•保护论坛•

“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

黄宏文*

(中国科学院华南植物园, 广州 510650)

摘要: 世界植物园500多年来的科研行进轨迹既是整个生物学发展史的一个缩影, 也表现出人类对植物资源发掘与利用, 使之服务于经济与社会发展的不懈追求。从16–17世纪的植物园主要研究药用植物并发掘药物, 到18–20世纪以来从植物分类学逐步拓展至众多植物学分支学科, 进一步发展到当今的植物分子生物学及基因组、代谢组学等等。植物园在长达几个世纪的发展进程中, 其科学研究内涵始终贯穿其中, 既奠定了18世纪植物分类学的根基, 也对18世纪以来许多生物学发现及其理论体系的建立作出了不可磨灭的贡献。同时, 16世纪以来跨大陆、跨地区、跨国家之间的植物引种驯化及其发掘利用与传播深刻改变了世界经济社会格局, 影响了一些国家的兴衰。在近代500多年的植物引种驯化与传播过程中, 植物园发挥了引领作用。本文试图对植物园500年来的科学研究轨迹进行梳理, 展望当今植物园在植物宏观与微观生物学及其大数据时代相关研究领域的发展趋势, 为我国植物园的科研方向提供可借鉴的参考。

关键词: 植物分类; 植物生物学; 植物引种与传播; 迁地保护; 栽培植物

“Science, art and responsibility”: The scientific and social function changes of a 500-year history of botanical gardens. II. Intension of sciences

Hongwen Huang*

South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

Abstract: The advance trajectory of scientific research in the world botanical gardens over past 500 years is not only a microcosm of the whole history of biological sciences, but also reveal the unremitting pursuit of mankind exploration and utilization of plant resources for development of economy and society. From the 16th–17th centuries, botanical garden's main studies on medicinal plants and drug discovery, to the 18th–20th centuries' founding plant taxonomy and then branching to various botanical disciplines, to nowadays' plant molecular biology and genomics, metabolomics and so on, scientific research connotation of botanical gardens have been mainstream process during these centuries when not only laid the foundation of plant taxonomy in the 18th century, but also made indelible contributions to many biological discoveries and establishment of theoretical system since the 18th century. Meanwhile, since the 16th century, the introduction and domestication of crop plants across continents, regions and countries have profoundly changed the world economic and social structure and affected the rise and fall of many countries. The botanical gardens have played a pilot and leading role for introduction and spread of crop plants over the past 500 years. This paper attempts to review historical track of intension of sciences of botanical gardens in recent 500 years for revealing future trend of the research fields relating to plant macro and micro biology and era of big data in today's botanical gardens in order to provide reference of valuable thinking for scientific research in botanical gardens of China.

收稿日期: 2017-12-19; 接受日期: 2018-02-05

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2015FY210100)

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

Key words: plant taxonomy; plant biology; plant introduction and spread; *ex situ* conservation; cultivated plants

纵观现代植物园500余年的发展历史,植物园作为植物学专门研究机构,科学研究始终是其发展的主流。植物园不同于公园,是因为植物园有着深厚的科学内涵,是从事植物基础生物学研究、植物资源收集与评价、植物资源发掘与利用的综合性研究机构。尤其是以活植物收集栽培与发掘利用为主导的科学研究始终贯穿植物园的发展史,是植物园的灵魂。

最早建于16世纪中叶的一些植物园如意大利帕多瓦植物园(Padua, Italy, 1545)等,都致力于植物科学的研究。16–17世纪的植物园主要研究药用植物并发掘药物,18–20世纪以来则主要从事植物分类学研究并逐步拓展至一些植物学分支学科,如植物形态学、植物器官及解剖学、物候学、植物化学、植物遗传学以至当今的植物分子生物学及基因组学、代谢组学等等。世界植物园500多年来的科研发展轨迹既是整个生物学发展史的一个缩影,也表现出人类对植物资源发掘与利用并使之服务于经济与社会发展的不懈追求。

1 现代植物分类学研究的起源

1.1 腊叶标本的制作与标本馆的创立

植物学起源于古希腊,被称为植物学之父的泰奥弗拉斯托斯(Theóphrastus, 公元前约371–287)创立了最初的植物学概念和思想。而作为现代植物学根基的植物分类学却是欧洲文艺复兴时期的产物。植物园作为早期植物研究的平台发挥了重要作用。例如,著名自然学家与植物学家卢卡·吉尼(Luca Ghini, 1490–1556)于1544年在创建比萨植物园并作为该园首任园长期间,发明了腊叶标本的制作,为植物标本馆的诞生及创新现代分类学研究开创了先河(von Engelhardt, 2012)。他还创建了世界上第一个标本馆。正如15世纪欧洲开始应用中国发明的活字印刷术,使得图书馆极大提高了文献收藏与检索能力一样,植物腊叶标本的发明与标本馆的创立使植物标本得以系统地分门别类存放和长期研究。这一发明克服了野外观察的时间限制,对植物形态和结构的研究可以随时随地进行,同

时也大大改善了15世纪用植物写真画保存植物形态原貌的繁重劳动与技术限制。虽然15世纪众多绘画大师如达·芬奇(Leonardo Di Serpiero Da Vinci, 1452–1519)和阿尔布雷特·丢勒(Albrecht Dürer, 1471–1528)等都留下一批载入史册的植物写真作品,但这些绘画作品在植物分类学研究史中的痕迹甚微。

1.2 双命名法的诞生

18世纪双命名法的诞生和推广应用开启了动植物分类学的新纪元。林奈(1707–1778)于1738年完成欧洲游学回到家乡瑞典,在母校乌普萨拉大学任教。1741年开始任乌普萨拉大学植物学教授及乌普萨拉植物园园长,直到1778年去世,期间教书育人、著书立说的30多年时间与植物园的研究与教学关系十分密切。1753年,林奈发表了《植物种志》(*Species Plantarum*),被国际公认为现代植物系统命名法的开端。虽然林奈最初引入双命名法时自认为只是一个小的进步,但是在其后的10年间,同时代的著名植物学家如约翰内斯·布尔曼(Johannes Burman)、彼得·奥斯贝克(Pehr Osbeck)、尼古拉斯·劳伦斯·布尔曼(Nicolasas Laurens Burman)、尼古拉斯·雅克金(Nicholas Jacquin)和威廉·赫德森(William Hudson)等都开始采用双命名法进行物种命名。至1770年林奈双命名法已被大多数植物学家所接受并应用(Jarvis, 2007),由此开创了统一的生物命名法则,使原本对植物界零乱无章的认知变得有序。

