

植物迁地保护中的遗传风险

康明, 叶其刚, 黄宏文

(中国科学院武汉植物园/武汉植物所, 武汉 430074)

摘要: 稀有濒危植物迁地保护的长期目标之一就是要保护物种的遗传多样性和进化潜力。文章中介绍了稀有濒危植物在植物园迁地保护过程中存在的一系列遗传风险。由于引种或取样的不足, 容易导致被保存的物种缺乏足够的遗传代表性; 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。在实际的迁地保护工作中, 这些遗传风险往往被忽视。植物迁地保护中遗传风险将严重影响稀有濒危物种的回归和恢复。植物园应当重视濒危植物的遗传管理, 以降低或避免迁地保护中的遗传风险。

关键词: 植物园; 迁地保护; 遗传风险; 遗传管理

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 0253-9772(2005)01-0160-07

Genetic Risks in Plant *Ex Situ* Conservation

KANG Ming, YE Qi-Gang, HUANG Hong-Wen

(Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Conserving genetic diversity of rare and endangered species and their evolutionary potential is one of the long-term goals of *ex situ* conservation. Some potential genetic risks in *ex situ* conservation in botanical gardens are presented. The preserved species may lack genetic representativity because of poor sampling. Inappropriate plantations, inadequate records and unclear kinships jeopardize endangered species to genetic confusion, inbreeding depression or outbreeding depression. Artificial selection and habitat conversion also potentially result endangered plants in adapting to *ex situ* conservation, which had been usually overlooked. All the genetic risks can decrease the success of reintroduction and recovery. Therefore, appropriate genetic management should be carried out in botanical gardens to decrease or avoid genetic risks in *ex situ* conservation.

Key words: botanical gardens; *ex situ* conservation; genetic risks; genetic management

由于人类活动直接或间接的影响, 物种赖以生存的自然生态系统遭到严重的破坏, 致使全球大量物种受到非正常灭绝的威胁。据估计, 目前全世界有 50% 的植物物种已受到灭绝的威胁, 如不及时采取有效的保护措施, 到 21 世纪末, 将有 2/3 的维管植物消失^[1]。历史的经验和现状告诉我们, 稀有濒

危物种需要在人类的帮助下才能得到有效的保护, 迁地保护就是其中最主要的措施之一。对于因野外栖息地彻底丧失而导致的极度濒危或野外已灭绝物种, 迁地保护甚至在相当长的一段时间内是唯一的保护措施^[2]。植物迁地保护的方式主要有: 活体栽培、种子库、离体保存及 DNA 库。植物园是迁地保

收稿日期: 2003-11-25; 修回日期: 2004-07-06

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向性项目 (KSCX2-SW-104)、国家自然科学基金项目 (30370153) 和中国科学院武汉植物园创新工程所长基金 (05035122) [supported by KIP Pilot Project of the Chinese Academy of Sciences (No. KSCX2-SW-104), National Sciences Foundation of China (No. 30370153) and Innovation Program Foundation of Wuhan Botanical Garden, CAS (No. 05035122)]

作者简介: 康明 (1973—), 男, 助理研究员, 在职博士生, 专业方向: 植物保育遗传学。E-mail: mingk@rose.whiob.ac.cn

通讯作者: 黄宏文, 男, 博士, 研究员。E-mail: hongwen@public.wh.hb.cn

护稀有濒危植物最主要的场所,据统计,约有 30% 的受威胁植物已保存在全球 1 800 个主要的植物园^[3]。“植物全球保育战略”(GSPC)的目标之一是:到 2010 年,全球有 60% 的受威胁植物(对于极度濒危植物则要达到 90%)得到迁地保护^[3]。英国皇家植物园邱园已经保存了 25 000 种维管植物(约占全球维管植物 10%),其中有 2 700 种被 IUCN 列为稀有濒危植物;美国由 34 个植物园(树木园)组成的植物保育中心(CPC)保存了 600 种美国本土的濒危植物,其中有 10% 已被列入重返自然的计划。我国是生物多样性非常丰富的国家,拥有约占世界 10% 的维管植物,并有一大批古老特有植物。我国植物园(树木园)约有 140 个,引种保存了中国植物区系的植物约 17 000 种,其中第一批国家重点保护植物已有 85% (约 270 种)被引种保存^[4]。尽管如此,由于人口膨胀和经济发展的双重压力,我国稀有濒危植物的就地保护和迁地保护都面临着巨大的挑战^[5]。

