府部门公布, 所以只有少数的植物园参照收集、保存。IUCN 在 20 世纪 90 年代, 经过反复研讨后, 修订了新的等级及其评价标准, 从量的角度去评价, 从而提高了物种评价结果的科学性。在我国, 根据 IUCN 的新等级和评价标准, 世界自然保护联盟/物种生存委员会中国植物专家组于 2000 年编制了《中国植物的现状和保护行动计划》(IUCN/SSC, 2000), 该《行动计划》记述了中国约占总数 10% 的 3 000 种植物所面临的威胁, 并从其中选出 1 075 种列入红色名录。中国环境与发展国际合作委员会生物多样性工作组于 2004 年出版了《中国物种红色名录》(主要根据 IUCN 2001 版本), 该《名录》选择了我国的 4 409 种植物进行评估, 其结果十分惊人, 受威胁的物种比例高达 85.7% (汪松等, 2004)。虽然上述两个材料对中国植物受威胁状况的评估结果所列出的红色名录差别很大, 但都说明了我国需重点保护的植物种类已比 1984 年公布的《名录 (I)》和未公布的《名录 (II)》已大不相同, 数量有较大幅度的增加。由于上述材料都是非官方组织提供的, 缺乏权威性, 我国植物园也难以作为开展稀有、濒危植物迁地保护及

其研究工作的依据。所以, 从国家层面上, 应由国家有关保护部门, 根据 IUCN 的最新版本 (IUCN 2003) 组织专家对我国植物受威胁状况进行评估, 并由政府公布《中国植物受威胁名录》和新版本的《中国植物红皮书》, 以为相关法规的制订, 保护规划、科学研究和普及教育、专业人员培养和履行多项国际条约 (公约) 等提供依据。

3.2 应建立我国植物园协调机制, 进一步完善植物迁地保护的网路系统

虽然我国植物园的建立从 20 世纪 80 年代以来进入了快车道, 达到近 200 个, 初步构成了我国稀有、濒危植物迁地保护的网路, 但这个网路是很不完善的。首先, 植物园的分布基本上与我国植物的丰富地区、特有种分布中心和特殊生态系统的分布等脱节。云、贵、川三省是我国植物种类最丰富的省份, 川东-鄂西、滇东南-桂西南、黔东——湘西是我国最重要的特有植物分布中心, 而青藏高原 (包括横断山)、西南半干旱河谷、西北荒漠地区等地区具有特殊生态系统, 而这些地区已建立的植物园很少, 这对于地区性的珍稀、濒危植物的迁地保护十分不利。其次, 我国植物园虽达到近 200 个, 但多数是建立在城市中, 面积小, 其主要任务是为观光旅游或教学服务, 多数不符合稀有、濒危植物迁地保护的要求。若以能较好地担负起稀有、濒危植物迁地保护的植物园所必须具备的 (许再富, 1998), 我国也许仅有 20~30 个植物园具有较好的条件。此外, 即使在那些具有稀有、濒危植物迁地保护基本条件的植物园中, 也有相当一部分因财力有限, 科技人员缺乏、研究设施落后等而难以在稀有、濒危植物的迁地保护中发挥更重要的作用。在我国, 全国性的植物园组织有中国植物学会植物园分会和中国环境学会植物园保护协会, 两个组织都是非政府组织, 只起到促进学术交流的作用。中国科学院在 1963 年就建立了一个植物园工作委员会, 协助中科院对植物园工作的协调、指导并开展学术交流等, 具有较强的活力 (佟凤勤等, 1997)。目前, 中科院正在与国家有关部门商讨, 推动“国家植物园”体系建设的问题。所以, 为了更好的保护我国以稀有、濒危植物为主的野生植物, 应在国家有关保护管理机构中建立或授权中国科学院建立一个“中国植物园工作委员会”或“中国植物园植物保护协调委员会”。筹措资金, 培训人才, 帮助、指导和协调我国植物园保护网路的建设, 并建立我国植物迁地保护监测系统与共享的数据库。

3.3 应制订《中国植物保护战略》，并规范稀有濒危植物迁地保护的实践

我国植物园从20世纪80年代以来,都以稀有、濒危植物为主开展了野生植物迁地保护及其研究,取得了长足的进展,但距《全球植物保护战略》所提出的2010年的目标还相差甚远。所以,应根据我国植物受威胁的状况制订《中国植物保护战略》并组织实施,这对帮助和指导包括植物园植物迁地保护在内的植物保护是十分重要的。我国植物园虽已对包括稀有、濒危植物在内的我国野生植物迁地保护取得了重要成果,但还面临着不少的环境适应性和遗传风险。目前有较大比例植物园缺乏对稀有、濒危植物迁地保护的基本条件;有较大比例的稀有、濒危植物在植物园中因生态适应问题而生长不良以至于死亡,或不能开花,或开花不结果,或结果而不能产生有生命力的种子;有较大比例的迁地保护植物种类的种苗仅来自野外的个别居群、个别母株和在植物园中仅栽培了为数很少的植株,而不能达到保护和维持其遗传多样性的目标。此外,较多植物园对于稀有、濒危植物迁地保护缺乏科学的记录系统,甚至对它们的来源也不清楚。为了提高稀有、濒危植物迁地保护的有效性,应根据国情,组织专家编写出版《中国植物迁地保护指南》,并加以培训,以规范植物迁地保护的实践是十分重要和迫切的。

