

植物迁地保育与土壤生物互作机制*

傅声雷¹ 姜治平²

(1 中国科学院华南植物园 广州 510650

2 中国科学院生命科学与生物技术局 北京 100864)

摘要 植物迁地保育是植物园的重要功能之一,而植物资源保育及合理利用与我国生物产业发展有着紧密联系。有效保育是合理利用的前提和基础,也是可持续利用的根本。植物迁地保育中出现的植物生长不良或繁殖障碍等现象,严重制约了我国对经济价值高或者珍稀濒危植物的有效保护和可持续利用,因此,分析和鉴别影响植物迁地保育的各种因素,有利于保障植物迁地保育的策略研究。土壤生物群落与植物迁地保育关系密切,而相关研究工作较为薄弱,为此建议加强土壤生物互作机制对植物迁地保育影响的研究。

关键词 植物园,植物迁地保育,土壤生物,互作机制,八角

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2011.01.011



傅声雷研究员

1 引言

植物资源是人类生产、生活资料的根本源泉,也是其他生物赖以生存的食物来源和居所保证,因此,植物资源保育和利用是目前我国乃至国

际上最重要的发展战略之一。但是,由于人类活动加剧和全球气候变化的影响,近年来生物多样性急剧丧失,全球3万多种高等植物约有1/10处于濒危灭绝的状态。据估计,如果不采取有效的保育措施,到本世纪末将有2/3的植物种类从地球上消失。这些物种所受威胁的主要原因有:(1)生境受到严重人为破坏、干扰或片段化,已经不适合这些物种的生存;(2)气候变化造成原生境中的生态因子超过了这些物种生存的阈值;(3)这些物种的经济价值很高而被过度挖采,以致其种群越来越小。在这种情况下,就地保护的效果和可能性均较小。因此,加强植物的迁地保育工作十分重要。目前,在全球范围内,已建立了约2600个植物园,其重要功能之一就是植物迁地保育^[1]。

过去20年,大多数生物多样性的研究都集中在植物多样性以及地上生态过程方面,对于土壤生物多样性以及地下生态过程的报道十分有限^[2]。虽然土壤是陆地生态系统生物种类最丰富、数量最多的亚系统,但是由于其研究方法不完善以及土壤生物的

际上最重要的发展战略之一。但是,由于人类活动加剧和全球气候变化的影响,近年来生物多样性急剧丧失,全球3万多种高等植物约有1/10处于濒危灭绝的状态。据估计,如果不采取有效的保育措施,到本世纪末将

* 修改稿收到日期:2010年10月8日

分类和鉴定复杂,土壤一直被人们当做“黑箱”处理,以致人们对土壤生物不同类群及其互作关系的认识十分模糊。尽管土壤生物种类丰富,但当前仅有少于 10% 的土壤有足类种类被描述过,人们对土壤生物的生态系统功能更是缺乏系统和全面的研究。鉴于此,著名国际期刊 *Science* 在 2004 年的第 304 期上刊登了 7 篇有关土壤学和土壤生物多样性研究的文章,特别强调了土壤生物多样性以及地下生态过程研究的重要性和紧迫性。近年来,植物多样性和土壤生物多样性的关系以及地上-地下生态过程的耦合已越来越受到关注,并逐渐成为生态学研究热点。

植物迁地保育需要遵循气候相似性原则、生境相似性原则和群落相似性原则 3 个主要原则。具体而言,“气候相似性”原则是指植物原产地与引种地的气候条件(如水分、温度)相差不大。一般来讲,同纬度地区的物种互引的成功率较高。“生境相似性”原则是指植物原生境与引种种地的小环境的各种生态因子(如遮光度、土壤类型、地形地貌等)比较接近。“群落相似性”原则是指在原产地该植物可能存在一些伴生种或者与其他植物、动物或微生物形成了一个复杂的有机整体,那么在引种地就应该模拟构建一个类似的多物种群落,以保证植物在迁地保育过程中的成功。如果植物迁地保育不成功,主要原因可能是违背了以上 3 个原则。当然,种子保藏、栽培技术等也都是直接影响植物迁地保育的重要环节。总而言之,在迁地保育过程中,能够获得成功的数以千计的物种都有一个共性,即适应环境;而造成不成功的原因却千差万别。迁地保育过程中任何一个小环节都可能影响物种的种子萌发、生长、繁殖等过程,具体是哪个环节出了问题就值得进行深入地研究。