1.3 林奈的分类系统与植物分类学的发展

从1735年林奈发表《分类系统》(*Systema Naturae*)后的近40年,林奈将毕生精力用于建立动植物以至矿物的分类系统。尤其是在1741年后,他在主持乌普萨拉植物园重建的过程中,在园区规划及植物配置中严格采用了他提出的分类系统,试图证明其理论的可行性(Blunt, 2002)。虽然林奈这个系统因其明显的主观性被19世纪后期其他更自然的系统取代,特别是19世纪中期后甚至不再被用于植物园的植物配置设计(Jarvis, 2007),但他1751年发表的《植物学》(*Philosophia Botanica* or

The Science of Botany)却详尽阐述了植物园的管理与植物栽培要点(Freer, 2003)。此外,林奈的植物教学通常是在植物园的环境中进行,鼓励学生眼见为实,不要迷信学术权威。可见植物园对18–19世纪的植物分类学的奠基和发展产生的重要影响和贡献。

18–19世纪的植物园作为植物分类学的研究中心,除了林奈的杰出成就,还有许多划时代的里程碑事件。特别是当时的一批植物园园长、著名植物学家对植物分类学作出了划时代的贡献,发表了一大批重要的科、属与植物志专著(Heywood, 2015)。例如,乔瓦尼·阿坎格利(Giovanni Arcangeli, 1840–1921)于1882年任比萨植物园园长,他于1892年发表的意大利植物志纲(*Compendio della Flora Italiana*)首次提出了亚种的概念,受到植物界广泛赞誉。为了纪念他对植物分类学的贡献,防己科古山龙属(*Arcangelisia*)以他的姓氏命名。又如,瑞典植物学家奥古斯丁·彼拉姆斯·德堪多(Augustin Pyramus de Candolle, 1778–1841)曾任法国蒙彼利埃植物园园长,除命名了许多植物种、属外,长期致力于对植物科的水平及其进化关系的梳理,建立了早期几百个科之间自然的植物分类系统,并因此被载入史册。再如,西班牙著名植物学家、马德里皇家植物园园长安东尼奥·何塞·卡列尼列(Antonio José Cavanilles, 1745–1804)致力于植物分类学研究,在其短暂的一生中命名了至少100个属的植物,其中有54个属至今仍被使用,例如大丽花属(*Dahlia*)、萼角花属(*Calycera*)、电灯花属(*Cobaea*)和条蕨属(*Oleandra*)等。植物园与植物分类学最具划时代意义的里程碑则是阿道夫·恩格勒(Adolf Engler, 1844–1930)在德国柏林植物园创立的恩格勒植物分类系统(Engler System)。恩格勒于1889–1921年在德国柏林大学任教授并任柏林植物园主任长达32年,毕生致力于植物分类学和系统学研究。恩格勒于1892年首次发布了植物分科纲要(Engler, 1892),之后不断再版、补充直到20世纪80年代中期,是植物分类学历史上第一个较为完整的植物分类系统,至今仍然广泛应用于世界各国许多标本馆,被誉为“植物园种出来的植物分类系统”。

1.4 植物志的编撰

说到16世纪的欧洲自然科学史就不得不提到重量级人物卡罗勒斯·克卢修斯(Carolus Clusius,

1526–1609)。克卢修斯是著名植物园专家、莱顿植物园的创建者与首任园长,毕生奉献于植物园与园艺事业,他发表了最早的西班牙植物志、奥地利与匈牙利高山植物志等著名专著,也是荷兰郁金香产业的奠基者和16世纪最有影响力的园艺学家。他对植物分类的研究成就为后人所敬仰,他的名字在许多植物名称中出现,如Clusiaceae(藤黄科)、*Clusia*(猪胶树属)、*Gentiana clusii*(克卢修斯龙胆)、*Potentilla clusiana*(克卢修斯委陵菜)、*Primula clusiana*(克卢修斯报春)、*Tulipa clusiana*(克卢修斯郁金香)等。

植物志作为承载植物身份的名册簿,是记录和研究植物特征特性最重要的信息库,也是植物学研究最基础的科学著作和最重要的信息载体。世界各国植物园在植物志的编研上作出了杰出贡献。其中,约瑟夫·胡克(于1865–1885年任英国邱园主任)对全球众多国家和地区的植物志贡献尤为突出。约瑟夫·胡克于1847–1851年对印度及喜马拉雅地区长达4年的野外考察和植物采集与编目,成就了划时代的著作《英属印度植物志》(*The Flora of British India*)。他早期对澳洲及其泛南极地区的植物考察和采集奠定了现代澳洲地区国家植物志的基础,他在1844–1859年间发表的《南极地区植物志》(*Flora of Antarctica*)至今仍是该区域国家和地区的重要参考指南。同时,约瑟夫·胡克还对其他国家和地区的植物志贡献巨大,例如,《新西兰植物志手册》(*Handbook of the New Zealand Flora*, 1864–1867)、《尼日尔植物志》(*Niger Flora*)、《不列颠群岛植物区系研究》(*The Student's Flora of the British Isles*)和《斯里兰卡植物志指南》(*Handbook to the Ceylon Flora*)等。他与本瑟姆(Bentham)编研的《英国植物志手册》(*Handbook of the British Flora*)确立了植物志的编撰体例和规范,被沿用了百余年(Turrill, 1963)。

约瑟夫·胡克与英国皇家邱园对世界各国和地区植物志的编研只是16–19世纪世界各地的植物园在主导和推动植物志编撰中的一个缩影,当代植物园在植物志的编研中仍发挥着重要作用,历时24年完成的*Flora of China* (1989–2013)充分说明了这一点。*Flora of China*在《中国植物志》共80卷126册的基础上对我国的蕨类和种子植物进行了全面修订,包括文字卷和图版卷共计49卷,是世界上迄

今完成的记载植物种类最多(31,362种)、卷册最多的植物志,是世界植物学史上划时代的鸿篇巨著。除中国植物学家外,共有293名来自29个国家的植物园或相关研究机构的植物学家参与了编研,尤其是中国科学院下属植物园及美国密苏里植物园、英国皇家邱园、英国皇家爱丁堡植物园等许多国内外著名植物园作出了杰出贡献(Blackmore et al, 2013)。当前,中国植物园在植物资源编目、评价和发掘利用中仍发挥主导作用。由中国植物园开启的《中国迁地栽培植物志》编撰,立足我国160多个植物园迁地栽培的约20,000种植物的现状,以物种水平的个体、群体栽培性状的客观性、植物资源用途的实用性和植物基础数据的社会服务性为目的,对迁地栽培植物的生物学信息、物候信息、栽培繁殖信息和用途信息的综合采集和编撰,将成为研究中国植物资源本底、植物多样性保育、资源可持续性利用和生态恢复的重要指南(Huang et al, 2017)。