和动物相比,植物的迁地保护要方便得多,主要是因为植物的管理和繁殖相对容易。大多数植物对环境条件的要求并不苛刻,在植物园中容易栽活,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容易。但是,濒危植物的迁地保护也有其自身的特殊性。植物园在收集和引种过程中,普遍存在来源不清、遗传混杂和盲目定植等问题,这将对被保护的植物带来一系列的遗传风险,特别是考虑到濒危物种的回归引种时,问题会显得更为突出^[6]。本文结合我们在工作中所遇到的一些问题,探讨植物园在迁地保护过程中可能存在的遗传风险及其防范措施,目的是希望引起植物园的研究人员和管理人员对这些问题的重视。

1 遗传多样性丧失

遗传多样性涵盖了同一物种个体间所有遗传上的差异,它是物种生存与进化的物质基础。理论与实验结果均表明:遗传多样性的丧失将降低物种适应环境变化的能力,特别是物种抵抗病虫害的能力,甚至导致某些物种的直接灭绝^[7]。由于稀有濒危植物多为小居群,野生数量稀少,这在客观上造成植物园在收集、引种时的困难,因此,一个普遍的现象是:在植物园迁地保存的居群中,栽培的个体通常只有少数几棵成年植株,而且还有一部分是来自植物园

之间的重复引种,这就使得植物园目前所保存的绝大部分稀有濒危植物没有涵盖物种足够的遗传多样性,即缺乏遗传代表性。从遗传学的角度来看,我们在迁地保护中希望达到的目标是:至少在 100 年内保持其 90% 以上的遗传多样性^[2]。虽然目前还没有摸清我国植物园迁地保护稀有濒危植物遗传多样性的涵盖情况,但我们有理由相信:对于大多数濒危物种来讲,我们还远没有达到这一目标。我们用等位酶初步研究了武汉植物园 5 株伞花木(*Eurycorymbus cavaleriei*)及其 200 多株子代幼苗的遗传多样性,在所测试的 12 个酶系中,多态基因座低于 10%,表明该物种迁地保护居群的遗传多样性极低。而分布于湖南省的 4 个自然居群的遗传多样性远高于武汉植物园的迁地保护居群。Li 等比较了广西青梅(*Vatica guangxiensis*)迁地保护在中国科学院西双版纳热带植物园的人工居群和 3 个自然居群的遗传多样性,结果表明迁地保护居群涵盖了该物种 88.3% 的遗传多样性,说明对广西青梅的迁地保护在遗传多样性水平上基本上是成功的,但是,仍然有一些自然居群中的特有等位基因没有被取样^[8]。值得注意的是,很多濒危植物为多年生长寿种子植物,它们往往可以生活几百年甚至上千年,所以即使在小居群的情况下,遗传多样性的丧失也是比较慢的。因此,只要采取适当的引种、取样和管理方法,保持濒危植物足够的遗传多样性是可能的。

了解濒危植物野生居群遗传多样性的水平和分布格局对于确定优先保护居群和制定有效的取样策略是非常必要的。现在已有越来越多基于分子标记的濒危植物居群的遗传多样性数据。这些数据可以用来作为取样参考:如果大部分遗传多样性存在于居群内,则在少数几个居群取样即能涵盖大部分的遗传多样性;而对于遗传多样性主要存在于居群间的物种,则需要对尽可能多的居群进行取样。很多草本植物或自交植物会是后一种情况,如我们最近用 AFLP 分析濒危蕨类中华水韭(*Isoetes sinensis*)自然居群的遗传变异,结果发现只有约 36.5% 的遗传变异存在于居群内,这可能是由于中华水韭居群极小且经历了长期的隔离造成居群间严重分化的缘故。如果只从其中某一个居群取样,大部分遗传多样性将被遗漏。需要指出的是,在实际的取样和引种工作中,往往缺乏濒危植物野生居群遗传多样性资料,在这种情况下,我们需要根据物种的分布,生