至今为止,人类可能还无法在大尺度上控制气候条件,但是可以通过模拟自然生境或自然群落来提高植物迁地保育的成功率。模拟自然生境最关键的问题是要了解植物的原生境状况,特别是原生境中的土壤条件(包括土壤的物理结构、化学成分和土壤生物类群)。同样,模拟自然群落的关键是了解自然群落的组成成分,包括植物的伴生种以及土壤生物群落等。由此可见,无论是模拟自然生境还是模拟自然群落,土壤生物群落是必须考虑的重要成分;植物迁地保育很多不成功的现象可能与没有合适的土壤生物群落直接相关。因此,研究土壤生物群落及其互作机制对植物的生存、生长和繁殖的影响,对植物迁地保育具有重要意义。遗憾的是,以往的植物迁地保育研究只是关注气候条件、栽培技术以及土壤水分和养分调节等对植物的影响,而忽视了土壤中最活跃组分——土壤生物群落在植物迁地保育过程中的作用。

2 国内外相关研究动态

2.1 植物迁地保育研究

植物迁地保育是植物多样性就地保护的重要辅助措施,而植物园或树木园是世界公认的植物迁地保育的最重要场所,是稀有、濒危植物最理想的“避难所”。目前,对植物迁地保育关注较多的几个方面包括:(1)优先保育物种的标准和名单确定;(2)最小种群与物种遗传多样性保护的关系;(3)迁地保育物种繁殖特性与遗传稳定性关系。

关于哪些物种应该优先得到保护,国际自然和自然资源保护同盟(IUCN)在 1978 年就出版了《IUCN 植物红皮书》,列出了 250 种全球受严重威胁的、对人类有特别价值的、应该受到优先保护的植物。根据 IUCN 的标准,我国也以植物园为主,开展了对珍稀濒危植物的迁地保育工作,确定了我国首



中国科学院

批珍稀濒危植物 388 种,并对每种植物的形态特征、地理分布、受威胁状况、生物学和生态学特性、保护价值及栽培繁殖技术等做了详细的描述;并解决了一批珍稀濒危植物的繁殖与栽培问题。随后,陆续出版了《中国珍稀濒危植物》和《中国植物红皮书》。至 1994 年,据《中国生物多样性保护行动计划》报道,中国植物区系的 16 000—18 000 个植物种类受到了迁地保育。至 2006 年,我国植物园迁地保育的物种约有 40 000 种,而属于我国植物区系成分的约 20 000 种,占我国区系成分的 2/3^[3]。

众所周知,植物迁地保育的最终目的是保护和维持物种的所有基因特性;但是,关于最小种群与物种遗传多样性保护的关系至今不清楚。一般认为,不管采集的是种子还是活体植物,其来源的个体和居群越多,保存的基因就越全面。然而,由于受到野外资源、植物园面积或种质资源库规模的限制,所采集的样本并不是越多越好,还得综合考虑植物迁地保育效率和可行性。那么,多少样本可以基本代表物种的基因特性呢? Lawrence 报道,每一个居群采集 12 株植物

体是维持物种基因特性的最小样本^[4]。但是,不同学者对此有争议,普遍认为最小种群标准因物种不同而异。我国学者对受威胁物种的最小保护种群也进行了相关研究,并探讨了植物受威胁的定量评价方法、优先保护类型和策略^[5]。与此同时,我国学者还开展了稀有濒危植物在迁地保育过程中遗传多样性保持、群落构建和生境比较等研究。

从物种迁地保育的角度来说,对于植物物种传粉机制和繁育系统的了解是开展有效引种并实施保护的前提。如果没有关于植物繁育系统、传粉机制和种子传播方式的知识,就很难保证植物迁地保育的成功。据初步估计,在亚洲热带亚热带近 10 万种有花植物中,只有约 500 种开展了与传粉生物学有关的研究。Luo et al.发现有些物种(如八角属植物)的发育与传粉昆虫具有专一性^[6];一旦缺失特定的传粉昆虫,植物即使能开花也不能结果,从而无法完成“从种子到种子”的生活史。在植物迁地保育过程中,影响植物物种基因稳定性的因素很多,如何避免种内或种间杂交非常关键。例如,有的学者对植物迁地保育过程中如何避免近亲物种杂



华南植物园迁地保育温室群

交引起的基因污染进行了探讨,认为应该在可能发生杂交的一些物种之间保留足够的空间距离或设置一些物理障碍。研究表明,自交亲和物种的遗传特性容易在物种迁地保育过程中退化;而自交不亲和物种的遗传特性丧失将造成物种繁殖失败和局域性物种灭绝。