参考文献:

万开元,陈放,陈树森,等. 2006. 珍稀濒危植物迁地保护策略中植物营养问题的探讨[J]. 生物多样性, 14(2): 172-180

韦雷,韦记青,叶万辉,等. 2005. 迁地保护的金花茶遗传多样性评价[J]. 广西植物, 25(3): 215-218

叶其刚,王畅,王诗云. 2000. 三峡库区稀有濒危植物异地保护群落设计的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 18(1): 33-41

刘宏茂,许再富,马信祥. 1993. 滇南濒危植物迁地保护的策略及效果[J]. 植物引种驯化集刊, 8: 165-169

李今,陈家宽,周进,等. 1999. 迁地保护中普遍野生稻和长喙毛茛泽泻种群动态及评价[J]. 植物生态学报, 23(3): 275-282

李巧明,许再富. 2001. 版纳青梅居群的遗传多样性和群体分化[J]. 云南植物研究, 23(2): 201-208

李作洲,王传华,黄宏文,等. 2003. 三峡库区特有种疏花水柏枝的保护遗传学研究[J]. 生物多样性, 11(2): 109-117

许再富,禹平华,邹寿青,等. 1985. 滇南热带野生植物在栽培条件下的生长及适应性探讨[J]. 植物引种驯化集刊, 4: 15-21

许再富,陶国达. 1987. 地区性植物受威胁及优先保护综合评价方法探讨[J]. 云南植物研究, 9(2): 193-202

许再富. 1990. 中国科学院植物园与我国野生植物多样性保护及研究[M]. 中国科学院生物多样性研讨会会议录: 50-60

许再富. 1997. 中国植物园植物多样性迁地保护的现状和对策

[M]. 保护中国的生物多样性. 北京: 中国环境出版社: 91-111

许再富. 1998. 稀有濒危植物迁地保护的原理与方法[M]. 昆明: 云南科技出版社: 192

许再富. 2006. 以“科学植物园”为目标建设生命科学创新研究及知识传播支撑平台[J]. 中国科学院院刊, 21(1): 76-78

任海. 2006. 科学植物园建设的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社: 14-36

佟凤勤,许再富,贺善安. 1997. 发展中的中国科学院植物园[M]. 北京: 科学出版社, 149

孟令曾,许再富. 2005. 中国龙脑香科植物受胁状况及迁地群落保护探讨[J]. 广西植物, 25(1): 8-13

汪松,解焱. 2004. 中国物种红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社: 223

陈泓,黄仕训. 2006. 广西热带稀有濒危植物迁地保护地域探讨[J]. 广西植物, 26(6): 670-674

沈泽昊,金义兴,吴金清,等. 1999. 三峡库区两种特有植物天然生境与迁地生境土壤特征的比较[J]. 武汉植物学研究, 17(1): 46-52

国家环保局,中科院植物所. 1987. 中国珍稀濒危植物名录(I)[M]. 北京: 科学出版社

国家环保局. 1991. 珍稀濒危植物保护与研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 219

国家环保局,等. 1994. 中国生物多样性保护行动计划[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 21

康明,叶其刚,黄宏文. 2005. 植物迁地保护中的遗传风险[J]. 遗传, 27(1): 150-166

贺善安,张佐双,顾烟,等. 2005. 植物园学[M]. 中国农业出版社: 16-35

黄仕训,李瑞堂,骆文华,等. 2001. 石山稀有濒危植物在迁地保护后的性状变异[J]. 生物多样性, 9(4): 359-365

黄仕训,骆文华,唐文秀,等. 2006. 广西稀有濒危植物迁地保护评价[J]. 广西植物, 26(4): 429-433

傅立国. 1989. 中国珍稀濒危植物[M]. 上海教育出版社, 365

傅立国等. 1992. 中国植物红皮书(I)[M]. 北京: 科学出版社

程治英,等. 1991. 桫欏的快速繁殖与种质保存研究[J]. 云南植物研究, 13(2): 181-188

CBD, UNEP. 2002. Global Strategy for Plant Conservation[M]. BGCI. Richmond, Surrey TW9 3BW, U. K. 13

IUCN/SSC. 2000. 中国植物的现状和保护行动计划[M]. UK: IUCN Publication Services Unit, Cambridge, 179

Wyse Jackson PS, Sutherland LA. 2000. International Agenda for Botanical Gardens Conservation [M]. BGCI, U. K. ISBN: 0952027593

Xu ZF. 1987. The work of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden in conservation the threatened plants of Yunnan Tropics [M]// Brabwell O, Hamann O, Heywood VH (eds). Botanic Gardens and the World Conservation Strategy. Academic Press, Inc. (London) Ltd: 239-253

Xu ZF. 1990. Some strategies for ex situ conservation of rare and endangered species in Botanical Gardens [M]// He SA, Heywood VH, Ashton PS (eds). Proceedings of the Symposium on Botanical Gardens. Jiangsu Science & Technology Publishing House, Nanjing: 51-61