2 植物基础生物学的创新研究平台

18-19世纪,植物园作为植物基础生物学最重要的研究与教学平台发挥了重要作用,特别是对18世纪以来的生物学发现及其理论体系的建立具有不可磨灭的贡献。这期间植物园除了作为一些大师级科学家的研究基地与植物材料来源地外,其良好的研究环境与活植物观测的便利还促进了基础植物学乃至基础生物学的进展。限于篇幅,仅举如下几例。

2.1 亨斯洛与物种形成与进化

1859年达尔文《物种起源》的出版被认为是人类生物科学史划时代的里程碑,此前的20年间,达尔文受到了一些重要的大师级学者的影响和启蒙。其中剑桥大学植物园创始人、设计者与领导者,剑桥大学教授约翰·史蒂文斯·亨斯洛(John Stevens Henslow, 1796-1861)尤为引人注目,他也是达尔文的导师。亨斯洛设计剑桥大学植物园的目的是进行生物理论假设的科学验证研究与植物学教学。早在1829年,亨斯洛就对物种的定义有了较为成熟的想法,并在教学中传授给学生。达尔文是当时对此最感兴趣的学生,当时在剑桥大学学习的达尔文被称为亨斯洛教授的“影子”,师徒二人经常并肩同行在校园,边走边讨论问题。“贝格尔号”舰环

球考察时,亨斯洛专门写信给船长推荐了达尔文。达尔文正是带着亨斯洛对物种形成的思想登上了贝格尔号舰,进行了长达5年的全球考察。考察期间达尔文多次写信与亨斯洛讨论问题并进行了植物采集。毫无疑问,亨斯洛在剑桥植物园期间对达尔文进化论的启蒙及后续的指导至关重要(Walters & Stow, 2001)。

亨斯洛对剑桥大学植物园的设计及管理倾注了毕生精力。他摒弃了当时药用植物园的设计,将植物园按树木园规划并致力于植物学研究。园中全部植物均按他的自然系统布局种植。早在19世纪20年代,亨斯洛就聚焦在通过对植物园种植的植物居群与野生居群的比较,研究物种的变异特征和性质,并得出了3个基本观点:居群连续变异的幅度和特征决定了物种的特征;“奇特”现象,如花或叶形的突然变异的本质是异型突变的结果;杂种的特征是由自然主导的(Parker, 2006)。可见,亨斯洛的观察与研究结果至今仍不失其科学价值。

尤其值得一提的是亨斯洛对剑桥大学植物园活植物的收集与保存,突出体现了他上述3个基本观点:变异、突变与杂交。剑桥植物园所有的树木分类单元均聚焦于这3个科学问题。例如,剑桥大学植物园的中轴线是东西向的裸子植物林荫道,布局了欧洲分布最广的黑松(*Pinus nigra*)。亨斯洛收集种植了黑松4个亚种并对比栽培,体现出物种的连续变异。欧洲中部的亚种*P. nigra* var. *nigra*为不分枝习性、密集生长及顶端极短针叶、下部枝条细而垂等;而对面的比利牛斯山脉优势亚种*P. nigra* var. *salzmannii*则表现出极强的向上分枝能力,形成一个张开、扩展的树冠和长而曲的针叶。这种独具匠心的植物园设计正是为了回答亨斯洛的基本科学问题:这个类群的植物是一个种还是两个种?显然,亨斯洛试图通过植物园的植物配置说明现代植物科学的一个原理:种间变异。亨斯洛对杂交问题的执着还体现在悬铃木属(*Platanus*)植物的收集观察,即:东方三球悬铃木(*P. orientalis*)、美国一球悬铃木(*P. occidentalis*)以及其他2个与美国一球悬铃木可能杂交起源的种——英国梧桐*P. x acerifolia* (the London plane)和剑桥梧桐(*P. x acerifolia* ‘cantabrigiensis’ (the Cambridge plane)被收集在专门的栽培区进行实验观察(Parker, 2006)。

2.2 德堪多与昼夜节律和生物钟学的概念

著名瑞士植物学家奥古斯丁·彼拉姆斯·德堪多(Augustin Pyramus de Candolle, 1778–1841)是“分类学”(Taxonomy)一词及植物“纲”自然分类系统的创始者,在法国工作多年,于1810年被任命为蒙彼利埃大学植物园园长。德堪多在多年的植物园研究实践中对众多的生物现象进行了细致研究,其中对含羞草(*Mimosa pudica*)的观察发现:在持续的光照下,含羞草有一个22–23小时的叶片开放与闭合的周期。这明显少于地球的24小时循环节律。由此他假设生物有一个对应昼夜节律的“钟”:周期变短是由于环境信号的延迟或调节作用,而且这个“钟”是内源性的。虽然生物钟的提出受到质疑,但是许多科学家仍在不断探寻地球自转的光–暗节律周期下的“内源性”因子的种种可能性,直到20世纪20年代中期,德国科学家、现代生物钟之父欧文邦宁(Erwin Bünning)反复证实并确立了德堪多假设(Bünning, 1936)。

德堪多对18世纪生物学的贡献远不限于植物学。他在生物起源与进化方面提出“自然战争”的概念,表述了植物之间“你死我活”的竞争,阐明了不同物种为了生存的空间与资源的竞争。这个观点影响了达尔文的进化论,早在1826年达尔文就研究了德堪多分类学的“自然系统”,但认为:“自然战争”表述过于极端,达尔文选用了“自然选择”的表述。1938年德堪多访问伦敦期间,达尔文专门宴请他并讨论相关问题。同时,德堪多对植物地理学、古生物学、农学和经济植物学均造诣深厚、贡献卓著。

2.3 胡克父子与英国邱园

威廉·杰克逊·胡克(William Jackson Hooker, 1785–1865)与约瑟夫·道尔顿·胡克父子二人先后担任英国皇家邱园主任,共40余年,二人的植物学研究成就卓著。在他们的领导下,英国皇家邱园逐步发展成为当代植物学的国际研究中心。威廉·胡克于1841年任英国皇家邱园主任,是杰出的苔藓和隐花植物方面的专家,出版了《英国苔藓》(*British Jungermanniae*)、《苏格兰植物志》(*Flora Scotica*)等专著。他对邱园发展的贡献主要体现在两个方面:其一是以自身经历说服英国政府支持植物学的全球考察并鼓励邱园植物学家对全球植物多样性热点地区进行考察,实践证明19–20世纪英国邱园在全球热点地区的考察与植物采集适应

了大英帝国的殖民地扩张需求。其二是在他的领导下,邱园从原先的4 ha扩展至30.4 ha,并新建了108 ha的树木园和多个温室,同时组建了经济植物学等新兴学科(Desmond, 1995)。