2.2 土壤生物互作机制与植物的关系研究

植物的生物量和多样性与土壤生物的互作机制和作用过程密切相关。土壤生物通过互作机制影响植物最典型的例子是甲虫、线虫、细菌和病毒的互作效应与松树的关系。自然界中还存在很多土壤生物之间的多方互作机制,他们与植物的关系也非常密切。土壤微生物本身可与植物形成多种互作机制而影响植物的生长,而被关注最多的是菌根真菌和根瘤菌与植物之间的互利共生关系。这些微生物可以从植物体获得碳源或能量,而它们可以从土壤或空气中吸收养分并供植物利用。菌根真菌能与很多植物根形成共生体,并促进植物生长和提高抗病能力;但是引种后土壤环境发生变化,特别是土壤生物群落的变化将可能导致植物-菌根共生体系的破坏,从而抑制植物的生长。特别值得一提的是,有些植物与菌根真菌具有专一性的共生关系,如果土壤中缺少了这种菌根真菌,植物的生长就受到显著抑制。一些病原微生物通过寄生于植物体而影响植物生长,造成植物死亡或作物减产。土壤动物与植物的寄生关系也有大量报道,特别是根结线虫和包囊线虫等对植物生长的影响。以上所提到的是土壤生物对植物的直接效应,其实土壤生物还通过改变土壤的物理结构和化学成分而间接地影响植物的生长。研究表明,不同土壤生物对土壤物理性状的影响不同。例如:蚯蚓、蚂蚁和白蚁这些“生态系统工程师”,因为它们具有“掘穴”的特性,

对土壤的物理结构(如土壤孔隙度、土壤容重等)影响最大。中型土壤动物如跳虫、螨类等主要通过加速土壤腐殖质的形成而改善土壤结构;小型土壤动物如线虫、原生虫等主要通过调节微生物而影响土壤结构中团聚体的形成^[7]。同样,土壤生物在土壤有机物质的矿化、养分元素的转化、酸碱度的平衡等过程中起着不可替代的作用,其中很多过程是多种土壤生物共同参与完成的。整个土壤食物网就象一个“超级生物体”,不同生物类群就是这个超级生物体的一个组分^[8]。例如,在凋落物的分解过程中,大型土壤动物主要通过噬咬将凋落物粉碎,微生物则最终通过分泌分解酶将凋落物进行分解,其他土壤动物则可以通过取食微生物影响凋落物的分解,而通过凋落物分解回归到土壤的养分可被植物吸收利用。土壤生物对植物的直接效应和间接效应哪一个更显著?这些效应是促进还是抑制植物生长?这些问题一直是土壤生物互作机制与植物关系研究中的难点和热点。另外,土壤生物及其互作机制还可以影响植物的繁殖。研究表明:有的植物与某种传粉昆虫可形成专一性的关系,如果缺少这种昆虫或者它不能成功羽化,植物的传粉就无法完成,导致植物无法进行正常的繁殖。传粉昆虫的老龄幼虫及其羽化是在土壤中完成的,很容易受到土壤中其它生物(如昆虫寄生线虫、捕食螨等)的影响;因此,土壤生物的互作机制与植物繁殖的关系非常密切。虽然土壤生物是土壤生态功能的主要调节者,而且土壤生物之间通过互作机制直接或间接地影响植物的生长和繁殖,但至今还未见到从植物迁地保育的角度去探讨土壤生物互作机制作用的报道。

3 国家重大需求和关键科学问题

植物园建设在植物资源的保育和利用中发挥着举足轻重的作用。植物园无疑是植



中国科学院

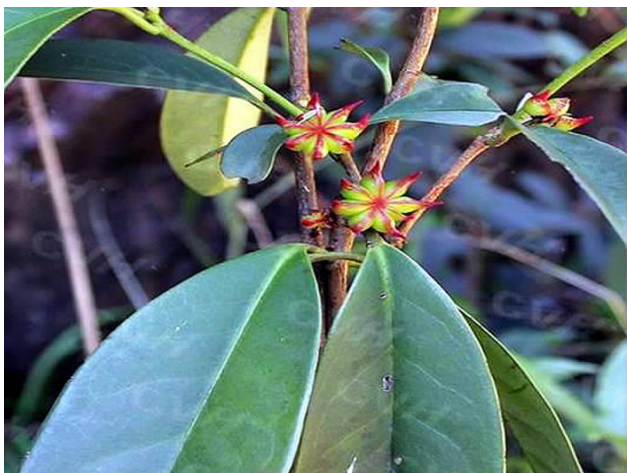
物迁地保育最好的场所,但是,很多植物物种(如八角 *Illicium verum*、红花八角 *Illicium dunnianum*、兰花蕉 *Orchidentha chinensis*、白豆杉 *Pseudotaxus chienii* 等)从原产地引种至植物园的新环境中往往不能成功(如死亡、生长不良或不能自然繁殖)。植物迁地保育是否成功,最基本的标准是能否完成“从种子到种子”生活史过程,并且生产的种子能否成功繁殖第二代的幼苗。许再富等(2008)通过统计我国 11 个主要植物园的植物迁地保育情况,发现成活下来的植物中,生长差的占 12%,已开花的只占 38%,而已结果的只有 24%。他们还发现,我国的植物园迁地保育的国家保护植物中约有 1/3 的种类已经死亡、生长不良或出现了发育障碍。由此可见,我国的植物迁地保育工作还存在不少问题,而如何提高植物迁地保育的成功率对保障我国珍贵、稀有和濒危植物资源的保护和利用具有重要意义。

