



•论坛•

试论植物园功能变迁与中国国家植物园体系建设

任海^{1*}, 文香英¹, 廖景平¹, 郑祥慈¹, 杨明², 周桔²

1. 中国科学院华南植物园广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; 2. 中国科学院科技促进发展局生物技术处, 北京 100864

摘要: 植物资源是自然生态系统的基本组成部分, 是经济社会可持续发展的重要物质来源, 植物多样性是关系到国家生态安全和生物安全的战略资源。就地保护和迁地保护是植物多样性保护的两种主要方法, 构建以国家公园为主体的自然保护地体系是就地保护的主要形式, 构建以国家植物园为引领的植物园体系是迁地保护的主要形式, 二者相辅相成, 共同形成我国较为完整的植物多样性保护体系。通过建设国家植物园体系对我国植物多样性进行迁地保护, 同时开展科学研究、园林展示、科普教育和资源开发利用, 对深入推进生态文明建设和高质量发展具有重要意义。本文回顾了植物园的功能变迁、全球和中国植物园分布与数量以及植物迁地保护现状, 讨论了植物园与植物迁地保护的关系, 在此基础上, 提出了我国国家植物园的定义及设立标准, 进而讨论了建设国家植物园体系的意义、挑战、统筹迁地保护和就地保护等问题, 最后提出了我国国家植物园体系的建设目标、管理体制、空间布局和认证等方面的建议, 以期为我国的国家植物园体系建设提供参考。

关键词: 迁地保护; 科学研究; 科普教育; 国家植物园

任海, 文香英, 廖景平, 郑祥慈, 杨明, 周桔 (2022) 试论植物园功能变迁与中国国家植物园体系建设. 生物多样性, 30, 22113. doi: 10.17520/biods.2022113.

Ren H, Wen XY, Liao JP, Zheng XC, Yang M, Zhou J (2022) The view on functional changes of botanical gardens and the establishment of China's national botanical garden system. Biodiversity Science, 30, 22113. doi: 10.17520/biods.2022113.

The view on functional changes of botanical gardens and the establishment of China's national botanical garden system

Hai Ren^{1*}, Xiangying Wen¹, Jingping Liao¹, Xiangci Zheng¹, Ming Yang², Ju Zhou²

1 Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

2 Division of Biotechnology, Bureau of Science and Technology for Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864

ABSTRACT

Background & Aims: Plant resources are the basic component of natural ecosystems and are crucial for sustainable economic and social development. They are also core resources related to national ecological security and biosafety. The conservation of plant diversity mainly includes *in situ* conservation and *ex situ* conservation. The establishment of a natural reserve system with national parks as the main body is the main form of *in situ* conservation. The development of a botanical garden system led by national botanical gardens is mainly for *ex situ* conservation. The two conservation strategies are indispensable and complementary. They jointly form a relatively complete plant biodiversity conservation system in China. The *ex situ* conservation of China's plant diversity through the establishment of a national botanical garden system can also facilitate scientific research, garden display, public education, as well as the utilization of plant resources. It is of great significance to further promote the construction of ecological civilization and high-quality economic development.

Progress: This paper reviews the functional changes of botanical gardens and the current situation of *ex situ* conservation in botanical gardens around the world and China. The botanical garden originated from the cultivation, research and experimental of medicinal plants, and has gone through the development stages of medicinal botanical gardens or university medicinal botanical gardens, tropical (colonial economy) botanical gardens, European classic

收稿日期: 2022-03-17; 接受日期: 2022-04-02

基金项目: 中国科学院战略生物资源服务网络计划

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: renhai@scbg.ac.cn

botanical gardens, municipal botanical gardens and special types of botanical gardens (including agricultural botanical gardens, horticultural botanical gardens, germplasm collection gardens, etc.). At present, *ex situ* conservation of plant diversity and public education are the main functions of botanical gardens. There are more than 3,700 botanical gardens in the world, growing about 1/3 of the world's higher plants. China has 162 botanical gardens, with about 60% of the country's higher plants conserved. There are over 100 national botanical gardens in 43 countries and regions around the world.

Conclusions & Suggestions: This paper discusses the relationship between botanical gardens and plant *ex situ* conservation. On this basis, we put forward the definition and setting standards of national botanical gardens, and then discusses the significance, challenges, coordinating *ex situ* conservation and *in situ* conservation of the national botanical garden system. Finally, suggestions on the establishment goals, management system, spatial layout and certification of China's national botanical garden system are proposed. We hope this paper would provide new insights into future development of the national botanical garden system in China.

Key words: *ex situ* conservation; scientific research; public education; national botanical garden

植物是人类赖以生存的基础, 人类的生活、生产和生态活动都离不开植物。由于土地利用变化、生境破碎化、过度采集、环境污染、外来物种入侵、全球气候变化等外因和部分植物繁殖障碍等内因, 全球约21%的高等植物物种面临灭绝的威胁, 植物多样性的丧失导致生态系统服务功能减弱, 进而影响人类的可持续发展(Dunn, 2017; Chen & Sun, 2018; 马金双, 2022)。因此, 人类面临着保护、恢复和可持续利用植物多样性的挑战(Hulme, 2011; 任海, 2021)。植物多样性的保护主要有就地保护和迁地保护两种方式。国家公园、自然保护区、自然公园等自然保护地是就地保护的机构, 而植物园和种质资源库是迁地保护的机构(Heywood, 2017; Panahi et al, 2021), 二者有机互补, 缺一不可。当前, 我国要加强生态文明建设和绿色发展, 就需要生物多样性资源及相关的知识技术支撑。因此, 国家已规划要本着统筹就地保护与迁地保护相结合的原则, 建设国家植物园体系, 对我国的植物多样性进行有效的迁地保护。本文在回顾植物园功能变迁、全球和中国植物园的植物迁地保护状况、植物园与迁地保护关系的基础上, 对国家植物园的定义、标准以及建设国家植物园体系的意义和挑战进行了讨论, 并针对我国国家植物园体系建设提出建议。

1 植物园与植物迁地保护

1.1 植物园的定义与植物园角色的变化

植物园(botanical/botanic garden)即“植物学的园地”, 不是植物的园地。国际植物园保护联盟(Botanic Gardens Conservation International, BGCI)将植物园定义为: 拥有活植物收集区, 并对收集区