活史,繁育系统等来初步判断其遗传多样性分布情况并确定取样方案。一般来说,广布的、广交的长寿木本植物其大部分遗传多样性会包含在居群内,而狭域分布的、自交的短命植物其遗传多样性会分布在居群间^[9,10]。同时,对所有物种边缘居群的取样也是非常重要的,因为某些这样的居群可能含有较多的特有或稀有的基因型^[11],另外还需要重视对不同生态型的取样和保护。对于每个物种或居群取样的个体数并没有统一的标准,如果可能的话,应该从几个不同居群中取 10~50 个植株,每株采集 20 颗左右的种子^[12]。许再富结合自己多年的实践经验,针对不同的生活史、生态型和繁育系统提出了一个操作性很强的经验公式可供参考,同时认为对大多数物种来讲,每种应至少 10~20 株在 5 个植物园得到迁地保护^[4]。

此外,对植物园已经收集保存的植物,由于人为有意或无意的选择,也会造成遗传多样性的丧失。张冬梅等对油松种子园去劣疏伐前后交配系统及遗传多样性的影响进行了研究。疏伐后的居群自交率升高,遗传多样性降低^[13]。植物园中有许多一年生或多年生草本植物依靠种子繁殖维持种群更新。有些物种一年四季都开花结实,而往往只在秋季采收种子。由于不同季节传粉昆虫的活动不同,可能会引起繁育系统的改变。年末的种子往往由于传粉昆虫减少而多为自交产生,后代的适合度(fitness)和遗传多样性都会降低。

2 近交衰退

近交(inbreeding)是指亲缘个体之间的交配,植物的自交是近交的一种极端形式。近交虽然没有改变居群中等位基因的频率,却能快速地(1~2代)改变居群中基因型的频率。近交会使得居群中杂合子的数量降低,纯合子的数量增加,使得许多隐性的有害基因在子代中表达,结果导致子代的死亡率增加,育性下降,生长发育不良,即近交衰退(inbreeding depression)。如果说小居群中由于遗传漂变而导致的遗传多样性丧失并威胁到居群的生存仅仅是一个长期的遗传效应的话,那么由于近交衰退而导致子代适合度的下降却能在短期内显现出来^[14]。近年来已有不少由于近交衰退增加物种灭绝风险的证据^[15~17],如 Newman 和 Pilson 研究了实验条件下不同近交程度植物 *Clarkia pulchella* 小居群(N=

12)的灭绝速率,结果表明,到第3代高度近交居群的灭绝速率为75%,而轻度近交居群的灭绝速率为21%。尽管由于植物繁育系统和生活史的多样化,使得这一结果并不具有普遍性,但它已清楚地证明近交衰退可以直接导致物种的灭绝。自然界也的确存在一些一直就是小居群的稀有植物,它们似乎没有受到近交的影响,这可能是因为居群中的遗传清除(genetic purging)能有效地除掉居群中的有害等位基因,因此有人甚至提出通过有意识的近交来清除居群中的遗传负荷(genetic load)^[18,19]。但是最近的实验结果表明,小居群中遗传清除的效果是非常有限的,即使遗传清除能在一定程度上清除居群中的有害等位基因,它也不能抵消由近交导致的近交衰退^[20,21]。

植物园在稀有濒危植物的迁地保护中,如果没有一个详细的谱系记录,很有可能把同一家系或经过反复近亲繁殖的后代种植在一起,导致后代的近交衰退。另外,有些植物需要有专一昆虫传粉,在迁地保护环境下,传粉媒介的改变也会迫使植物进行自交或近交。主要表现为从植物园收集的种子发芽率低、生长缓慢等。在迁地保护的的实际工作中,由于客观原因我们只能保存较少的个体,在这种情况下,近交或近交衰退是不可避免的。在动物的迁地保护中,为了减轻近交衰退,常常采用人工配种,以避免亲缘个体之间的交配,但是,由于植物多为长期固定种植,其传粉往往靠昆虫或风等媒介完成,希望通过人工授粉来降低近交衰退往往是不现实的。在植物园中要降低近交衰退的风险,关键是要保证定植在一起的少数成年个体间的亲缘关系相对较远(但不至于造成杂交衰退)。因此植物园的引种必须要有详细来源和谱系记录。在定植时不要把引自同一母树的种苗种植在同一定植区,同样在植物园里从同一植株上采集的种子不能作为今后的母本树种植在一起。这意味着同一种稀有濒危植物在一个植物园里需要有几个相对隔离的定植点。植物园间的种质交换对于防止近交衰退也有一定的作用。对于植物园里收集到的种子也可以采用种子库(seed bank)的方法进行长期保存,不过我国的大部分植物园目前还不具备相应的设施。事实上,我们认为植物园的空间和容量毕竟是有限的,要缓和这一压力并减轻近交衰退,有计划的、逐步的回归引种才是根本的出路。可以将我国的退化生态系统和自然保护区的