下面以具有重要经济价值的八角属植物(*Illicium*)为例,来阐述我国植物迁地保育面临的挑战和保障策略。八角属植物属五味子科(*Schisandraceae*),是基部被子植物的代表类群,大多数种类分布于我国^[9]。其中八角(*Illicium verum*)为我国特产的著名香料,具有重要的经济和药用价值,其果实富含茴香

脑及茴香醛,既可直接作为调味品食用,也可制成八角油用以配成中药、名酒、美容品等,还可以深加工成食品香料、工业香料,特殊凝固剂和涂料等,是国际市场上的紧俏商品。同时八角属植物含有多种药用成分,如莽草酸、茴香醚、茴香烯、倍半萜内酯及木质素化合物等。莽草酸是抗流感药物达非(Tamiflu)的主要原料。由于目前莽草酸尚无法工业合成,制药所需大量原料仍只能从八角属果实中提取。2005 年的禽流感曾造成全球范围内八角果实价格飙升,货源严重短缺。

我国虽然是八角属植物的主产地,但该属植物在华南地区迁地保育过程中无法完成“从种子到种子”整个生活史,严重影响了该属植物的资源保护、开发和利用。例如,引种到华南植物园的八角虽然生长很好,而且可以开花;但至今不能结果。我们根据引种 3 大原则进行了详细分析,发现“土壤生物群落”可能是影响八角不能结果的重要因素。我们的依据是:引种地(广东省)的气候与原产地(广西省)相似,符合“气候相似性原则”;而且我们还在八角的引种种地模拟原产地的植物群落构建了相似的植物群落,基本符合“(植物)群落相似性原则”。但是,我们在引种时并没有把原产地的土壤带

回来,没有充分考虑“生境相似性原则”的重要性,这也许就是导致八角引种不成功的原因。从中国的气候分布图和土壤类型分布图来分析,土壤类型的空间异质性更大。同一个气候区往往包含很多土壤类型。如果引种地和原产地的土壤类型有差别,其中的土壤生物群落也会有差异;而土壤生物群落的差异可能就是导致八角在不同地方生长和繁殖出现明显差异的原因。研究表明:八角属



红花八角 *Illicium dunnianum* Tutch

植物雌雄异熟,需要瘿蚊(*Clinodiplosis*)完成授粉。瘿蚊幼体在土壤中结茧、过冬,在第二年植株开花时羽化进入第二个生殖周期。但目前对于瘿蚊的生活史,尤其是其幼虫在土壤中的发育过程及其与土壤环境的相互关系仍缺乏了解。另外,菌根能与八角属植物根形成共生体,以促进植物生长并提高其抗病能力,引种后土壤环境的改变,特别是土壤微生物的变化将可能导致植物-菌根共生体系的破坏,从而影响植物的生长。因此,土壤条件(特别是土壤生物及其互作机制)可能是制约植物物种成功引进的重要因素,研究在迁地保育过程中土壤生物之间互作机制的异同及其对地上植被的影响具有重要的战略意义,同时对全面了解土壤生物及其生态系统功能,揭开土壤“黑箱”的神秘面纱具有重要参考价值。