内的植物进行记录管理, 使之用于科学研究、保护、展示和教育的机构(Jackson, 1999)。国际植物园协会(International Association of Botanic Gardens, IABG)将植物园(含树木园)定义为: 一个向公众开放的、其内的植物标有名牌的园地(任海和段子渊, 2017)。BGCI的定义较为严格, 是目前广为接受的定义。全球约有80%的植物园不太注重物种来源, 没有档案记录, 不符合植物园规范, 按BGCI标准这些植物园也不算是严格意义上的植物园。

BGCI把植物园分为“经典的”综合性植物园(“classic” multi-purpose botanical garden)、历史性植物园(historic botanical garden)、观赏植物园、保护性植物园、大学植物园、动植物园、经济植物及种质保存植物园(含树木园)、高山或山地植物园、自然或野生植物园、园艺植物园、主题植物园和社区植物园12类(任海和段子渊, 2017), 其中“经典的”综合性植物园立足于活植物的规范化收集和管理, 并基于这些植物开展科学研究、资源保护、园林展示和公众教育(贺善安等, 2005; Jackson & Sutherland, 2013)。综合性植物园通常由国家资助, 在植物保护、科学研究、科学普及和资源利用方面具有较强的竞争力或较高的水平。全球国家植物园基本上都是综合性植物园。

一般认为, 世界上首个植物园是1545年在意大利建立的Padua植物园。现代意义上的植物园起源于栽培、研究和试验药用植物, 先后历经了药用植物园或大学药用植物园、热带(殖民地经济)植物园、欧洲经典植物园、市政植物园和特殊类型植物园(包括农业植物园、园艺植物园、种质资源收集园等)等发展阶段。植物园的发展过程中, 促进了植物学

的发展和经济植物的利用(Donaldson, 2009; Faraji & Karimi, 2020)。此外, 由于植物园的园艺学、树木栽培、花卉培育和景观园艺满足了人们的审美情趣和植物猎奇需要, 植物园的城市绿地和公众教育功能得以快速发展(Ward et al, 2010)。当前, 欧美发达国家的植物园在注重科学研究的同时, 也加强了综合保护生物多样性和环境教育, 而发展中国家的植物园研究水平还不高, 主要注重珍稀濒危植物保护、经济植物的利用和科普教育(任海, 2006, 2017; 任海和段子渊, 2017)。随着人类世的到来, 在全球变化和生态系统退化的情景下, 人类应该努力创造并生活在一个“花园地球”上, 植物园的物种资源与知识技能可为创建这种人与自然和谐共生的环境提供支撑(Cannon & Kua, 2017)。

1.2 全球和中国的植物园分布与数量

2019年BGCI发布全球有3,500多个植物园和树木园。欧洲植物园数量最多, 北美洲次之, 亚洲第三, 植物资源丰富的南美洲第四, 非洲和大洋洲相对较少。这些植物园中约有51%位于或接近全球生物多样性热点地区(Smith, 2019)。

据中国植物园联盟统计, 我国现有植物园(树木园) 162个, 主要分布于热带(32个)、亚热带(68个)和温带(62个), 寒温带和青藏高原寒带尚无植物园(黄宏文, 2018a)。这些植物园隶属于不同主管单位, 包括科技(含中国科学院)、教育、住房与城乡建设、林草、园林、农业、医药等, 不同隶属关系的植物园其功能和定位不同, 在生物多样性保护、科学研究、园林园艺及环境教育等方面的侧重点也不同(焦阳等, 2019)。

1.3 全球和中国的植物濒危状况及迁地保护

目前估计全球约有高等野生植物50万种, 已命名39万余种, 这些植物中约21%受到生存威胁(Willis, 2017)。全球有树木5,8497种(Beech et al, 2021; BGCI, 2021a), 其中1,7510种(29.9%)濒临灭绝, 400多种在野外的株数少于50, 约142种树木已经野外灭绝, 2/3的树木种类至少在一个保护区内得到就地保护, 大约1/3的树木种类在全球植物园或种子库得到迁地保护(BGCI, 2021b; Gratzfeld et al, 2022)。全球7万多种药用植物中, 约1.5万种受到生存威胁, 723种面临灭绝风险。全球至少有7,039种可食用植物, 但只有417种被驯化为作物, 其余可食

用植物的遗传多样性面临丧失(周桔等, 2021)。

根据BGCI全球植物园数据库(https://tools.bgci.org/garden_search.php)统计, 截至2022年4月, 全球有植物园(树木园) 3,755个, 其中1,193个植物园迁地收集活植物个体和种子 1,581,153份, 代表642,719个分类单元11万多种, 占全球已知高等植物种类约1/3 (https://tools.bgci.org/plant_search.php)。这些植物园还收集保存了全球约41%的濒危植物, 其中有些物种已经野外灭绝(Mounce et al, 2017)。据O'Donnell 和Sharrock (2017)统计, 全球74个国家370个植物园的种子库保存了57,051种野生植物种子。然而, 植物园主要分布在温带, 热带起源的植物有76%没有得到迁地保护, 迁地保护的植物中北半球原生种占了93%; 此外, 只有10%的植物园迁地保育了珍稀濒危植物(Mounce et al, 2017; Gross, 2018)。

《中国生物物种名录》2019版收录植物37,103种, 其中裸子植物264种, 被子植物31,098种(<http://www.sp2000.org.cn/CoLChina>)。中国有树木4,886种(占全球树种的8.3%), 其中几乎一半(2,429种)为特有种, 19.7% (964种)濒临灭绝(Gratzfeld et al, 2022)。覃海宁和赵莉娜(2017)对中国35,784种野生高等植物的评估发现, 灭绝(EX) 21种, 野外灭绝(EW) 9种, 地区灭绝(RE) 10种; 极危(CR) 614种, 濒危(EN) 1,313种, 易危(VU) 1,952种, 近危(NT) 2,818种, 无危(LC) 24,243种; 数据缺乏(DD) 4,804种; 共有3,879种野生高等植物受到威胁(CR、EN和VU), 占评估物种的10.84%, 考虑到有一些物种缺乏数据, 估计实际受威胁比例为15%–20%。2021年调整后的《国家重点保护野生植物名录》包括455种和40类, 共1,101种, 其中I级重点保护54种和4类; II级重点保护401种和36类。中国在2005年首次提出极小种群野生植物(PSESP)概念, 在国家林业和草原局和国家发展与改革委员会发布的《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划》(2011–2015)中, 有120种PSESP被列入其中(孙卫邦等, 2019)。