缓冲区及其周边地区作为物种回归或异地保存的主要场所。把退化生态系统的恢复与物种的回归引种有机地结合起来,应作为植物园今后植物保育工作的重要内容。

3 杂交及杂交衰退

杂交(outbreeding)是指两个遗传上有明显分化的个体间的交配。在保护生物学中,杂交既指种间或亚种间个体间的交配,也包括来自种内不同居群个体间的交配。人们很早就认识到杂交在物种形成和进化所起的重要作用^[22],如杂交可以增加子代的遗传多样性,提高居群适合度,转移优良基因。事实上,杂交至今仍然是动植物育种中的一种常规的方法。对于稀有濒危物种来说,由于杂交所导致的杂交衰退(outbreeding depression)、遗传同化(genetic assimilation)、基因渐渗(introgression)等一系列遗传后果也引起了保护生物学家的高度重视^[23]。

濒危植物的种间杂交主要有 3 方面的遗传风险:杂交衰退,遗传同化及基因渐渗。杂交衰退表现为杂交后代的适合度下降,致使杂交亲本得不到延续;如果杂交后代的适合度超过杂交亲本,那么一个亲本可能会把另一亲本“杂交掉”,即遗传同化;如果杂交后代还能和其中一个亲本交配(回交),则会把一个物种的基因渗透到另一个物种,即基因渐渗。种间的杂交是许多植物致濒或灭绝的一个重要原因^[24]。Wolf 等通过模型研究认为种间杂交对濒危物种的遗传威胁作用最快,稀有物种通常不足 5 代就会灭绝^[25]。近几十年来,越来越多的物种,尤其是稀有濒危物种是由于人为因素导致的杂交而灭绝^[23, 24]。在美国的加利福尼亚,至少有 19% 的稀有植物有被杂交的危险^[26]。稀有种还可能被邻近常见种的花粉污染,结果会导致后代不育或使物种间界限不清^[27]。有证据表明栽培植物向日葵 *Helianthus annuus* 通过杂交对几种濒危向日葵属(*Helianthus*)植物造成很大的威胁;在加利福尼亚,胡桃野生稀有种 *Juglans hindsii* 因为被栽培种 *J. regia* 杂交而濒临灭绝^[28]。卡特琳娜红木 *Cercocarpus traskiae* 仅存在于美国加州 Santa Catalina 岛上,现存的 11 个成年个体中,有 5 株是该种与其同属的常见近缘种 *C. betuloides* var. *blancheae* 所产生的杂种,可见种间杂交给该种的生存带来威胁^[29]。

种内不同居群间的杂交同样具有一定的遗传风

险,主要表现为局部适应性(local adaptation)性状的丢失。处于不同生境条件下不同居群,由于长期的自然选择作用,会形成适应某种特殊环境的性状(生态型)^[30]。居群间杂交衰退的机制有两种情况:其一是具有局部适应性的基因型在杂交后代中被稀释(dilution)造成这些性状显性不足(underdominance);另一种情况是由几个基因组成的共适应性基因复合体(co-adapted gene complexes)或内共适应体(intrinsic co-adaptation)在居群的杂交过程中被分离^[31]。在 6 个豆科百脉根属 *Lotus scoparius* 居群中,遗传分化越高的居群杂交后,每朵花产生的种子就越少,同时种子的出苗率就越低,表明种内的杂交衰退^[32]。有些种内杂交后, F_1 代表现出杂种优势,但在 F_2 和 F_3 代表现杂交衰退,如豆科决明属植物 *Chamaecrista fasciculata*, 杂交后的 F_1 表现为杂种优势,而 F_3 代的适合度则明显下降,这是因为 F_1 代同时获得了双亲的共适应等位基因并没有出现基因分离和交换^[33]。值得注意的是,如果居群间的分化仅仅是由于长期的遗传漂变(genetic drift)而不是自然选择造成的,那么居群间的杂交可以在一定程度上抵消近交衰退和遗传漂变的不利影响并增加子代适合度。如通过对 5 个多年生草本植物山金车 *Arnica montana* 居群内和居群间的杂交结果发现,居群内个体间的交配出现近交衰退的后果,而居群间的杂交则表现杂种优势^[34]。种内杂交后子代表现出的杂种优势可能是因为杂种掩盖了原来存在于亲本中的有害基因,使其不能得以表达;或者是由于等位基因在子代中超显性表达的结果。