4 研究工作重点及预期成果

鉴于植物迁地保育过程中出现了大比例的植物生长不良或繁殖障碍的现象,而这些可能与土壤生物群落密切相关,我们认为应加强土壤生物互作机制对植物迁地保育影响的研究,重点关注那些引种至我国不同植物园的经济价值高或者珍稀濒危的植物类群。研究内容包括:(1)土壤生物互作机制类型及其驱动力分析。探讨主要生物类群之间的直接或间接作用,特别是竞争、捕食、共生和寄生关系等;(2)土壤生物互作机制对植物生长的作用。阐明病原菌、菌根和线虫等与其它土壤生物的互作机制对植物成活和生长的影响;(3)土壤生物互作机制对植物繁殖的作用。揭示传粉昆虫与土壤生物(如昆虫寄生线虫、捕食螨等)之间的互作机制及其对植物繁殖和系统发育的影响。

通过这些研究,不仅可以阐明土壤生物互作机制对植物生存、生长和繁殖的影响,对指导保护生物学实践(如植物迁地保育)

具有重要意义;而且有利于丰富土壤食物网和生物多样性维持理论,推动土壤生物学研究的发展;同时,可以建立规范的土壤生物学研究平台,完善土壤生物互作机制研究的方法体系,为国家相关重大研究项目的开展奠定基础。

5 结语

我国已经拥有了一个以中科院为主导的植物园体系,在植物迁地保育以及植物资源开发利用方面做出了重要贡献。但是,与世界上最好的植物园比较,无论是活体植物物种收集还是植物迁地保育的成功率,我国的植物园还任重道远。我们认为,科学的植物园既要注重热点地区的资源调查、重要物种收集等基础性工作,更要加强资源植物的适应性评价等相关研究,为植物资源有效保育与合理利用、生物产业化奠定基础。我们应当努力建设和完善国家科学植物园体系,为我国的社会经济发展做出更大的贡献,并引领世界植物园和植物科学的发展。

主要参考文献

- 1 Namoff S, Husy C E, Francisco-Ortega Javier et al. How well does a botanical garden collection of a rare palm capture the genetic variation in a wild population? *Biological Conservation*, 2010,143: 1110-1117.
- 2 Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004,304: 1 629-1 633.
- 3 许再富,黄加元,胡华斌等.我国近30年来植物迁地保育及其研究的综述. *广西植物*, 2008, 28: 764-774.
- 4 Lawrence M J. A comprehensive collection and regeneration strategy for ex situ conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2002,49: 199-209.
- 5 Xu Z F. Some strategies for ex situ conservation of



中国科学院

- rare and endangered species in Botanical Gardens. In: Proceedings of the Symposium on Botanical Gardens (eds. He SA, Heywood VH, Ashton PS.). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1990.
- 6 Luo S X, Chaw S M, Zhang D X et al. Flower heating following anthesis and the evolution of gall midge pollination in Schisandraceae. American Journal of Botany, 2010, 97: 1 220-1 228.
- 7 Coleman D C, Crossley D A Jr. Fundamentals of Soil Ecology. San Diego: Academic Press, 1996.
- 8 Fu S L, Cabrera M L, Coleman D C et al. Soil carbon dynamics of conventional tillage and no-till agroecosystems at Georgia Piedmont-HSB-C models. Ecological Modeling, 2000, 131 (2-3): 229-248.
- 9 刘玉壶等. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1996, 30(1): 199-231.

Plant ex-situ Conservation and Mechanisms of Soil Biotic Interactions

Fu Shenglei Lou Zhiping

(1 South China Botanical Garden, CAS 510650 Guangzhou

2 Bureau of Life Science and Bio-technology, CAS 100864 Beijing)

Abstract Plant ex-situ conservation is one of the key functions for botanical gardens, and the conservation and rational utilization of plant resources is closely linked with the development of bio-industry in China. Efficient conservation is the precondition and the foundation of rational utilization of plant resources. The unhealthy growth and reproduction failure in the process of plant ex-situ conservation severely limited the efficient protection and sustainable utilization of high-valued and rare and endangered plants; therefore, the analysis and identification of the factors affecting plant ex-situ conservation will aid us to find the good strategies for plant ex-situ conservation. Soil biota plays key role in plant ex-situ conservation, but related work is very limited; for this reason we propose to put more efforts to the studies on interactions between soil biota and plant ex-situ conservation.

Keywords botanical garden, plant ex-situ conservation, soil biota, interaction, *illicium*

傅声雷 中国科学院华南植物园研究员, 博士生导师。1965年8月出生。广东鹤山森林生态系统国家野外科学观测研究站暨中科院鹤山丘陵综合开放试验站站长。2004年入选中科院“百人计划”。2009年获得“国家自然科学基金杰出青年基金”。担任国际权威土壤科学期刊 *Soil Biology & Biochemistry* 编委。主要研究方向为退化生态系统的恢复、土壤生态功能等。
E-mail: sfu@scbg.ac.cn