据对全国35个主要从事活植物收集的植物园的调查发现, 中国植物园迁地栽培活植物344科3,927属24,534种(未发表资料)。中国植物园迁地保育的植物总数占全球迁地保护物种的25%。中国植物园和树木园迁地保护优先种类主要有木兰科、姜

科、棕榈科、蔷薇科、杜鹃科、猕猴桃科、山茶科、药用植物、蕨类植物、裸子植物和中国特有植物, 保育中国特有植物4,624种(黄宏文, 2018b; 任海等, 2022)。列入《中国生物物种名录》(2019)的本土植物有307科2,657属14,897种, 占我国本土植物科的97.5%、属的78.03%、物种的41.63%; 列入2021年《国家重点保护野生植物名录》的有952种; 列入《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》(2013)的灭绝和受威胁植物(EX、EW、RE、CR、EN、VU和NT)有2,224种; 至2018年, 列入IUCN物种红色名录受威胁名单的有3,640种, 列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录的有2,512种。中国植物园迁地保护的受威胁物种数占本土受威胁植物种数的39%。这些迁地保护的植物中, 37%的植物仅在1个植物园中保育, 40%的在2个植物园中保育, 23%的在3个或3个以上植物园中保育(黄宏文, 2018a)。可见, 植物园对我国本土植物多样性保护发挥了积极作用, 同时为中国履行《生物多样性公约》做出了重要贡献。

1.4 植物园与植物迁地保护

建立植物园的最初动机并不是保护, 而是为了教学、利用或展示, 但是, 植物园长期的植物收集和管理客观上起到了对植物的保护作用。以处于植物保护引领地位的英国皇家植物园邱园(Kew)为例, 为了支持英国的扩张和贸易, 邱园在整个发展历史中的主要兴趣在于经济植物, 不断从各个属地收集经济植物, 开展经济植物和生态系统的可持续利用研究, 以至于后来发展了就地保护, 还建立了千年种子库(Prance, 2010)。植物园与迁地保护发生关联的标志性事件发生在1975年, 在邱园举办了关于“活植物收集在植物保护和保护为导向的研究与公众教育中的功能”的国际会议, 关注评价植物园收集、维护、传播、调查和交流受威胁植物物种的方式(Simmons et al, 1976)。20世纪70年代, IUCN开始鼓励对濒危植物进行迁地保护, 植物园作为科学机构得到复兴, 它们拥有活植物收集以及重要物种繁殖方面的科学知识, 许多植物园将保护视为其使命, 植物园自此成为濒危物种的“诺亚方舟”, 承担物种收集并在其栖息地破坏或退化期间保存的任务。

最近几十年来, 植物园收集的活植物及其保护设施被用于应对因人类活动造成的物种多样性丧

失的研究, 现代植物园继而成为本土植物和珍稀濒危植物的迁地保育中心, 是主要的野生物种迁地收集和保护中心(Heywood, 1987, 2017; Watson et al, 1993)。世界各地许多植物园收集和栽培了大量本土植物, 植物园的活植物收集成为迁地保护的基础。活植物收集包括分类学收集、生物地理学收集、保护性收集、本土植物收集、研究性收集、主题收集、生态收集和历史性收集。不管是哪种收集, 都要考虑气候相似性、土壤相似性和收集材料的遗传多样性(Lawrence & Kaye, 2009), 必须对种源有详细的记录。引种驯化后, 植物园主要以专科专属的专类植物、栖息地或利用等主题进行展示, 植物园的植物信息管理系统还要包括引种后的观测记录(任海和段子渊, 2017)。植物园的植物保护是综合保护(Oldfield & Newton, 2012), 既参与就地保护的监测管理与研究, 也对珍稀濒危植物开展迁地保护、回归和野外种群重建, 还为生态修复和资源利用提供材料和技术支持, 同时开展环境教育等(陈进, 2022)。这个过程中, 活植物收集及其信息管理是植物园的灵魂。

Oldfield和Newton (2012)认为, 迁地保护指的是以整株、种子、花粉、营养繁殖体、组织或细胞培养物的形式, 在其自然栖息地之外保存和维护活体样本。迁地保护一般从保护的出发对特别的类群进行引种收集和相关研究。为了达到好的效果, 要注意植物材料的收集类型、收集方法及其档案, 综合考虑物种的生物环境及非生物环境, 对有活力的种质资源进行后续监测和管理。由于人力、物力、财力和空间的限制, 植物园优先引种收集珍稀濒危、特有、经济植物, 以及旗舰种或因气候变化需要人工辅助迁移或具科研价值的种类(文香英和陈红锋, 2022)。在经济植物迁地保护中, 要加强重要粮食作物、果树、花卉、药用植物、工业原材料、牧草物种、多用途树木种质和作物野生近缘植物的收集保护, 同时采取灵活有效的综合保护策略。

当然, 在植物园迁地栽培的植物不等于得到了迁地保护(刘华杰, 2022)。植物园迁地保护主要包括两个核心要素: 一是基于保护为目的的活植物收集, 旨在让植物(或者特定的野外居群)免遭灭绝, 因此, 植物的野外采集应符合相应规范, 并有完整的档案记录; 二是为了保护的后继行动, 在植物园成功

栽培仅是第一步, 还要加强对引种植物的研究, 包括扩大繁殖和相应的生物学特性研究, 并可用于开展野外种群的重建与回归。此外, 植物园种植的植物通常个体数量有限, 不足以代表广泛的基因型, 栽培的“居群”中存在自交风险而影响纯合性, 并与栽培的毗邻物种存在杂交风险, 无性繁殖材料的遗传基础狭窄, 许多栽培植物在人工环境中存活率低, 但是丝毫不能因此而低估植物园的迁地保护作用。植物园已经且还应继续保护本土植物、稀有植物和受威胁植物, 优先保护对于生态系统稳定具有重要价值的物种、人类已经利用而尚未驯化的物种、具有潜在应用价值的物种和农作物近缘种, 积极开展保护性收集, 提高植物个体遗传代表性, 建立种质基因库(任海等, 2017)。

2 国家植物园概况

2.1 国家植物园的定义

国家植物园是由国家批准设立并主导管理, 以迁地保护国家植物多样性为主要目的, 实施国际植物园标准规范的生物多样性整合保护机构, 能代表国家科学研究水准、物种保护基础、科普教育能力、资源利用技术和园林园艺水平。国家植物园应在生物多样性保护、植物资源发掘利用和科学传播方面发挥引领示范作用, 在促进全球和国家应对生物多样性丧失、气候变化和生态系统退化等环境问题上, 为全球和国家生物多样性保护提供科技支撑, 是国家软实力的标志之一。