植物的交配选择在很大程度上是由花粉的随机飘散所决定的,因此植物和近缘种发生杂交的可能性要比动物容易得多^[24]。植物园往往是在一个有限的范围内保存几千种甚至上万种植物,而且很多植物园还以专类园的形式把同一类植物种植在同一保存区,这就使得在植物园迁地保护条件下远远要比野生条件下容易发生杂交,因此,杂交衰退可能是稀有濒危植物在植物园的迁地保护中所面临的最大的遗传威胁。Maunder 等调查了欧洲 29 个国家的 119 个从事植物保育的植物园,也发现存在类似的问题^[35]。自然条件下的种间杂交是生物进化的一个重要环节,没有必要进行过多的干预^[23],但是由于人为因素造成的种间杂交则应该加以防范和控制,即使对某些极度濒危的物种通过杂交来达到某

种基因挽救 (gene rescue), 也必须慎重行事^[25]。发生在植物园迁地保护条件下的种间杂交毫无疑问是一种人为的杂交, 无论其结果是杂种优势 (heterosis) 还是杂交衰退都应该得到有效的控制。对于种内居群间的杂交则需区别对待, 虽然也有杂交衰退的风险, 但在很多情况下, 有意识地增加居群间的基因流, 有利于防止因小居群而造成的近交衰退, 遗传漂变等不良后果, 进而增加子代的遗传多样性。

大多数近缘种在表型上都比较相似, 再加上植物表型本来就有一定的可塑性, 使得杂种的早期鉴定非常困难。分子标记, 如 Allozyme, SSR 和 AFLP 等, 是鉴定杂种比较好的方法, 因为杂交亲本特有的等位基因会同时在杂交子代中表达。在植物园, 也可以通过人工授粉的实验来判断是否有种间杂交的可能, 如一旦发现有种间的杂交, 则应把其中的一种迁出定植区。比如, 我们采用控制授粉的实验发现迁地保护在武汉植物园的濒危植物秤锤树 (*Sinojackia xylocarpa*) 和狭果秤锤树 (*S. rehderiana*) 可以杂交, 这就提示我们不能把这两种植物定植在同一保存区。鉴定种内的杂交衰退则更为困难, 需要做反复的移植实验来检测后代的适合度, 而且很多种内的杂交衰退要在 F_2 甚至 F_3 代才会表现出来。在实际工作中, 需要在定植时就考虑到这些因素的影响, 不要把有可能发生种间杂交的近缘物种种植在一起。对于引自不同居群的同种植物, 如果其所处的生境有强烈的异质性, 也应该分开种植; 而来自均一生境中不同居群的个体定植在一起则有利于增加居群内的基因流。由于有杂交的可能, 在回归引种或植物园间的引种时, 来自植物园 (树木园) 的种子需要小心使用, 因为这些种子可能带有一些种间的杂种。

4 遗传适应

早在达尔文时代, 人们就已经认识到遗传适应 (genetic adaptation) 在植物引种驯化中的积极作用。即便在现在的迁地保护中, 我们依然希望从野外引种的植物能适应植物园的环境。但是, 近年来的研究发现, 迁地保护中的遗传适应是影响今后物种恢复是否成功的一个重要因素^[2]。迁地保护中的遗传适应在动物表现得更为明显。如 Heath 等在一个大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 的迁地保护和回归项目中发现, 在自然条件下, 较大的鱼

卵成活率更高, 即自然选择大的鱼卵, 而在人工饲养条件下大鳞大麻哈鱼由于松弛了选择的压力, 产卵量增加, 但所产的鱼卵却明显变小, 这些小的鱼卵在自然条件下成活的几率大大降低, 从而影响到大鳞大麻哈鱼的放归^[36]。人们也把这种快速的遗传适应称为快速进化 (rapid evolution) 或微进化 (microevolution), 虽然在植物中没有这样典型的例子, 但是植物同样会发生类似的遗传改变^[37, 38]。