约瑟夫·胡克于1855年被聘为主任助理,1865年接替父亲的主任职位并在位20年。约瑟夫·胡克是全球植物学考察的先驱之一,曾参加过北极、喜马拉雅及印度次大陆、南部亚洲巴勒斯坦等区域、北非摩洛哥以及北美西部等地的考察。他创建了植物学的分支学科——植物地理学(Geographical Botany),在全球众多植物区域地理划分与植物跨大陆间断分布的理论等方面建树颇丰。他的野外考察和植物学发现奠定了邱园在国际上的领导地位。同时,他的声誉还与达尔文的进化论联系在一起,他是达尔文进化论初期的贡献者和坚定支持者。达尔文在1859年发表《物种起源》时特别对约瑟夫·道尔顿·胡克致谢:“物种起源……得益于胡克的渊博知识与综合判断的贡献”。《物种起源》发表前后的困难时期,达尔文写道:“胡克是唯一同情着我的活灵魂”(Desmond, 2010)。2017年是约瑟夫·道尔顿·胡克诞辰200年,邱园专门举办了胡克与现代植物学的展览(Desmond, 1995)。

2.4 巴斯·贝金假说与莱顿植物园

劳伦斯·巴斯·贝金(Lourens Baas Becking, 1895–1963)是著名荷兰植物学家与微生物学家,曾任荷兰莱顿植物园主任和印尼茂乌植物园主任,是巴斯·贝金假说的原创者(Baas-Becking Hypothesis, 1934年)。

巴斯·贝金早年在荷兰攻读植物学与微生物学,曾在“现代遗传学之父”诺贝尔奖得主摩尔根的实验室工作,1923年受聘于斯坦福大学,讲授经济植物学与植物生理学。在斯坦福工作学习期间,他对美国西部盐湖和加州的甲烷沉积湖的极端生境微生物进行了深入研究。他于1930年回到荷兰,供职莱顿大学植物学教授并任莱顿大学植物园主任。正是在莱顿期间,他构想了巴斯·贝金假说,即:“生物无处不在,但都是环境的选择”(Everything is everywhere, but the environment selects),随后发表了著名专著《地球生物学》(*Geobiology*)。显然,著名的巴斯·贝金假说就诞生在莱顿植物园,巴斯·贝金还将这个假说的前半部分归功于他的同事马丁·乌斯·贝杰林克(Martinus Beijerinck),因此这个假

说也称“贝杰林克与巴斯·贝金假说”(Beijerinck and Baas-Becking Hypothesis)。这个针对微生物多样性分布格局的假说认为:微生物原本是全球广泛分布的,但它们所处特定环境的选择作用决定了某些特定微生物群体的存在(Veendorp & Baas Becking, 1938)。至今仍被许多微生物学者广泛引证。

巴斯·贝金还对印尼茂乌植物园的建设作出了重要贡献。他于1941年被派往印尼的爪哇岛任茂乌植物园主任,亲自规划建立了普沃达迪分园,针对热带干旱森林部署相关科学研究。

显然,18–19世纪时的植物园在植物科学的理论研究及其创新过程中发挥了极其重要的作用。还有现代遗传学的奠基人诸如孟德尔(Gregor Johann Mendel, 1822–1884),在布隆城奥古斯汀修道院植物园中进行豌豆实验,发现了遗传定律;米丘林(Ivan Vladimirovich Michurin, 1855–1935)在栽培园区移植研究中提出无性杂交与气候相似驯化假说;卢瑟·伯班克(Luther Burbank, 1849–1926)在家庭植物园的多种植物育种成就等等。19世纪后植物园的众多植物学研究功能逐步被国立的农业研究院所和大学等更专业化的生物研究单元、育种公司所取代,西方国家植物园的一些研究功能逐步消失。但是,植物园在植物的基础生物学、植物资源研究、应用植物学等领域至今仍然发挥主导作用(黄宏文和张征, 2012; 黄宏文等, 2015)。

3 植物引种驯化与传播的中心

植物的引种驯化及其传播是人类农业文明的基石,贯穿着人类文明发展史的始终。没有任何一个古代文明不是与植物引种驯化与发掘利用紧密关联的(黄宏文等, 2015)。16世纪以来跨大陆、跨地区、跨国家之间的植物引种驯化及其发掘利用深刻改变了世界经济社会格局,影响了一些国家的兴衰。在15世纪末以来500多年的植物引种驯化中,植物园发挥的作用功不可没。植物园作为植物引种驯化中心的地位有待重新认识(Heywood, 2011, 2012)。表1列举了若干后哥伦布时期引种的主要植物。虽然多数植物引入欧洲或后来的传播没有明确详细的记载,但植物园在16世纪后期至今对植物引种驯化的贡献无可置疑。

3.1 16–17世纪欧洲对粮食及其他农作物的引种驯化与传播

最早建立于欧洲地中海沿岸国家的植物园在主要粮食及各种农作物引入欧洲过程中发挥了至关重要的作用(表1)。毫无疑问,南美植物引种改变了欧洲的经济、社会和文明进程。植物园引种驯化的功能和作用通常被称为“后哥伦布时期”植物引种与传播,因为哥伦布于1492–1504期间4次登上美洲新大陆的植物采集与引种相当有限,而且欧洲最早的一批植物园当时还没有诞生(Crosby, 1972)。最早记载引种驯化植物的意大利帕多瓦植物园(1545年建立)从1546年就开始了大规模的植物收集,据当时记载有1,800种之多(Belon, 1588)。这些最早建立的植物园是欧洲的粮食及农作物引种驯化的重要基地。根据帕多瓦植物园1591年的植物栽培目录,玉米、土豆、番茄、辣椒、向日葵、青豆类等主要原产南美的植物已经在园中栽培观察。虽然当时的命名法与现在差异很大,许多植物的鉴定与溯源仍存在质疑,但毫无疑问,这些建于16世纪中叶的最初一批欧洲地中海沿岸国家的植物园对南美植物的引种及后续驯化奠定了基础。除了南美植物,来自世界各地的众多果树植物,如梨、苹果、桃、李、杏、樱桃、杏仁、黑莓、黑醋栗、树莓等也被大量引种(Cappelletti, 1995)。