国家植物园的核心功能是植物迁地保护、科学研究、科学传播、资源开发和利用、公众游憩。其在植物保护工作中的使命是遏制全世界和国家植物物种及其遗传多样性的丧失, 注重防止自然环境的进一步退化, 使公众认识到植物多样性的价值及它们所面临的威胁, 以实际行动改善自然环境, 为实现世界和国家自然资源的可持续利用而努力。

除具有一般植物园的基本功能和设施外, 国家植物园具有专业管理维护的活植物收集专类园区及图书馆、标本馆等设施, 并应用于研究、保护和教育; 拥有杰出的园林园艺展示及信息丰富且具启发性的解说系统, 多层次开展公众教育和技术培训, 并在区域、全国甚至全球范围内积极倡导自然科学教育和保护意识; 开展基于活植物收集的具有国际

水平的科学研究, 是植物保护的区域甚至全球引领者, 具有长期可持续发展规划和保障条件。

可见, 国家植物园代表了一个国家植物迁地保护和研究的最高水平, 承担履行生物多样性保护的国家任务和职能, 是代表国家水平的植物科学和生态科学研究机构; 全球范围收集保育植物多样性, 种质资源及迁地收集物种数量世界领先; 具有世界一流的科普教育水平和园林园艺水平, 有一定的国际影响力, 传承植物园建设发展历史上积累的科学内涵、艺术外貌和文化底蕴(陈进, 2022)。

2.2 全球的国家植物园概况

目前全球43个国家和地区共建有国家植物园100余个, 其中欧洲约50个, 非洲21个, 亚洲14个, 北美洲10个, 大洋洲8个。南非和法国是国家植物园最多的两个国家, 分别有10个和11个; 英国、美国和澳大利亚各有5个; 印度有3个; 爱尔兰、乌克兰、加拿大和瓦努阿图各有2个。英国很早就建立了皇家植物园系列, 分布在英国及英联邦国家和殖民地, 1840年皇家植物园邱园转变为国家植物园, 移交给国家木材和林业办公室实行理事会管理, 促进了植物科学和生态科学进步并产生了极大的影响力(Chris Blandford Associates, 2003)。南非建立国家植物园的历史已逾百年, 目前已建成的10个国家植物园涵盖了全国主要植被类型不同地理区域的植物保护(Carruthers, 2011; Department of Environmental Affairs, Republic of South Africa, 2019)。法国环境部从1975年成立以植物园为主体的植物保护机构, 1976年颁布自然保护法, 1990年逐步批准建立国家植物园, 目前已建立完善的国家植物园体系(Hubert & Kbaier, 2019)。总体上看, 发达国家的国家植物园都是一个体系, 不只是一个植物园。当然, 世界上也有一些知名植物园不是国家植物园, 如美国的密苏里植物园和纽约植物园等。

2.3 国家植物园的标准

目前尚没有国家植物园的建设或认证标准。随着生物多样性保护不断受到重视, 国际上植物园建设的需求越来越多。鉴于植物园管理水平参差不齐, 公众易将植物园与公园混淆而忽视植物园活动的独特价值, 甚至一些政策制定者和资助者也不能充分理解植物园的科学价值和保护意义(BGCI, 2022)。国际植物园界自2000年起开始探索植物园评

价认证和植物园建设标准及体系。BGCI于2017年发布了植物园技术评估报告(Smith & Brown, 2017), 2018年启动了《BGCI全球植物园认证计划》, 最近又对认证计划进行了修改(<https://www.bgci.org/news-events/bgci-updates-botanic-garden-accreditation/>)。IABG也提出了植物园的认证标准(Heywood & Richardson, 2017), 同时还有学者提出国际一流植物园的评价体系(任海, 2006; 任海和段子渊, 2017)和中国植物园标准体系(黄宏文等, 2019)。

IUCN植物园保护秘书处(IUCN-BGCS & WWF, 1989)提出植物园应遵从下述界定标准: (1)具有一定的永久性; (2)植物收集、登录和利用应具有相关的科学原理和依据; (3)收集的植物材料具备科学规范的记录, 包括来源记录, 如野生来源等; (4)对收集保存的植物负有监测职责; (5)植物迁地栽培的各阶段应具有充分的植物标记; (6)向公众开放, 传播知识和文化并提供休闲娱乐; (7)通过展览、教育和宣传向其他植物园、研究机构和公众传播收集植物的信息; (8)与其他植物园、树木园和研究机构交换植物材料; (9)从事植物引种繁殖与栽培技能的研究; (10)开展植物科学、技术及园艺等相关研究。

在南非, 新建国家植物园的基本原则是根据生物多样性保护、园艺潜力、景观特色、教育与研究、土地资源、管理服务以及社区支持、合适的水资源等大多数标准进行战略定位, 同时建立国家植物园网络联盟, 要求参与合作的植物园至少满足以下大多数标准: (1)促进生物多样性研究; (2)促进植物保护/恢复计划; (3)促进环境教育和公众意识提升计划; (4)易于访问并向公众开放; (5)通过标签、小册子、出版物、展示板等解说系统向游客提供生物多样性信息; (6)提高生物多样性意识和当地遗产/文化意识; (7)有明确的任务兼容性愿景、使命和营运计划; (8)促进南非区域本土植物和保育植物的种植、展示和长期维护; (9)促进野生植物收集; (10)致力于员工发展、培训和能力发展; (11)致力于根除外来入侵植物、通过研究和战略伙伴关系产生新的生物多样性知识、促进可持续发展实践等等(Willis & Huntley, 2004; Department of Environmental Affairs, Republic of South Africa, 2019)。

BGCI特别强调, 国际知名的植物园在迁地保护方面要有全球、区域或国家使命: 使公众认识到

植物多样性价值及其所面临的威胁; 采取实际行动改善全球自然环境; 为了子孙后代促进和保证全球自然资源的可持续利用。植物园以植物迁地保护为核心, 其植物资源、科学研究、公众教育、人力资源等可以作为科学权威的机构为如下国际公约及所在国履约提供服务: 《生物多样性公约》(CBD)、《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)、《巴黎气候变化协定》《联合国可持续发展目标2030》(SDGs)、《联合国生态系统恢复十年行动计划(2021–2030)》《联合国防治荒漠化公约》(UNCCD)、《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)、《关于世界自然文化遗产保护的公约》(CCPWCNH)、《国际重要湿地公约》(RC)、《粮食与农业植物遗传资源国际条约》(ITPGRFA)等(Jackson & Sutherland, 2000)。国家植物园要积极参与到全球植物园体系并主导国家的植物园工作, 在履行国际公约中的植物保护和可持续利用方面发挥重要作用, 成为全球性、区域性和全国性的生物多样性保护网络组织的主导者或积极参与者。国家植物园还提倡依法保护国家生物多样性和自然环境, 协助立法或对相关法规文件的具体条款和范围提出建议, 制订国家生物多样性保护行动计划并提出可推广应用的保护措施, 确保植物园及其所发挥的作用能与现有的政策相结合, 为有关政府部门提供专业培训, 提高公众保护意识并参与各类保护活动。