稀有濒危植物在植物园迁地保护的过程中, 由于生境的变化和有意识或无意识的人工选择, 植物在表型、抗性和生活史等方面可能发生可以遗传的改变。这种变化改变了物种本来的演化路线, 为物种日后的恢复带来一定的困难。黄仕训等发现 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, 这些改变会对物种的回归产生什么样的影响还需要进一步的研究^[39]。IUCN 建议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, 其目的之一就是尽可能减轻濒危物种在迁地保护条件下的遗传适应^[40]。

5 结 语

迁地保护在植物园中的稀有濒危植物本质上说是许多人工创建的小居群的集合, 因此, 它们不但和自然的小居群一样将面临一系列的遗传风险, 同时还会遇到一些更为特殊的问题, 如遗传适应, 疾病交叉传染, 突变积累等。在植物园现有的条件下, 杜绝这些风险几乎是不可能的。比如, 把来自不同居群的个体种植在一起有利于防止近交衰退, 但却有可能造成杂交衰退。因此, 有些学者认为迁地保护在保持濒危物种的进化潜力和物种回归方面的作用是非常有限的^[6, 41]。但是, 我们不能放弃对稀有濒危植物的迁地保护, 也不能忽视迁地保护在物种恢复中的作用。事实上, 植物园迁地保护在物种回归引种 (reintroduction) 中的作用已显得越来越重要, 植物园保护国际 (BGCI) 于 1995 年正式编辑出版了《植物园的植物回归手册》以指导植物园的再引种工作^[42]。IUCN-SSC 也在 1998 年出版了濒危物种的《物种回归指南》^[43]。

当前的现实清楚地告诉我们, 植物园不能局限于对濒危物种的临时性抢救, 不能停留在长期保存几百种稀有濒危植物的活体标本, 也不能以物种在

植物园是否能完成生活史(从种子到种子)作为评价保护成功的标准。我们需要研究植物园迁地保护中的遗传学问题,植物园的管理人员也应该重视植物园中的遗传管理,最重要的是在实际工作中,找到一个平衡点,将各种遗传风险控制在最低限度。植物园需要充分考虑在长期保存物种的同时,如何保持稀有濒危植物后代(种子和种苗)的纯正性和适合度,以保持物种适应环境变化的能力。只有做到这一点,植物园才能在真正意义上为生物多样性保护作出贡献。植物园之间可以协调建立一个濒危植物迁地保护网络,各植物园尽量保存本地区物种的遗传多样性(减少遗传适应,防止杂交衰退),但每个物种的采集要应用“多基因库采样法”(multiple genepool sampling)^[4];同时每个物种定植时也要有几个相对隔离的地点,将遗传差异太大或生境差异较大的群体分开(防止杂交衰退),各小居群内的个体在遗传上也应有一定差异,且定植在一起,促进基因交流(防止近交衰退),这样在某种程度上就在既避免近交衰退、又防止杂交衰退且减少遗传适应性等问题上维持一种平衡。

参 考 文 献(References):