16世纪源自地中海沿岸如西班牙、法国、葡萄牙及意大利等国,后延伸到其他欧洲国家的航海及殖民,极大推动了植物的收集和传播。例如,克卢修斯(荷兰莱顿植物园的创建者)专门写信给荷兰东印度公司董事会,要求鼓励远征船队的医生和全部员工采集植物标本、收集外域植物材料供植物园进行科学和发掘利用研究。这种大规模的植物探寻和收集一直延续了3个多世纪。莱顿植物园栽培植物种类从1594年的1,000多种增长至1720年的6,000多种(Stafleu, 1969)。欧洲植物园竞相开展植物探寻、考察收集与植物分类等研究。与此同时,欧洲传统植物园也从药用功能转变成为作物与观赏植物的研究中心。大量的植物种类无论出于科学、经济还是园艺用途,被源源不断引入地中海国家并传播到世界各地。由此又催生了植物引种驯化。由于气候差异,首先在西班牙多地如卡塔赫纳(Cartagena)、科尔多瓦(Cordoba)、巴塞罗那(Barcelona)、阿兰胡埃斯(Aranjuez)、马德里(Madrid)、

表1 后哥伦布时期引种的重要植物

Table 1 Important plant introductions during the post-Columbian period

15–17 世纪引种的主要植物种类 Main plant introductions in the 15th–17th centuries	引入欧洲时间(年代) Year into Europe	引入中国时间 Year into China
辣椒 <i>Capsicum annuum</i> , <i>C. frutescens</i>	1493	1591 前 Before 1591
玉米 <i>Zea mays</i>	1494	1520–1550
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	1494	1520
木薯 <i>Manihot esculenta</i>	1550 前 Before 1550	1820
陆地棉 <i>Gossypium hirsutum</i>	1750	1865
豆 <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>P. lunatus</i> , <i>P. coccineus</i>	1500	1563 前 Before 1563
菠萝 <i>Ananas comosus</i>	1502	1558 前 Before 1558
红薯 <i>Ipomoea batatas</i>	1526 前 Before 1526	1570–1580
鳄梨 <i>Persaea americana</i>	1519 前 Before 1519	1918
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	1568	1573–1620
番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i>	1512	1617 前 Before 1617
烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	1550 前 Before 1550	1624
土豆 <i>Solanum tuberosum</i>	1565–1570	1650 前 Before 1650
南瓜 <i>Cucurbita</i> spp.	1570	1538 前 Before 1538
番荔枝 <i>Annona cherimolia</i>	1751–1797	1614
可可 <i>Theobroma cacao</i>	1528	1922
洋姜 <i>Helianthus tuberosus</i>	1607	18 世纪末 End of 18th century
西番莲 <i>Passiflora caerulea</i>	1610	1724
18–19 世纪殖民地植物园引种的重要植物 Main plant introductions by colonial botanical gardens in 18th–19th centuries	引种植物园(建园时间) Name of botanical gardens (time established)	
茶 <i>Camellia sinensis</i>	印度豪拉植物园(1787) Acharya Jagadish Chandra Bose Indian Botanic Garden (1787)	
橡胶 <i>Hevea brasiliensis</i>	1876 年英国邱园引种后传到印尼茂物植物园、新加坡植物园 Kew gardens introduced in 1876, then re-introduced to Bogor Botanical Garden of Indonesia and Singapore Botanical Garden.	
木薯 <i>Manihot esculenta</i>	毛里求斯庞普勒穆斯植物园(1767) Pamplemousses Botanical Garden, Mauritius (1767)	
咖啡 <i>Coffea arabica</i>	印度豪拉植物园(1787) Acharya Jagadish Chandra Bose Indian Botanic Garden (1787)	
面包树 <i>Artocarpus pinnatifidus</i>	圣文森特植物园(1764) St. Vincent Botanic Garden (1764)	
喹啉 <i>Cinchona officinalis</i> , <i>C. pubescens</i>	印尼茂物植物园(1817) Bogor Botanic Garden (1817)	
肉豆蔻 <i>Myristica fragrans</i>	圣文森特植物园(1764) St. Vincent Botanic Garden (1764)	
竹芋 <i>Maranta arundinacea</i>	圣文森特植物园(1764) St. Vincent Botanic Garden (1764)	
海岛棉 <i>Gossypium barbadense</i>	圣文森特植物园(1764) St. Vincent Botanic Garden (1764)	
西谷椰子 <i>Metroxylon sagu</i>	印度豪拉植物园(1787) Acharya Jagadish Chandra Bose Indian Botanic Garden (1787)	
椰枣 <i>Phoenix dactylifera</i>	印度豪拉植物园(1787) Acharya Jagadish Chandra Bose Indian Botanic Garden (1787)	

布尔戈斯(Burgos)、塞维利亚(Sevilla)、卡莫纳(Carmona)、卡迪兹(Cádiz)、拉奥罗塔瓦(La Orotava)、瓦伦西亚(Valencia)创建了许多驯化园(acclimatization gardens)和初期的柑橘室(Orangeries)、蕨类室(Ferneries)等简易温室进行引种植物保存与驯化研究(Puerto Sarmiento, 2002)。意大利植物学家米切朗基罗·蒂利(Michelangelo Tilli, 1655–1740)在意大利开创了温室研究驯化热带植物的先例。他1685年就任比萨大学植物学教授并任比萨植物园园长, 收集与驯化了大量从亚洲、美洲和非洲采集的热带植物如菠萝、咖啡等, 受到林奈的高度评价。在此期间,

引种和驯化来自世界各地的农作物、园林植物、经济植物成为了欧洲植物园工作的重中之重。一些地中海国家如西班牙、意大利的植物园如雨后春笋一般出现, 虽然这些植物园的面积很小, 但在对南美植物的引种驯化中发挥了重要的作用。甚至一些私人庄园也加入了植物引种驯化的潮流, 一些柠檬温房、柑橘温房、蕨类温房大量涌现。例如, 意大利的汉伯里植物园(Giardino Botanico Hanbury)当时作为外域植物驯化的植物园, 在1689年的植物园名录中列出了3,500种植物, 其中大部分是新引进的外来种(Agostini, 2007)。这类植物园主要专注外来植

物的引种与驯化,当时有相当的数量。16–18世纪,欧洲地中海国家对植物的引种驯化潮流导致了农业格局与自然植被的演变,甚至很大程度上改变了南部欧洲的农业、生态与人文景观(Heywood, 2012)。18世纪欧洲工业革命前的200多年间,地中海沿岸国家的植物引种驯化对欧洲近代文明影响深远,从对植物的探寻和收集延展到现代植物分类等科学的建立,从对外来植物的好奇到规模种植和农业生产的变革,从食物生产的变迁到饮食文化的变革,外来植物彻底改变了欧洲经济、社会和人文历史。难以想象,如果没有西红柿和土豆,现在欧洲膳食会是什么样。