3 中国国家植物园体系建设的思考

3.1 建设国家植物园体系的意义

国家主席习近平2021年10月12日在联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会上宣布: 为加强生物多样性保护, 中国正加快构建以国家公园为主体的自然保护地体系, 逐步把自然生态系统最重要、自然景观最独特、自然遗产最精华、生物多样性最富集的区域纳入国家公园体系, 同时, 本着统筹就地保护与迁地保护相结合的原则, 启动北京、广州等国家植物园体系建设。2021年12月28日, 国务院批复同意在北京设立国家植物园, 批复要求“坚持人与自然和谐共生, 尊重自然、保护第一、惠益分享; 坚持以植物迁地保护为重点, 体现国家代表性和社会公益性; 坚持对植物类群系统收集、完整保存、高水平研究、可持续利用, 统筹发

挥多种功能作用;坚持将植物知识和园林文化融合展示,讲好中国植物故事,彰显中华文化和生物多样性魅力,强化自主创新,接轨国际标准,建设成中国特色、世界一流、万物和谐的国家植物园”。建设国家植物园体系对中国生态文明建设具有重要的意义:

(1)是贯彻落实习近平生态文明思想和促进绿色发展的重要行动。习近平生态文明思想主要内容(实现)人与自然和谐共生、绿水青山就是金山银山、良好生态环境是最普惠民生福祉、(综合治理)山水林田湖草沙冰是命运共同体、最严格制度最严密法治保护生态环境、建设美丽中国、共谋全球生态文明建设、实施绿色发展。植物园的植物多样性保护和可持续利用功能可为这些内容提供源头植物资源和知识资源。同时,植物园也是国家生态文明建设成果的理想展示平台。

(2)是推动形成生物多样性保护国家行动计划和履行联合国《生物多样性公约》《联合国气候变化公约》《联合国十年生态系统修复计划(2021–2030)》和《全球可持续发展目标2030》的重要行动。通过国家植物园延伸至“一带一路”国家,实现“到2050年,与自然和谐共处,生物多样性价值被承认、保护、恢复和可持续利用”,体现大国国际使命与责任担当。

(3)可形成迁地保护体系,与就地保护体系共同保护和可持续利用中国的植物多样性。目前,国家公园–自然保护区–自然公园就地保护体系的建设和体制改革取得了重要进展,约85%的野生植物种类生长在就地保护体系中。目前在植物园和种质资源库中迁地保护的野生植物种类约占60%,建立以国家植物园为主体的植物迁地保护体系,可与就地保护体系互补,有效实现中国植物多样性保护全覆盖和可持续利用。

(4)可建立生物资源保存与发掘利用研发的联动机制,加大种质资源创新产出,支撑我国生物资源发掘利用和生物产业发展。

(5)可以建成国家战略植物资源保育与可持续利用平台和国家植物迁地保护信息系统,通过这个平台可以集聚和培养一支队伍,探索植物园可持续发展工作机制,提升我国的植物学科水平、自然教育与生态文明科学素养,满足人民对优美游憩环

境的美好生活需求。

(6)建设国家植物园体系有利于探索建立国家植物迁地保护法规体系,为植物资源的保护和可持续利用提供法律依据并丰富习近平法治思想。

3.2 建设国家植物园体系的挑战

相较于欧美发达国家,中国植物园建设虽然起步较晚,但始终以科技创新驱动经济发展和推进我国生态文明建设为使命,在植物资源保护、科研、科普和利用方面取得了较好的进展,并开始在国际植物园界发挥重要作用。但中国植物园建设还存在如下问题:

(1)缺少国家层面的统一规划与管理。我国植物园的管理分散在各部门、地方、企业、个人等,导致分布不均衡,缺乏统一的科学规划和协调机制,重要地区和极端生境植物园欠缺,相似环境地区重复分布,不少植物园对其愿景、使命、任务和主要工作内容不清,公园化倾向和同质化现象严重。

(2)未能充分发挥植物迁地保护功能。中国的植物园仅迁地收集保存了约60%的野生植物种类,而且就地保护未覆盖的很多种类并没有在植物园中迁地保护,植物园迁地保护网络不能与就地保护国家网络形成保护合力。此外,植物园缺乏关于迁地保护整合技能、知识和规程,迁地保护效率不高且效果有待提升。植物园与种子库、种质资源库、资源圃之间的联系也不够紧密,不利于种质资源,尤其是农作物野生近缘种的安全保存(Ulian et al, 2019)。

(3)建设水平参差不齐,主要功能发挥不够。由于植物园建设缺乏统一标准,众多植物园缺乏植物引种和保育设施,数据及信息管理滞后,基础研究薄弱。植物园保护功能与科学研究结合不紧密,针对我国特有植物类群的研究缺乏系统性、战略性和前瞻性;迁地保护植物的系统整理、评价、发掘和利用远不能适应我国生物产业快速发展以及国家经济社会发展的需要。对生态文明建设、美丽中国建设以及“一带一路”等的支撑作用不够。

(4)科普工作缺乏系统化和专业化。科普教育是植物园主要功能之一,当前我国植物园的科普内容主要是自然教育。世界著名植物园多针对不同受众进行针对性的活动设计,例如邱园从3–16岁,每隔3岁设计一套科学知识标准,制定短期循环固定课

程,并制定了科普活动评估体系,实现对参与者的跟踪反馈,具有很强的专业性、科学性与系统性。而我国植物园科普活动未受到充分重视,主要以观光旅游和“花海”欣赏为主,缺乏针对性设计、专业科普教育人员、专业系统课程和品牌活动。

(5)人才不足和经费保障不力。我国在国际植物园界有重要影响力的顶级科学家和园艺大师偏少,很多中小型植物园人员队伍不健全,缺乏较全面的管理、保护、科研、科普和利用团队。此外,全国植物园的经费收支差异较大,许多植物园由于经费不足,导致人员少及设施落后,植物保护功能缺失,全国仅有约22%的植物园有引种档案记录。