- [1] Pitman N C A, Jorgensen M J. Estimating the size of the world's threatened flora. *Science*, 2002, 298: 989.
- [2] Frankham R, Ballou J D, Briscoe D A. Introduction to Conservation Genetics. UK: Cambridge University Press, 2002.
- [3] BGCI. Global Strategy for Plant Conservation. 2003.
- [4] XU Zai-Fu. Principle and Methodology of *Ex Situ* Conservation for Rare and Endangered Plants. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1998.
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.
- [5] Huang H, Han X, Kang L, Raven P, Jackson P W, Chen Y. Conserving Native Plants in China. *Science*, 2002, 297: 935~936.
- [6] Ashton P S. Biological Conservation in *in situ* vs *ex situ* plant conservation. In: Bramwell A, Hamann O, Heywood V, Syngé H. *Botanic Gardens and the World Conservation Strategy*. London: Academic Press, 1987, 117~130.
- [7] Booy G, Hendriks R J J., Smulders M J M, Van Groenendael J M, Vosman B. Genetic diversity and the survival of populations. *Plant Biology*, 2000, 2: 379~395.
- [8] Li Q, Xu Z, He T. *Ex situ* genetic conservation of endangered *Vatica guangxiensis* (Diperoaceae) in China. *Biological Conservation*, 2002, 106: 151~156.
- [9] WANG Hong-Xin, HU Zhi-Ang. Plant breeding system, genetic structure and conservation of genetic diversity. *Chinese Biodiversity*, 1996, 4(2): 92~96.
王洪新, 胡志昂. 植物的繁育系统、遗传结构和遗传多样性保护. *生物多样性*, 1996, 4(2): 92~96.
- [10] WANG Chong-Yun. Plant mating system in relation to strategies for the conservation and breeding of endangered species. *Chinese Biodiversity*, 1998, 6(4): 298~303.
王崇云. 植物的交配系统与濒危植物的保护繁育策略. *生物多样性*, 1998, 6(4): 298~303.
- [11] Jump A S, Woodward F L, Burke T. *Cirsium* species show disparity in patterns of genetic variation at their range-edge, despite similar patterns of reproduction and isolation. *New Phytologist*, 2003, 160(2): 359~370.
- [12] Falk D A, Holsinger K. Genetics and Conservation of Rare Plants. New York: Oxford University Press, 1991.
- [13] ZHANG Dong-Mei, LI Yue, SHEN Xi-Huan, ZHOU Shi-Liang, ZHANG Chun-Xiao. Mating system and genetic diversity in a *Pinus tabulaeformis* Carr. seed orchard before and after thinning. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(4): 483~487.
张冬梅, 李悦, 沈熙环, 周世良, 张春晓. 去劣伐疏对油松种子园交配系统及遗传多样性影响的研究. *植物生态学报*, 2001, 25(4): 483~487.
- [14] Amos W, Balmford A. When does conservation genetics matter? *Heredity*, 2001, 87: 257~265.
- [15] Newman D, Pilon D. Increased probability of extinction due to decreased genetic effective population size: Experimental populations of *Clarkia pulchella*. *Evolution*, 1997, 51: 354~362.
- [16] Saccheri I, Kuussaari M, Kankare M, Vikman P, Fortelius W, Hanski I. Inbreeding and extinction in butterfly metapopulation. *Nature*, 1998, 392: 491~494.
- [17] Bijlsma R, Bundgaard J, Boerema A C. Does inbreeding affect the extinction risk of small populations?: predictions from *Drosophila*. *Journal of Evolutionary Biology*, 2000, 13: 502~514.
- [18] Templeton A R, Read B. Factors eliminating inbreeding depression in a captive herd of Speke's gazelle (*Gazella spekei*). *Zoo Biology*, 1984, 3: 177~199.
- [19] Laikre L, Ryman N, Thomson E A. Hereditary blindness in a captive wolf (*Canis lupus*) population: Frequency reduction of a deleterious allele in relation to gene conservation. *Conservation Biology*, 1993, 7: 592~601.
- [20] Reed D H, Lowe E H, Briscoe D A, Frankham R. Inbreeding and extinction: Effects of rate of inbreeding. *Conservation Genetics*, 2003, 4: 405~410.
- [21] Byers D L, Waller D M. Do plant populations purge their genetic load? Effects of population size and mating history on inbreeding depression. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1999, 30: 479~513.
- [22] Stebbins G L. Variation and Evolution in Plants. USA: Columbia University Press, 1950.