3.2 18世纪以来欧洲殖民主义者主导的植物引种与传播

继16–17世纪欧洲引种驯化南美植物的高峰后,18世纪以来航海和植物猎奇则催生了经济植物产业的全球化。同时,欧洲殖民地扩张使得植物引种与广泛传播,直接导致殖民地经济与相关社会形态发生了深刻变化(表1)。例如,英属西印度群岛的殖民者通过奴隶贸易开发生产力,生产甘蔗、烟草及其他经济作物,获取巨大财富,进一步刺激了植物探险猎奇和经济植物的发掘利用。毫无疑问,殖民者的贪婪与植物的巨大价值两者的共同作用改变了当时的世界经济社会形态和格局,经济植物在殖民地国家之间的传播变得越来越普遍,咖啡的开发就是典型的例子。荷兰18世纪初在印度开发咖啡种植后,又分别在印尼爪哇、苏门答腊岛、巴厘岛及东印度群岛等其他殖民地建立咖啡种植园。荷兰人从爪哇将咖啡种子运到阿姆斯特丹温室进行繁殖,再将这些种子分送欧洲各地的温室栽培。法国人利用这些种子于1715年开始在西印度群岛的马提尼克岛(Martinique)种植咖啡;葡萄牙人则从印度果阿帮(Goa)的殖民地种子带到巴西;而西班牙人又将种子从巴西带到古巴(Heywood, 2011)。

从自然科学发展来看,航海与新大陆发现开启的植物探寻最初是唤醒了自然学家研究植物的好奇心以及自然学界渴望对自然界的全面普查。植物学家热衷于收集和引种栽培珍奇植物,新大陆则提供了没有围墙的实验室,因此美洲被视为欧洲的植物园,提供了广袤的处女地、适宜的气候和极为丰富的植物区系。与此同时,18世纪欧洲殖民主义扩张又催生了北欧和西欧地区植物园的崛起,并逐渐

成为植物引种的主流,进一步推动了从美洲、非洲和亚洲收集植物和进行植物学研究。大量的新植物被引入欧洲并发掘利用,植物科学成为了一门独立的学科。18–19世纪以来对植物的猎奇探险和植物园的植物收集尤以英国在全球的植物学考察与采集影响深远。英国皇家邱园、苏格兰皇家爱丁堡植物园及维奇园艺公司(James Veitch & Sons)等派遣或资助大批植物学家进行远征考察与采集,著名的如道格拉斯(David Douglass, 1799–1834)对北美道格拉斯冷杉(Douglas fir, *Pseudotsuga menziesii*)、罗伯特·福琼(Robert Fortune, 1812–1880)对中国茶叶、约瑟夫·胡克(Joseph Hooker, 1817–1911)对喜马拉雅山地杜鹃花以及威尔逊(E. H. Wilson, 1876–1930)对中国珙桐(*Davidia involucrata*)和绿绒蒿(*Meconopsis*)等的猎奇。欧洲植物猎人的采集活动同时也使植物园成为了园艺展示窗口,进而又刺激了欧洲园艺花卉苗木产业的发展。

需求催生了经济植物学逐步成为植物学的一个独立分支学科。早前两个植物园先驱的实践功不可没。荷兰莱顿植物园首任园长卡罗勒斯·克卢修斯在完成奥地利皇宫植物园的规划后,1592年担任莱顿植物园首任园长(或科学主任),带来了多年收集的郁金香资源并指导了长期的杂交育种改良,使得这个最初发现于亚洲中部的植物后来变成了荷兰的支柱产业之一。英国切尔西药用植物园园长菲利普·米勒(1691–1771)是经济植物学实践和理论奠基者之一,他在切尔西药用植物园进行了大量经济植物的驯化研究和商业化实践,如棉花选育改良催生了18世纪美国南方棉花生产,茜草(*Rubia tinctorum*)的引种驯化造就了英国染料产业等。

18世纪以来欧洲从美洲、非洲、亚洲以及中东和东、西印度群岛收集的大量植物种子和插条等繁殖材料需要集中和转运,又扩大和重塑了世界植物园的分布格局,殖民地热带区域植物园应运而生。在18–20世纪的长达300年间,一批热带地区的植物园作为植物引种中心相继建立,在经济植物的引种驯化与传播中发挥了巨大作用(表1)。这些植物园的主要功能是满足殖民地统治的经济与社会发展需求,即对全球的农业、原料工业、林业及花卉产业所需资源的收集、保存、评价和发掘利用。殖民地国家的咖啡、茶叶、橡胶、油棕等的种植园与产业发展史及英国皇家邱园在植物引种中的推动作用

多有详细报道(Holttum, 1970; Brockway, 1979; Heywood, 1985)。显而易见, 殖民地热带植物园的植物引种驯化非常广泛, 除了表1中列出的植物园, 还有许多知名的植物园, 如斯里兰卡佩拉德尼亚植物园(Peradeniya)、印度拉尔巴格植物园(Lalbagh)、牙买加巴斯植物园(Bath)等。19世纪末期至20世纪中期还专门建立起一批殖民地导向的植物引种驯化试验园, 如意大利1903年在西西里岛建立的殖民地植物园(Giardino Coloniale)专门从事经济植物的实验, 进行了地中海柑橘(柑橘杂种, *Citrus × deliciosa*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)、苧麻(*Boehmeria nivea*)、石栗(*Aleurites moluccana*)、高粱(*Sorghum bicolor*)等一大批经济植物的引种与推广; 法国1832年在北非的摩洛哥建立起园林植物实验园(Jardin d'Essais Botaniques), 从事果树与园林植物的引种驯化实验; 葡萄牙1906年在里斯本建立的热带植物园, 从事热带植物的引种研究与教学等(Heywood, 2015)。然而, 20世纪中叶特别是二战后, 植物园尤其是欧美及其殖民地各国的植物园作为植物引种驯化中心的地位和功能却急剧下降甚至消亡。究其原因, 世界各国建立了更加专业的农业研究院和农业实验站网络体系, 部分取代了植物园在植物资源收集、评价与发掘利用上的功能。从20世纪初以来的发展趋势看, 植物园在引种驯化功能上的弱化, 某种意义上源于植物园前期的成功催生了一些农业和植物资源专门研究机构对植物园引种驯化功能的取代(Heywood, 2011)。但进入20世纪末以来, 由于全球气候变化和植物多样性快速丧失等受到越来越多的关注, 植物园对植物资源的收集和研究重新得到重视, 在发展中国家尤其如此。