3.3 统筹迁地保护和就地保护的思考

我国的就地保护和迁地保护都进入了由数量发展到质量发展的新阶段,需要统筹考虑植物就地保护和迁地保护,两者互为补充、缺一不可,同时为遏制生物多样性丧失和资源可持续利用服务。就地保护在原生境的保护、实时监测、种群变异研究方面具有优势。迁地保护在植物的抢救性保护、种质保存、繁殖栽培、评价利用方面具有优势。在全球变化、环境污染、生物入侵、生态系统退化背景下,迁地保护会面临局限性,基于生境多样性、物种多样性和遗传多样性的物种濒危机制考虑就地保护和迁地保护的整合是必然趋势。

在国家层面,统筹以国家公园为代表的国家就地保护体系和以国家植物园为引领的国家迁地保护体系,就是要通过综合考虑物种的就地保护和迁地保护,共同制订国家保护行动计划,最终把我国的植物多样性全部有效保护起来,并实现可持续利用。我国已有28,385种、约77%的本土高等植物生长在国家公园和自然保护区中,约80%的国家重点保护野生植物、84.4%的珍稀濒危植物(红皮书所列植物)和约30%的极小种群野生植物生长在国家或省级自然保护区中(Ren, 2020),余下的植物种类除极少数可以通过扩大保护区或建立保护小区实现就地保护外,只有通过植物园、树木园或种子库的迁地保护才具有经济性和可行性。在统筹考虑就地保护和迁地保护时,可以从空间上整体规划和空间布局,在不同气候带和植被区建立国家公园、自然保护区 and 自然公园。同时,就近建立国家植物园、一般植物园和种子库或资源圃,依据气候相似性和

土壤相似性可以高效近地迁地保护区域内的特有植物、珍稀濒危植物和经济植物,可以为区域内的生物多样性保护和生态系统修复提供系统性与整体性方案。统筹就地保护和迁地保护,还可以促进生物多样性形成与维持机制、生物多样性受威胁原因及其响应机制等方面的研究,为生物多样性长期监测与评估、生物多样性保护信息系统建设服务。特别是将就地保护和迁地保护数据进行整合评价,可以制定更为具体和量化的生物多样性就地保护目标,同时为评价发掘和产业化利用生物多样性、为我国生物产业快速发展提供支撑。

在国家植物园体系层面,也要统筹考虑就地保护和迁地保护。建设国家植物园体系时,除要考虑把没有实现就地保护的植物物种纳入迁地保护外,在空间布局和代表性方面要综合考虑生物多样性热点地区、气候带与典型植被及植物区系分布,同时要考虑国家重大战略区域的生态屏障带和生态敏感区的代表性。国家植物园体系要考虑同一种植物在不同植物园间的备份问题,特别是对农作物野生近缘种的遗传多样性保护,在形成中国植物的迁地保护体系和网络的基础上,以区域为结点,与就地保护网络无缝对接。

在单个国家植物园层面,在考虑植物保护时就要从就地保护和迁地保护的整合保护出发。在引种前,对就地保护的植物进行监测或生态生物学研究,为迁地保护的种质或活体植物保存提供科学依据;而迁地保护成功的活植物或种子则可用于野外回归和种群恢复,保持种群在一定区域内存活,增强就地保护效果;国家植物园在迁地保护时,对优先保护的种类要考虑遗传多样性,收集代表不同居群的材料,为可持续利用提供基础。国家植物园还可以通过与国家公园等合作,共同开展相关植物的科学研究、园林园艺和科普教育。

3.4 中国国家植物园体系建设的建议

(1)要明确中国国家植物园体系的建设目标,即建成具中国特色、世界一流的国家植物园体系。通过顶层设计与改革创新,以问题导向和各利益相关方共同参与,推动全国范围内植物园科学设置和规范管理,制订国家植物园标准体系,2035年前建成国家植物园体系,探索与国际接轨且符合国情的植物园可持续运营的新体制机制和模式,完善植物

迁地保护和利用的法律法规、管理和监督制度。前期参与试点的国家植物园成为集植物迁地保护、科学研究、科学传播、园艺展示以及植物资源开发利用等功能为一体的世界一流且具中国特色的国家植物园,实现中国85%以上野生本土植物的迁地保护,珍稀濒危植物100%迁地保护和20%以上的野外回归。促进植物迁地保护过程中与科学研究、资源利用和科普教育的融合,探索植物资源保护与利用权衡的新方式,为国家生态文明建设和绿色发展提供源头植物资源、技术和知识。

(2)要明确中国国家植物园体系的管理体制。启动国家植物园体系建设,需要进行国家植物园的顶层设计,明确管理体制,启动相关立法程序,形成国家植物园建设的基本框架。我国国家植物园由国务院批准设立,由国家林业和草原局主导管理,联合相关部委共建共管共享,成立由国际和国内知名专家组成的科学指导委员会进行科学把关。各植物园不改变隶属关系,但建设和运营标准要统一。国家植物园体系建设可采取“试点先行,建立标杆;孵化培育,优中选优;提高完善,正式运行”的“三步式”运行办法,逐步形成可复制、可推广的制度和模式。国家植物园体系建设经费可通过多渠道筹集,在争取专项资金的同时,发挥地方及部门的积极性。同时考虑国家植物迁地保护体系。这个体系以若干国家植物园为主体,由种质资源库、区域综合性植物园和若干特色植物专类园为组成,形成覆盖全国主要气候带与植被类型的植物迁地保护、研究、科普、利用和人才网络,同时建立植物资源保护与发掘利用的联动机制,支撑我国的生物资源发掘利用和生物产业的发展,进而支撑生态文明建设和绿色发展。

(3)要规划好中国国家植物园体系的空间布局。中国是生物多样性大国,我国的全球生物多样性热点地区有3.5个,同时我国横跨6个气候带并有8个主要植被类型,非常有必要在生物多样性热点地区及每个气候带植被区内建设1-2个国家植物园。通过叠加中国生物多样性热点地区(含国家重点生态功能区)、中国气候带与典型植被区划及植物区系分布、国家重大战略区域、现有综合实力较强的植物园、当地社会经济发展较快且强烈支持等5个因素,在保证植物园基本标准与科学内涵的基础上,形成