- [23] Allendorf F W, Leary R F, Spruell P, Sunburg J K. The problems with hybrids: setting conservation guidelines. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16: 613~622.
- [24] Rhymer J M, Simberloff D. Extinction by hybridization and introgression. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1996, 27: 83~109.
- [25] Wolf D E, Takebayashi N, Rieseberg L H. Predicting the risk of extinction through hybridization. *Conservation Biology*, 2001, 15: 1039~1053.
- [26] Carol B, Miller J A. Crossing the lines to extinction. *Bioscience*, 1995, 45: 744~745.
- [27] Ellstrand N C. Gene flow by pollen: implications for plant conservation genetics. *Oikos*, 1992, 63: 77~86.
- [28] Ellstrand N C. Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1993, 24: 217~241.
- [29] Rieseberg L H, Gerber D. Hybridization in Catalina island mountain mahogany (*Cercocarpus traskiae*): RAPD evidence. *Conservation Biology*, 1995, 9: 199~203.
- [30] Linhart Y B, Grant M C. Evolutionary significance of local genetic differentiation in plant. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1996, 27: 237~247.
- [31] Hufford K M, Mazer S J. Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18: 147~155.
- [32] Montalvo A M, Ellstrand N C. Noloccal transplantation and outbreeding depression in the subshrub *Lotus scoparius* (Fabaceae). *American Journal of Botany*, 2001, 88: 258~269.
- [33] Fenster C B, Galloway L F. Inbreeding and outbreeding in natural populations of *Chamaecrista fasciculata* (Fabaceae). *Conservation Biology*, 2000, 14: 1406~1412.
- [34] Luijten S H, Kery M, Oostermeijer J G B, Den Nijs H J C M. Demographic consequences of inbreeding and outbreeding in *Arnica montana*: a field experiment. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 593~603.
- [35] Maunder M, Higgins S, Culham A. The effectiveness of botanic garden collections in supporting plant conservation: A European case study. *Biodiversity and Conservation*, 2001, 10: 383~401.
- [36] Heath D D, Heath J W, Bryden C A, Johnson R M, Fox C W. Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science*, 2003, 299: 1738~1740.
- [37] Ashley M V, Willson M F, Pergams O R, O'Dowd D J, Gende S M, Brown J S. Evolutionarily enlightened management. *Biological Conservation*, 2003, 111: 115~123.
- [38] Bone E, Farres A. Trends and rates of microevolution in plants. *Genetica*, 2001, 112-113: 165~182.
- [39] HUANG Shi-Xun, LI Rui-Tang, LUO Wen-Hua, ZHOU Tai-Jiu, TANG Wen-Xiu, WANG Yan. Variation in characteristics of rare and threatened plants after *ex situ* conservation. *Biodiversity Science*, 2001, 9 (4): 359~365.
黄仕训, 李瑞堂, 骆文华, 周太久, 唐文秀, 王燕. 石山稀有濒危植物在迁地保护后的性状变异. *生物多样性*, 2001, 9 (4): 359~365.
- [40] IUCN. Technical Guidelines On The Management Of *Ex Situ* Populations For Conservation. 2002.
- [41] Hamilton M B. *Ex situ* conservation of wild plant species: time to reassess the genetic assumptions and implications of seed banks. *Conservation Biology*, 1994, 8: 39~49.
- [42] BGCI. A Handbook for Botanic Gardens on the Reintroduction of Plant to the Wild, 1995.
- [43] IUCN-SSC. Guidelines for Re-introduction, 1998.

生命科学期刊圣诞联谊会简讯

由《遗传学报》《遗传》编辑部主持召开的“生命科学期刊圣诞联谊会”于2004年12月25~26日在北京小汤山龙脉温泉大酒店举办。《中国科学》、《植物学报》、《植物分类学报》、《植物生态学报》、《动物学报》、《动物分类学报》、《生物工程学报》、《菌物学报》、《中国生物化学与分子生物学报》、《中国农业科学》、《农业生物技术学报》、《农业工程学报》、《畜牧兽医学报》、《中国水产科学》等27家期刊负责人或编辑部代表、生物通网站等相关单位的来宾共53人参加了联谊会。中国科学院遗传与发育生物学研究所所长、《遗传学报》《遗传》主编薛勇彪和中国科学院遗传与发育生物学研究所分管期刊工作的副所长袁开文参加了会议。25日晚上,大家欢聚一堂,共同参与演出了一场精彩的文娱节目,欢声笑语不断,度过了一个难忘的圣诞之夜。

在26日上午的座谈会上,《遗传学报》《遗传》副主编李绍武、《植物学报》副主编崔金钟、《动物学报》副主编贾志云和《中国生物工程杂志》执行主编张宏翔等先后介绍了办刊经验。

ISI中国区经理刘焜博士应邀就“SCI与中国生物学期刊”作了专题报告,系统地介绍了SCI的创办与发展历程、SCI选刊标准与程序、中国生物学期刊在SCI中的地位以及《遗传学报》被SCI期刊引用情况的分析等等,受到大家热烈欢迎,现场解答了许多代表的提问。

本次活动得到北京信德创业文化有限公司、玛格泰克科技发展有限责任公司、汇智科贸有限公司、科信印刷厂和宝蓝博生物科技有限公司的大力支持,在此一并表示感谢。