4 植物迁地保护与生物多样性研究的后盾

20世纪末以来, 生物多样性丧失受到全球植物学界高度关注。我国作为全球植物多样性最丰富的国家之一, 20世纪80年代以来植物多样性与保护取得了长足进展。生物多样性公约评估报告中高度评价了中国国家层面植物保护战略发挥的全球引领作用(China's Strategy for Plant Conservation Editorial Committee, 2008; CBD, 2009), 尤其是中国植物园的植物迁地保护研究成就令全球瞩目。自1871年建立香港植物公园以来, 除了少数几个由国外主导建立外, 绝大多数建于1950年以后。中国现代植物园已

有130多年的发展历史, 目前约有180个植物园, 形成了完整的植物收集、保护与研究体系。我国植物园分布全面涵盖了我国主要的气候带和植被区, 其中, 分布于热带潮湿地区的植物园32个、亚热带地区79个、温带地区76个、寒温带地区3个、青藏高原1个, 并建有各类植物的特色专类园区约1,000个(黄宏文, 2018)。迄今, 我国植物园共收集保存了植物396科、3,633属、约23,000种, 其中本土植物288科、2,911属、约20,000种, 分别约占我国本土高等植物科的91%、属的86%和物种的60% (黄宏文等, 2018); 占全球2,000多个植物园活植物保育总数的25% (Huang et al, 2017; Mounce et al, 2017)。同时, 我国植物园的资源评价、发掘利用继续向广度和深度拓展, 成为20世纪中期以来全球植物园中的研发主流和示范导向。最近调查表明, 近年来我国植物园培育了植物新品种1,352个、申报植物新品种权证494个、获国家授权新品种452个、推广园林观赏/绿化树种17,347种次、开发药品/药物748个、开发功能食品281个、推广果树新品种653个, 我国在植物资源发掘与利用方面的成就独树一帜, 成为国际植物园对资源植物研发的典范(黄宏文等, 2018)。

进入21世纪以来, 植物园在气候变化背景下的植物生物学研究成为关注焦点。植物园的特殊资源优势成为全球气候变化下生物学的理想场所。(1)植物园一般具备“同园实验”特征, 众多植物类群在相似环境条件下统一栽培管理, 便于大尺度、长时间的定位观测; (2)植物园收集栽培的植物类群来自世界各地不同气候带及生态区域, 涵盖不同的分类区系和生态群落, 有利于系统深入研究气候变化环境下植物适应性进化、谱系地理格局及生态群落变化等气候变化响应机制; (3)植物园保存有大时间尺度的观测数据尤其是物候数据, 是研究气候变化最直接的证据(Primack & Miller-Rushing, 2009)。显然, 植物园收集栽培的一些多年生、长寿植物类群对长期定位研究植物响应气候变化机理, 如物候变化、生长发育可塑性、生理反应、器官结构变异、遗传规律等等具有不可替代的作用。展望未来, 植物园无论在宏观和微观植物生物学研究中仍将发挥极其重要的作用。

4.1 植物宏观生物学领域

首先, 植物园作为植物分类学研究的源头, 具有不可比拟的优势。植物园长期、系统收集和永久

栽培保存的众多科、属、种活体植物样本是深入开展分类学研究的平台,有利于开展分类学特征性状的大尺度、大范围的比较研究,克服了野外研究的时空局限性(Raven, 1981),尤其是植物园具有的专科、专属收集及其永久保育栽培的多年生物种数量和长期的数据积累对未来分类学的发展至关重要(Huang et al, 2017; 黄宏文, 2018)。其次,比较或对比研究是生物学研究的基本方法,植物园提供了植物对比研究的众多可能性,例如,比较形态学、比较结构生物学、比较孢粉学等曾在早前的植物学科建立中发挥了重要作用。而现代的比较区系地理、比较系统发育、比较功能生理、比较适应性进化等仍然可成为植物园研究部署的重点,植物园跨科属、跨区系、跨生境收集保存栽培的活植物与可控栽培实验条件提供了开展这类研究的特殊便利。第三,植物园对一些特殊类群植物的专门收集为植物发育代谢相关研究领域提供了实时观测、实时取样、动态分析的优越条件,对植物发育生物学、次生代谢生物学、植物化学、表观遗传学等前沿学科具有支撑作用,如次生代谢产物与有效化学成分周年变化规律的解析等。第四,植物园作为近代植物探寻、全球采集与保育的主要场所,在未来全球植物编目及多样性研究中仍将发挥核心和引领导向。尤其是一些植物园长达百年尺度的收集栽培的植物将对未来植物多样性研究与植物资源的发掘利用提供丰富的植物资源材料和系统的数据支撑。例如,我国植物园开展的迁地栽培植物志编研项目,推动了对中国迁地栽培植物的系统整理、分类、评价、发掘利用(Huang et al, 2017)。同时,植物园对众多园艺与经济作物资源的发掘利用,对促进园艺作物种质创新、新品种培育及其相关产业升级的功能仍不可忽视。植物园仍将是未来植物迁地保护与濒危植物恢复研究的重要基地。

4.2 植物微观生物学领域

植物园在微观生物学方面的研究相对薄弱,长期未得到应有重视。实际上,许多与植物活体材料实时取样和动态分析相关的微观生物学研究在植物园可得到有效支撑。限于篇幅,仅举几例。如细胞遗传学的染色体研究通常需要实时取样准确分析染色体的分裂期和动态变化,特别是大尺度跨科、属进行不同类群植物的染色体组比较研究时,

植物园所具有的优势更加明显。又如,开展群体遗传学的基因流格局与动态研究时,植物园专科、专属园地中精确的植株定位、可控的花粉与种子的传播距离提供了研究种间和种内基因流动态规律的最佳场所。还有如胚胎学、细胞学、基因组学、代谢组学等需要便利活体材料的相关研究均可在植物园得到材料。随着现代分子生物学技术的日益改良,原来不易在植物园进行的微观生物学研究会受到关注,植物园提供宏观与微观整合研究途径的作用也将逐步增强。

4.3 大数据时代的植物园的研究方向

大数据与组学作为当今植物科学的时代特色,将成为未来相当一段时期的热点和发展趋势。植物园作为基础生物数据收集与积累、基础植物学研究中心的地位得到加强的同时,将进一步促进植物园及植物标本馆的数字化。可以预见,当今植物园大数据平台建设将促进植物学各研究领域朝着更加融合、更加全面的整合生物学发展。多层次数据发掘平台在基因、功能、格局、过程、机制等综合研究将突破现有认识局限,出现革命性新局面。植物园构建的基础数据库一方面极大提升了植物学家特别是分类学家的研究,同时也对全球在线植物数据库与植物基础数据共享作出贡献,并同步支撑大数据发掘平台在基因、功能、格局、过程、机制等研究的数据发掘,展现出广阔前景与巨大活力。植物园如何跟上时代步伐,更新传统观念,将是面临的挑战和机遇。

21世纪人类面临的最重大挑战之一是如何解决对植物资源的极大需求和可持续发展之间的矛盾。植物是维系人类经济社会可持续发展最根本的保障,绝大部分有着更大经济和社会价值的生物质资源尚未被人类认识和利用,数以万计的动物、植物和微生物蕴藏着解决人类可持续发展必需的衣、食、住、行所依赖资源需求的巨大潜力(中国科学院生物质资源领域战略研究组, 2009)。植物园作为植物保护的诺亚方舟和开展植物研究的重要场所,其历史使命日益凸显。

参考文献

- Agostini D (2007) I giardini botanici Hanbury: Luogo di sperimentazioni. Ri-Vista, Ricerche per la Progettazione de Paesaggio, 4, 22–25.