首批国家植物园试点名单,这些国家植物园可充分利用现有资源,突出优势,强调特色,进行功能的差异化发展,最终与其他植物园和种质资源库等形成中国植物的迁地保护体系和网络。

(4)要制定中国国家植物园体系认证的标准并开展认证。国家植物园应该具有科学的内涵、艺术的外貌、文化的底蕴、国际的标准和中国的特色。以定性和定量相结合、自评和第三方评估结合的办法进行认证。在建设国家植物园试点期间,需要建立国家植物园认证标准。这个标准包括基本(界定性)标准、管理运行标准和专业绩效(含保护、科研、科普和利用)标准。

全球植物园已有500余年的发展历史,植物园在人类发展过程的不同时期扮演不同的角色,发挥着不同的功能。当今世界面临着生物多样性丧失、生态系统退化、全球变化和可持续发展的挑战。2021年在昆明召开的联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(COP15)发布的《昆明宣言》呼吁全球各方要采取行动,响应共建地球生命共同体号召,遏制生物多样性丧失,增进人类福祉,实现可持续发展。第二阶段会议将制订与通过《2020年后全球生物多样性框架》,以实现到2050年“与自然和谐共处,生物多样性价值被承认、保护、恢复和持续利用”的目标。中国提出统筹协调就地保护与迁地保护相结合的原则,建设以国家植物园为引领的综合性迁地保护体系可以部分解决人类面临的这些问题。虽然建设中国国家植物园体系任重道远,但可以预见,通过改革创新,科学建园,最终将建成国家植物园体系,服务生态文明建设,实现人与自然和谐共生。

致谢: 本文主要思想形成过程中曾通过不同方式得到洪德元、马克平、陈进、黄宏文、周志华、胡永红、汪小全、王青峰、杨永平、赵世伟、贺然、张佐双、郭勤峰等先生的指点或建议。感谢审稿人和责任编辑对本文提出的修改意见。特此致谢!

ORCID

任海  <https://orcid.org/0000-0002-3744-8007>

参考文献

Beech E, Hills R, Rivers MC, Oldfield SF, Smith PP (2021)

- GlobalTreeSearch download 1.5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33593.90725>.
- BGCI (2021a) GlobalTreeSearch online database. https://tools.bgci.org/global_tree_search.php. (accessed on 2022-01-22).
- BGCI (2021b) State of the World's Trees. BGCI, Richmond, UK.
- BGCI (2022) BGCI Accreditation. Botanic Garden Accreditation Standards Manual. Version 2.0 (2022) Botanic Gardens Conservation International, UK.
- Cannon CH, Kua CS (2017) Botanic gardens should lead the way to create a "Garden Earth" in the Anthropocene. *Plant Diversity*, 39, 331–337.
- Carruthers J (2011) Trouble in the garden: South African botanical politics Ca.1870–1950. *South African Journal of Botany*, 77, 258–267.
- Chen G, Sun WB (2018) The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science. *Plant Diversity*, 40, 181–188.
- Chen J (2022) Some thoughts about China's national botanical garden system construction. *Biodiversity Science*, 30, 22016. (in Chinese) [陈进 (2022) 关于我国国家植物园体系建设的一点思考. *生物多样性*, 30, 22016.]
- Chris Blandford Associates (2003) Royal Botanic Gardens, Kew, World Heritage Site Nomination Document. Royal Botanic Gardens, Kew and Historic Royal Palaces, Richmond, London.
- Department of Environmental Affairs, Republic of South Africa (2019) Draft National Botanical Garden expansion strategy 2019–2030. *Government Gazette*, Vol. 653, 15 November 2019.
- Donaldson JS (2009) Botanic gardens science for conservation and global change. *Trends in Plant Science*, 14, 608–613.
- Dunn CP (2017) Biological and cultural diversity in the context of botanic garden conservation strategies. *Plant Diversity*, 39, 396–401.
- Faraji L, Karimi M (2020) Botanical gardens as valuable resources in plant sciences. *Biodiversity and Conservation*, <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01926-1>.
- Gratzfeld J, Wen XY, Jones M, Rivers M (2022) Safeguarding China's native trees—A review of integrated conservation practices between 2008 and 2020. *Global Ecology and Conservation*, 35, e02101.
- Gross M (2018) Can botanic gardens save all plants? *Current Biology*, 28, R1075–R1078.
- He SA, Zhang ZS, Gu Y (2005) *Botanical Garden Sciences*. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [贺善安, 张佐双, 顾姻 (2005) *植物园学*. 中国农业出版社, 北京.]
- Heywood V, Richardson M (2017) Accreditation for Botanic Gardens. International Association of Botanic Gardens, Information paper No. 1. <http://iabg.scbg.cas.cn/resourcecentre/papers/201806/P020180625586626114026.pdf>.
- Heywood VH (1987) The changing role of the botanic garden. In: *Botanic Gardens and the World Conservation Strategy* (eds Bramwell D, Hamann O, Heywood V, Synge H). Academic Press, London.
- Heywood VH (2017) The future of plant conservation and the role of botanic gardens. *Plant Diversity*, 39, 309–313.
- Huang HW (2018a) *Chinese Botanical Gardens*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [黄宏文 (2018a) *中国植物园*. 中国林业出版社, 北京.]
- Huang HW (2018b) "Science, art and responsibility": The scientific and social function changes of a 500-year history of botanical gardens. II. Intension of sciences. *Biodiversity Science*, 26, 304–314. (in Chinese with English abstract) [黄宏文 (2018b) "艺术的外貌、科学的内涵、使命的担当"——植物园500年来的科研与社会功能变迁(二): 科学的内涵. *生物多样性*, 26, 304–314.]
- Huang HW, Liao JP, Zhang Z (2019) *Chinese Botanical Gardens Standards System: Defining Standards, Technical Specification, Performance Evaluation and Certification System*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [黄宏文, 廖景平, 张征 (2019) *中国植物园标准体系: 界定标准、技术规范、绩效评价与认证体系*. 科学出版社, 北京.]
- Huang HW, Liao JP, Zhang Z, Zhan QQ (2017) *Ex situ* flora of China. *Plant Diversity*, 39, 357–364.
- Hubert L, Kbaier R (2019) *Les conservatoires botaniques nationaux, Bilan de l'organisation actuelle*. Ministère de la Transition écologique et Solidaire, Paris, France.
- Hulme PE (2011) Addressing the threat to biodiversity from botanic gardens. *Trends in Ecology & Evolution*, 26, 168–174.
- IUCN-BGCS, WWF (1989) *The Botanic Gardens Conservation Strategy*. IUCN Botanic Gardens Conservation Secretariat, Kew Richmond UK and WWF and IUCN Gland, Switzerland.
- Jackson PSW (1999) Experimentation on a Large Scale—An Analysis of the Holdings and Resources of Botanic Gardens. *Botanic Gardens Conservation News*, 3(3), December 1999. Botanic Gardens Conservation International, UK.
- Jackson PSW, Sutherland LA (2000) *International Agenda for Botanic Gardens in Conservation*. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, Surrey.
- Jiao Y, Shao YY, Liao JP, Huang HW, Hu HB, Zhang QF, Ren H, Chen J (2019) Status and future strategies of Chinese botanical gardens. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 34, 1351–1358. (in Chinese with English abstract) [焦阳, 邵云云, 廖景平, 黄宏文, 胡华斌, 张全发, 任海, 陈进 (2019) 中国植物园现状及未来发展策略. *中国科学院院刊*, 34, 1351–1358.]
- Lawrence BA, Kaye TN (2011) Reintroduction of *Castilleja levisecta*: Effects of ecological similarity, source population genetics, and habitat quality. *Restoration Ecology*, 19, 166–176.
- Liu HJ (2022) Site selection of national botanic gardens of China and *ex-situ* conservation. *Biodiversity Science*, 30, 22006. (in Chinese) [刘华杰 (2022) 中国国家植物园选