- Belon P (1588) Les observations de plusieurs singularitez et choses memorables trouvees en Grece, Asie, Indeé, Egypt, Arabie, & Autres Pays Estranges. Paris.
- Blackmore S, Hong DY, Raven PH, Wortley AH (2013) Introduction. In: *Plants of China: A Comparison to the Flora of China* (eds Hong DY, Blackmore S), pp. 1–6. Science Press, Beijing.
- Blunt W (2002) *The Complete Naturalist: A Life of Linnaeus*. Kew Garden Press, London.
- Brockway LH (1979) *Science and Colonial Expansion: The Role of the British Royal Botanic Gardens*. Academic Press, New York & London.
- Bünning E (1936) Die endogene Tagesrhythmik als Grundlage der photoperiodischen Reaktion. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 54, 590–608.
- Cappelletti EM (1995) Living collections in the botanical garden at the time of Cortuso (1591). In: *The Botanical Garden of Padua 1545–1995* (ed. Minelli A), pp. 197–242. Marsilio Editori s.p.a., Venice.
- CBD (2009) *Plant Conservation Report, A Review of Progress in Implementing the Global Strategy of Plant Conservation*. The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- China's Strategy for Plant Conservation Editorial Committee (2008) *China's Strategy for Plant Conservation*. Guangdong Press, Guangzhou.
- Crosby AW (1972) *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*, 30th Anniversary Edition. Greenwood Press, Westport, Connecticut.
- Desmond R (1995) *Kew: The History of the Royal Botanic Gardens*. The Havill Press with the Royal Botanic Gardens, Kew, London.
- Desmond RGC (1975) The Hookers and the development of the Royal Botanic Gardens, Kew. *Biological Journal of the Linnean Society*, 7, 173–182.
- Engler A (1892) Syllabus der Vorlesungen über specielle und medicinisch-pharmaceutische Botanik. Eine Uebersicht über das gesammte Pflanzensystem mit Berücksichtigung der Medicinal-und Nutzpflanzen. Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin. p. 143. (in German).
- Freer S (2003) *Linnaeus' Philosophia Botanica* (translated from Latin language originally published in 1751). Oxford University Press, Oxford.
- Heywood VH (1985) Botanic gardens and taxonomy—their economic role. *Bulletin of Botanical Survey of India*, 25, 134–147.
- Heywood VH (2011) The role of botanic gardens as resource and introduction centers in the face of global change. *Biodiversity and Conservation*, 20, 221–239.
- Heywood VH (2012) The role of New World biodiversity in the transformation of Mediterranean landscapes and culture. *Boccone*, 24, 69–94.
- Heywood VH (2015) Mediterranean botanic gardens and the introduction and conservation of plant diversity. *Flora Mediterranea*, 25 (Special Issue), 103–114.
- Holttum RE (1970) The historical significance of botanic gardens in S. E. Asia. *Taxon*, 19, 707–714.
- Huang HW (2018) *The Chinese Botanical Gardens*. Huazhong University of Science and Technology Press, Wuhan. (in Chinese) [黄宏文 (2018) 中国植物园. 华中科技大学出版社, 武汉.]
- Huang HW, Duan ZY, Liao JP, Zhang Z (2015) Impact of plant introduction or domestication on the recent 500 years of civilization and scientific research value of plant living collections. *Chinese Bulletin of Botany*, 50, 280–294. (in Chinese with English abstract) [黄宏文, 段子渊, 廖景平, 张征 (2015) 植物引种驯化对近500年人类文明史的影响及其科学意义. *植物学报*, 50, 280–294.]
- Huang HW, Liao JP, Zhang Z, Zhan QQ (2017) *Ex situ* flora of China. *Plant Diversity*, 39, 357–364.
- Huang HW, Zhang Z (2012) Current status and prospects of *ex situ* cultivation and conservation of plants in China. *Biodiversity Science*, 20, 559–571. (in Chinese with English abstract) [黄宏文, 张征 (2012) 中国植物引种栽培及迁地保护的现状与展望. *生物多样性*, 20, 559–571.]
- Jarvis C (2007) Order out of Chaos, pp.1–10. The Linnean Society of London with Natural History Museum, London.
- Mounce R, Smith P, Brockington S (2017) *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants*, 3, 795–802.
- Parker J (2006) The botanic garden of the university of Cambridge. *Sitelines*, 2, 10–11.
- Primack RB, Miller-Rushing AJ (2009) The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist*, 182, 303–313.
- Puerto Sarmiento FJ (2002) Jardines de aclimatación en la España de la Ilustración. – *Ciencias* 68 Octubre-Diciembre. www.ejournal.unam.mx/ciencias/no68/CNS06804.pdf.
- Raven P (1981) Research in botanical gardens. *Botanische Jahrbücher für Systematik*, 102, 53–72.
- Research Group on Bio-hylic and Biomass Resource of the Chinese Academy of Sciences (2009) *Science & Technology on Bio-Hylic and Biomass Resources in China: A Roadmap to 2050*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院生物质资源领域战略研究组 (2009) 中国至2050年生物质资源科技领域发展路线图. 科学出版社, 北京.]
- Stafleu FA (1969) Botanical garden before 1818. *Boissiera*, 14, 31–46.
- Turrill WB (1963) *Joseph Dalton Hooker: Botanist, Explorer and Administrator*. Nelson, London.
- Veendorp H, Baas Becking LGM (1938) *Hortus Academicus Lugduno-Batavus 1587–1937*. Rijksherbarium/Hortus Botanicus, Leiden.
- von Engelhardt D (2012) Luca Ghini (1490–1556) Padre Fondatore della botanica moderna nel contesto dei rapporti scientifici Europei del sedicesimo secolo. *Annali dei Musei Civici Rovereto*, 27, 227–246.
- Walters SM, Stow AE (2001) *Darwin's Mentor: John Stevens Henslow*. Cambridge University Press, Cambridge.

(责任编辑: 龙春林 责任编辑: 时意专)