- 址与迁地保护. 生物多样性, 30, 22006.]
- Ma JS (2022) Why should Beijing be the first choice for the establishment of the National Botanical Garden? Biodiversity Science, 30, 22013. (in Chinese) [马金双 (2022) 国家植物园设立为何首选北京? 生物多样性, 30, 22013.]
- Mounce R, Smith P, Brockington S (2017) *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. Nature Plants, 795–802.
- O'Donnell K, Sharrock S (2017) The contribution of botanic gardens to *ex situ* conservation through seed banking. Plant Diversity, 39, 373–378.
- Oldfield S, Newton AC (2012) Integrated Conservation of Tree Species by Botanic Gardens: A Reference Manual. Botanical Gardens Conservation International, Richmond, UK.
- Panahi P, Jamzad Z, Jalili A, Sagheb Talebi K, Pourhashemi M (2021) The role of the National Botanical Garden of Iran in *ex situ* conservation of *Buxus hyrcana* Pojark, An endangered species. Urban Forestry & Urban Greening, 57, 126951.
- Prance GT (2010) A brief history of conservation at the Royal Botanic Gardens, Kew. Kew Bulletin, 65, 501–508.
- Qin HN, Zhao LN (2017) Evaluating the threat status of higher plants in China. Biodiversity Science, 25, 689–695. (in Chinese with English abstract) [覃海宁, 赵莉娜 (2017) 中国高等植物濒危状况评估. 生物多样性, 25, 689–695.]
- Ren H (2006) The Theory and Practice of Classical Botanical Garden Construction. Science Press, Beijing. (in Chinese) [任海 (2006) 科学植物园建设的理论与实践. 科学出版社, 北京.]
- Ren H (2017) The role of botanical gardens in reintroduction of plants. Biodiversity Science, 25, 945–950. (in Chinese with English abstract) [任海 (2017) 植物园与植物回归. 生物多样性, 25, 945–950.]
- Ren H (2020) Conservation and Reintroduction of Rare and Endangered Plants in China. Springer, Berlin.
- Ren H (2021) Progress of Implementation on the Global Strategy for Plant Conservation (2011–2020) in China. Science Press, Beijing. (in Chinese and in English) [任海 (2021) 中国履行《全球植物保护战略(2011–2020)》进展报告. 科学出版社, 北京.]
- Ren H, Duan ZY (2017) The Theory and Practice of Classical Botanical Garden Construction, 2nd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese) [任海, 段子渊 (2017) 科学植物园建设的理论与实践(第二版). 科学出版社, 北京.]
- Ren H, Jin XH, Wang RJ, Wen XY (2022) Plant Diversity and Conservation in China. Henan Science and Technology Press, Zhengzhou. (in Chinese) [任海, 金效华, 王瑞江, 文香英 (2022) 中国植物多样性与保护. 河南科学技术出版社, 郑州.]
- Simmons JB, Beyer RI, Brandham PE, Lucas GL, Parry VTH (1976) Conservation of Threatened Plants. Plenum Press, New York and London.
- Smith P (2019) The challenge for botanic garden science. Plants, People, Planet, 1, 38–43. DOI: 10.1002/ppp3.10
- Smith PP, Brown YH (2017) How do you define a botanic garden compared to all the other types of garden? Botanic Gardens Conservation International, Richmond, Surrey, UK.
- Sun WB, Yang J, Dao ZL (2019) Study and Conservation of Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province, China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [孙卫邦, 杨静, 刀志灵 (2019) 云南省极小种群野生植物研究与保护. 科学出版社, 北京.]
- Ulian T, Pritchard HW, Cockel CP, Mattana E (2019) Enhancing food security through seed banking and use of wild plants: Case studies from the Royal Botanic Gardens, Kew. In: Encyclopedia of Food Security and Sustainability (eds Ferranti P, Berry EM., Anderson JR.), pp. 32–38. Elsevier, Amsterdam.
- Ward CD, Parker CM, Shackleton CM (2010) The use and appreciation of botanical gardens as urban green spaces in South Africa. Urban Forestry & Urban Greening, 9, 49–55.
- Watson G, Heywood WV, Crowley W (1993) North American botanic gardens. Horticultural Reviews, 15, 1–62.
- Wen XY, Chen HF (2022) Botanical gardens and *ex situ* conservation of the wild plant species. Biodiversity Science, 30, 22017. (in Chinese) [文香英, 陈红锋 (2022) 植物园与野生植物迁地保护. 生物多样性, 30, 22017.]
- Willis CK, Huntley BJ (2004) Establishing National Botanical Gardens in South Africa. SABONET News, 9(1), 5–13.
- Willis KJ (2017) State of the World's Plants 2017. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Zhou J, Yang M, Wen XY, Li N, Ren H (2021) Strengthen *ex situ* conservation of plants and promote protection and utilization of plant resources. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 36, 417–424. (in Chinese with English abstract) [周桔, 杨明, 文香英, 李楠, 任海 (2021) 加强植物迁地保护, 促进植物资源保护和利用. 中国科学院院刊, 36, 417–424.]

(责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣)