

# 数字化植物园的理论与技术思考 —以华南植物园为例

任海, 简曙光, 张征, 郑祥慈, 张奠湘, 王峥峰,  
郝刚, 段俊, 廖景平, 魏孝义, 傅德志

(中国科学院华南植物园, 广东广州 510650)

**摘要:** 植物园是通过人工模拟区域自然环境和群落结构, 实现物种多样性高度富集并进行相关科学研究的机构, 也是生物多样性保育、科普教育、资源储存和开发利用的基地。随着信息技术的发展及其在植物园中的应用, 将产生数字化植物园。在研究数字化植物园发展历史的基础上, 提出广义和狭义的数字化植物园定义, 并以华南植物园的数字化建设内容为例, 探讨了数字化植物园的信息技术体系、虚拟植物和专类园智能化管理技术等理论与技术体系结构。

**关键词:** 数字化植物园; 虚拟植物; 智能化管理

中图分类号: Q94-339

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2004)05-0489-06

## Theory and Technology of Digital Botanical Gardens — A Case from South China Botanical Garden

REN Hai, JIAN Shu-guang, ZHANG Zhen, ZHENG Xiang-ci, ZHANG Dian-xiang,  
WANG Zheng-feng, HAO Gang, DUAN Jun, LIAO Jing-ping, WEI Xiao-yi, FU De-zhi

(South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** Botanical gardens are scientific and educational institutions holding documented collections and conservations of rich living plants through simulating nature. It is also an important base combining conservation of biodiversity, public education, storing and utilizing plant resources. Digital botanical gardens appear with the development of information technology which is practically utilized in botanical gardens. Here we give the broad and narrow definition of digital botanical gardens based on the research on its history. We also discussed the information technology systems, virtual plants, and intelligent management of special plant sections based on the case in South China Botanical Garden.

**Key words:** Digital botanical gardens; Virtual plants; Intelligent management

植物园是通过人工模拟区域自然环境和群落结构, 实现物种多样性高度富集并进行相关科学研究的机构, 是生命科学创新性研究的重要支撑平台, 也是生物多样性保育、科普教育、资源储存和开发利用的基地。现代植物园起源于十六世纪的欧洲, 伴随着工业革命和十九世纪世界经济的发展, 形成了以对植物资源富集与展示为特征的植物园。人类在认识和利用植物过程中促进了植物科学的发展,

而植物分类学是植物园的支柱和学科基础。植物园是具有科学内涵和艺术外貌的实体, 它主要由植物学、生态学和园林园艺学支撑<sup>[1-4]</sup>。随着时代的发展, 新兴的科学和技术不断涌现, 特别是信息科学将在植物园的可持续发展中发挥重要作用。最近, 数字化植物园引起人们的关注, 本文试图探讨数字化植物园的相关理论与方法, 并以华南植物园的数字化建设为例, 为发展数字化植物园的理论及相关技

术、构建我国数字化植物园的技术标准和体系、推进植物园事业的发展提供参考。

## 1 数字化植物园的发展过程

随着计算机和互联网技术的飞速发展,以及信息技术在生命科学领域的广泛应用,世界各大植物园纷纷加速了信息化进程,如采用最新信息技术实现植物记录与监测管理计算机化;采用环境调控技术实现温室环境自动化控制,满足模拟多种生态环境的要求;利用组织培养、种子贮藏和分子生物学等手段,研究、保护和利用植物遗传多样性。英国国会于 1995 年批准在皇家植物园邱园建立新的现代化种子库,称为植物方舟(Botanical Ark)计划,现已投入 7 000 万英镑。它以“新千年种子库(Millennium Seed Bank)”为核心,包括“种子长寿研究计划”和“综合种子生物学数据库”等几个重要部分,主要支撑世界干旱和半干旱地区植物的种质保存及相关研究,并面向公众开展科普教育。到 2010 年将保存来自人类赖以生存的世界干旱和半干旱地区的 2.5 万种野生植物的种子,并以数字化手段支撑这些地区植物多样性可持续利用新途径的研究与实践<sup>[2]</sup>。

植物园保护国际(BGCI)同样走在了数字化建设前面。BGCI 开发出了针对植物园群体的计算机信息管理系统,其数据库已录入 10 000 种在植物园栽培的珍稀濒危植物的相关信息,公布了 2 代版本的《植物园植物记录国际交换格式》(ITF 和 ITF2),其开发的植物园专用数据库收录了已知的植物栽培保存机构,详细资料涉及全球 1 800 多个植物园的设施、收集区及主要工作。

现国际上许多文件,均明确提出对植物园信息管理系统的具体要求,指出全球植物园应重点考虑建立植物园网络信息管理系统,《植物园保护国际议程》呼吁各植物园以信息管理系统为纽带,在保护、研究和教育工作中进行广泛和紧密的协作,实现植物园的物种保护全球使命。

近年来我国一些大的植物园也都建立了自己的信息系统,有的还对“数字植物园”的建设进行了有益的尝试,积累了宝贵的经验。如中国科学院华南植物园在 2001 年即已完成以遥感技术(Remote System, RS)、地理信息系统(Geographical Information System, GIS)和全球定位系统(Global Positioning System, GPS)有机结合的 3S 技术为基础

的植物园信息化工作,完成了示范区域电子定植图的建设,并尝试了植物建模和虚拟三维景观建设;北京植物园进行了以 GPS 技术对园区植物进行精确定位(亚米级)的工作;深圳仙湖植物园开展了三维视频景观、环视场景和其它基于地理信息系统的数字化工作,并在科普网站上进行了应用;西双版纳植物园和武汉植物园也都以 3S 技术为基础开展了各具特色的工作<sup>[5-11]</sup>。

虽然国内数字植物园的建设取得了一定的经验和初步成果,但大部分都未充分与国际植物园信息系统接轨,在新技术的应用上与国际最高水平也存在一定差距;由于经费的限制,数字植物园的建设也仅限于示范和探索阶段,而且主要的尝试仅仅集中在景观的数字化和基础数据库建设方面,并且存在数字景观偏简单、粗糙、数据规模偏小和应用范围偏窄等问题;在反映植物学学科最新科研成果和应用最新信息技术方面明显滞后;而在对国家宏观决策的应用方面还属空白。

## 2 数字化植物园的含义

数字化植物园作为一新的概念,尚无明确的定义,参照国内外对数字地球、数字农业和数字部队等相关定义,结合植物园的特点,我们认为,数字化植物园应包含以下内容:对植物园的科学研究、物种保护、科普教育、资源利用和日常管理等各种要素与过程(生物的、环境的、经济的、管理的)全面实现数字化;信息技术在植物园中得到最广泛的应用;植物园各部门(生产、科研、科普、行政、流通和服务等)全面实现数字化与网络化管理。

数字化植物园的主要特征有:信息资源得到充分的应用;植物园的工作人员是高水平的信息人;基础设施装备高度智能化;植物保育操作技术自动化;经营管理信息网络化;数字、信息和知识链条化;资源环境的信息监测、评价和决策系统化;植物生长过程的数字化;植物景观设计智能化。

目前,世界数字化植物园可分为不同层次。最基本的是虚拟植物园,即基于数据库技术和 3S 技术的植物园管理信息系统;而在更高层次上,则是一个科学与技术高度集成的系统工程,是指在植物学、生态学和园林园艺学等学科的理论指导下,利用现代空间科学技术和通讯网络技术,应用数字地图、遥感影像、试验观测、数字建模、调查统计、声像等多种形式、多种时相、多种比例尺及空间分辨率

的数字化空间数据和模型,对植物资源进行全方位展示、描述和分析的系统,从空间和时间两方面对植物园这一特殊生物多样性保育、研究、科普和利用的实体进行数字化表达,即一个“没有墙壁的e-Science实验室”。它可以为科学家、决策者和公众进行科学研究、解决和理解科学规律、物种保育、植物园管理、科普教育和资源利用等工作提供数字化平台。

因此,数字化植物园可以定义为:利用数字化技术对植物园的科学研究、物种保护、科普教育、资源利用和生产管理全过程进行数字化和可视化表达、设计、控制和管理,使植物园按照所设定的目标和方向发展。数字化植物园以植物模型,如植物生长模拟模型、虚拟植物模型技术、植物数字化表达与虚拟、生物信息学、精确农业技术、智能化专家系统、智能机械和设备等为基本手段,从不同层次和不同技术内容方面实现对植物园全过程的数字化表达、控制和管理。

### 3 数字化植物园的建设体系结构

建设数字化植物园是一个复杂的系统工程,主要由基础层、技术层、数据层和系统层4个部分组成。基础层是基础和前提,包括建设数字化植物园的各种标准与规范、软硬件条件、网络环境和基础设施等,尤其是信息采集、处理与监控标准化平台;技术层是支撑条件,包括3S技术、计算机技术、网络技术、智能技术和可视化技术等,以3S技术为核心;数据层是核心内容,主要是相关数据库、多维空间数据仓库和空间数据的无缝连接等内容;应用层主要面向不同用户群的需求提供业务服务,例如虚拟环境以及辅助决策支持系统和物种保护过程机械智能化等。

#### 3.1 数字化植物园的信息技术体系

数字化植物园的信息技术体系包括植物园信息管理、地理信息监测、精准植物管理、智能植物保育和植物园信息服务。

信息的采集、处理、存储和管理是信息化的基础,植物园应利用种质资源数据库、科学研究数据库、科普教育数据库、资源利用数据库和日常管理数据库等,建立一个专门的、共享式的植物园信息管理平台。

植物园水、土壤、空气、生物等自然资源要素的

时空变异大,且时效性强,可以用3S技术对不同尺度上的要素进行高精度和短周期信息获取。以最小单位识别地形、土壤、植物长势和病虫害等空间变异,自动生成优化的耕作、施肥、灌溉和喷药等操作指令,提高效率,降低成本;建立系统的模拟模型和专家系统,利用虚拟技术对植物过程进行量化和集成、综合和分析,以达到科学的认识和决策管理;信息网络和服务是进行科普教育的重要手段,植物园能将植物及科普旅游紧密结合,是一般综合性网站难以替代的。

总之,数字化植物园的关键技术包括植物园信息的提取、数据分析、信息技术的集成与整合和信息标准化技术等。而且信息源越丰富,宏观监测越精确,信息管理能力强,智能化程度越高,信息服务的质量也就越好<sup>[12]</sup>。当前数字化植物园应优先突破的领域主要包括:土壤信息、植物生理生态信息的收集;地面及超低空遥感技术系统、植物生长过程在线监测装置的开发;野外机载电子装置的适应性与可靠性技术、智能决策管理平台和相关软件的开发等。

#### 3.2 数字化植物园的基础—虚拟植物

自20世纪60年代就有基于植物生理生态过程的模拟植物生长的研究,随着信息技术的发展,可视化仿真为植物生长研究提供了一种直观、迅速的科学研究方法,它可通过图形方式更有效地观察与分析植物生长中的结构与功能、生长发育、进化和分布等规律<sup>[13,14]</sup>。虚拟植物就是以植物体为研究对象,通过构造一个简单但是能够反映物理世界中真实植物的数学抽象描述模型,模拟被研究对象的发生、发展过程,为解释现象、揭示机理、发现规律和预测结果提供有用工具。

按建模方法和目的可将虚拟植物模型分为两类:静态模型和动态模型。静态模型是应用三维数字化等方法测定植物的形态结构数据后,建立虚拟植物模型,如Smith等建立了猕猴桃果实与藤架形态结构的三维重建,应用可视化技术以不同颜色来表征果实的各项属性,分析植株结构空间规律与果实的物理、化学、采后品质的相关关系<sup>[15]</sup>。动态模型是基于对植物生长过程中拓扑结构演变和几何形态变化规律的研究,提取植物的生长规律而建立的模型。目前比较成功的动态模型工具为L系统,而比较好的虚拟植物系统有Vlab虚拟植物系统和

AMAP系统<sup>[16,17]</sup>,已用于公园植物栽种后的生长状况预测,但在植物与环境相互作用关系量化与模拟机制及根系虚拟等方面还有待进一步研究。

虚拟植物的研究内容包括:对不同生长条件、不同发育阶段的植物进行定性观察,判别其生长模式,确定描述其形态结构的总体框架;量化测定植物的拓扑结构、几何特性和机械性质等,通过数理统计和模式识别等方法,由测定数据提取植物形态结构规则;模型依据生长规律模拟植物生长,应用可视化技术在计算机上实现虚拟植物<sup>[14]</sup>。

### 3.3 数字化植物园的重要内容—虚拟植物园

虚拟现实技术是用计算机技术来生成一个逼真的三维视觉、听觉、触觉或嗅觉等感觉世界,让用户可以从自己的视点出发,利用自然的技能和某些

设备对虚拟世界客体进行浏览和交互考察<sup>[12,18]</sup>。目前主要用分布式虚拟环境建立虚拟植物园,即基于因特网和万维网的计算机软硬件环境,形成具有三维图形空间,让参与者从世界各地上网连接到该三维空间,并以化身表示各自在该共享环境中的身份,进行交流。虚拟植物园目前主要用于信息网上发布、植物园管理和规划、公众参与和决策、生态保育和旅游发展等,是作为一个分布式虚拟环境存在的。

### 3.4 数字化植物园的核心—专类园数字化管理技术

专类园的精确定管理最终要体现在田间机械作业上,从图 1 可知,整个过程涉及到数据输入、数据处理、基于知识库和模型库的智能决策、输出管理处方图和机械化的管理实施等。

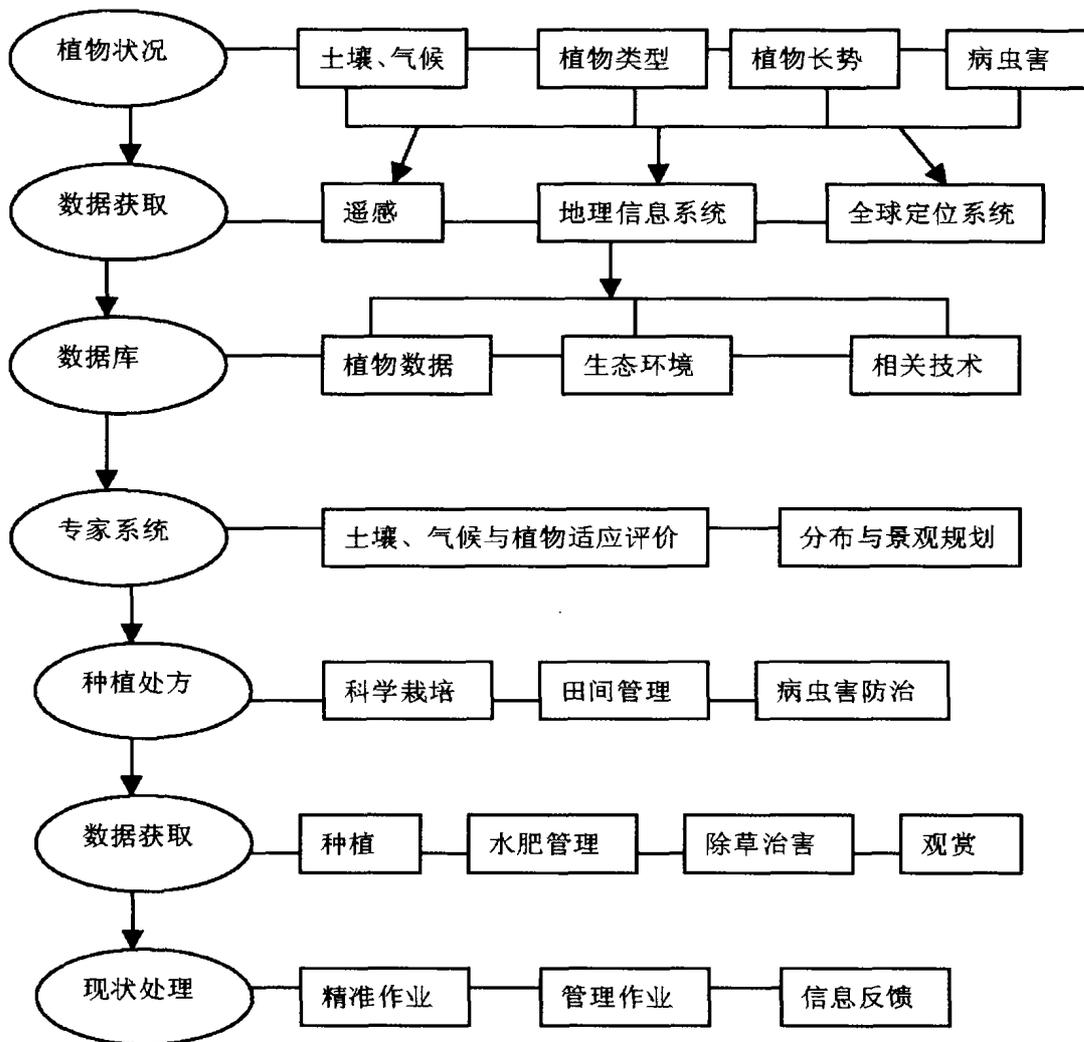


图 1 植物专类园管理中的精确技术流程图

Fig. 1 Flow diagram of accurate technology in the management of special gardens

## 4 华南植物园数字化建设

华南植物园是以热带亚热带植物为特色,集植物科学研究、引种保育、科普教育和资源利用为一体的国立植物园。自建园以来,已在植物系统与演化、引种与驯化和植被恢复等方面取得了重要的研究成果,为国民经济的发展和基础科学研究做出了重要贡献。先后引种植物1万多种,现收集保存植物约8000种,积累了大量基础数据,初步编制了植物定植图,建立了重要专类园和引种繁育苗木的数据库,完成了鼎湖山树木园物种数据库、华南植物园标本馆模式标本数据库、华南植物园标本数据库、科普旅游信息系统与空间数据库的建设,为建立数字化植物园奠定了深厚的基础。近期华南植物园又启动了数字化植物园建设工作,该工作将在如下方面开展研究与技术集成。

**数字植物园技术与集成** 在数字植物信息获取及计算机技术集成的基础上拓展数字植物园,探讨数字信息技术在植物园建设中的理论应用和实践。建立基于数字化技术的植物园研究、开发和产出一体化基地。促进植物学相关基础学科(分类学、生态学、生理学、植物资源与生物技术和园林园艺学等)的发展;构建科学研究、物种保护、科普教育和资源利用的应用基础平台;最终实现新优植物资源、优良生态模式和现代科普教育的产业化。

**数字化植物标本馆** 通过高分辨扫描和摄影系统建立植物活体和标本三维图像档案数据库,开发植物图像和文字识别系统,重塑现代标本馆,极大地增强开放度,在原有科学功能的基础上加强其文化和教育功能。

**植物资源保护、种质创新与利用** 在植物资源研究的基础上,建立植物资源数据库、植物化学成分数据库、新种质创制相关的优良性状和基因(重点是与发育、生长和抗逆等有关的基因)数据库、相关的性状和基因的标记(包括形态标记和分子标记)数据库等,开展植物种质创新和高效植物资源开发利用工作,并应用GPS、GIS、植物三维数字化技术和其他信息采集技术,实现对植物生长全过程的量化研究和监测,为精确定量施肥、灌溉和病虫害防治等工作提供理论依据,为广东省的社会经济发展服务。

**生态环境资源监测与规划** 通过3S技术动态跟踪调查广东省各类生态环境资源(水分、土壤和

气象等),构建实时生态环境数据库。通过集成与分析,发现广东省现存的生态环境问题,提出相关对策,构建区域生态资源的监控、模拟和规划研究的自动化研究平台,建立各类优化生态示范模式,为合理保护、调配、治理和开发各类资源服务。

**虚拟植物园** 其内容包括:植物园导游服务(植物园功能区景观分布、各功能区植物种类、图像照片和背景资料介绍等),科普服务(植物的作用,植物生长模拟,植物共生、竞争和附生等现象模拟,植物与无机环境关系模拟,植物与群落演替模拟等),数字园艺(利用数字化技术进行植物园的总体规划、专类园设计、植物种植和模拟、园林小品设计、基础设施设计和科普解说系统设计等,并可通过各类模块让人们自行设计开发自己的植物园)。

虚拟华南植物园拟采用均衡客户机/服务器结构,综合应用Arc/Info、Arc/View、AutoCAD、Java和VRML97等开发工具,设计基于因特网的三维数据模型,及支持二维图形图像的系统用户交互界面。用户基于该界面可进行三维漫游探索、数据查询分析及与其它用户通讯合作操作等。将来拟建立虚拟游客群,吸引大量虚拟科普旅游人口,开展各种科学研究、物种保护、科普教育和资源利用活动,建成一个虚拟社区,成为华南植物园的重要组成部分。

**致谢** 在华南植物园召开的数字化植物园研讨会中,李岩、迟国彬、陈晓翔、吴志峰、郭志兴等教授提出了宝贵的建议。

### 参考文献

- [1] Li S C(黎盛臣). The development of botanical gardens in China [J]. *Plants(植物杂志)*, 1995, (6):9-10. (in Chinese)
- [2] Wyse J P S. Convention on biological diversity [J]. *Public Garden*, 1997, 12(2):14-17.
- [3] Lou Z P(娄治平), Zhou J(周桔), Kang L(康乐). The developing botanical gardens of Chinese Academy of Sciences [J]. *Bull Chin Acad Sci(中国科学院院刊)*, 2002, (6):469-470. (in Chinese)
- [4] Stirton C. The "preffered future" of botanical gardens [J]. *J Plant Resour Envir(植物资源与环境学报)*, 2002, (2):53-60. (in Chinese)
- [5] Gao X M(高秀梅), Gu Y(顾嫻), Lin P P(凌萍萍), et al. Living collections information system (LICIS) [J]. *J Plant Resour Envir(植物资源与环境学报)*, 1994, (4):1-4. (in Chinese)
- [6] Gao X M(高秀梅), Gu Y(顾嫻), Lin P P(凌萍萍), et al. Computerized display and management system of planting maps [J]. *J Plant Resour Envir(植物资源与环境学报)*, 1995, (4):46-48. (in Chinese)

- [7] Kong X H(孔旭晖). Study on the database management system of landscape plants [J]. Chin Landscape Archit(中国园林), 1997, (5): 57-58.(in Chinese)
- [8] Li Y (李亚), Gu Y (顾姻), Xia R H (夏如红). The status and prospect of the living plant information management system [J]. J Plant Resour Envir(植物资源与环境学报), 1997, (2):48-53.(in Chinese)
- [9] Fan H M(樊汉明), Zhang Z(张征), Lai Z M(赖志敏). The establishment of management of information system of South China Botanical Garden [J]. Chin Landscape Archit(中国园林), 2000, (1):72-74.(in Chinese)
- [10] He S A(贺善安), Gu Y(顾姻). On the strategy of botanical garden development [J]. J Plant Resour Envir (植物资源与环境学报), 2002, (1):44-46.(in Chinese)
- [11] Wu C Y(吴彩云), Yang Z Q(杨中清), Li W(李伟). The information management system of plant species in botanical gardens based on the WebGIS [J]. Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 2003, (6):33-36.(in Chinese)
- [12] Department of Rural and Social Development of Science and Technology Ministry (科学技术部农村与社会发展司). Proceedings of Develop Stratagem on Chinese Digital Agriculture and Rural Information [C]. Beijing: China Agriculture Publishing House, 2003. 1-285.(in Chinese)
- [13] Hu B G(胡包钢), Zhao X(赵星), Yan H P(严红平), et al. Plant growth modeling and visualization — Review and perspective [J]. Acta Automat Sin (自动化学报), 2001, 27 (6):816-835. (in Chinese)
- [14] Guo Y(郭焱), Li B G(李保国). Advances in virtual plants [J]. Chin Sci Bull(科学通报), 2001, 46(4):608-615.(in Chinese)
- [15] Smith G S, Curtis J P, Edwards C M. A method for analyzing plant architecture as it relates to fruit quality using three-dimensional computer graphics [J]. Ann Bot, 1992, 70:265-269.
- [16] Prusinkiewicz P. The Algorithmic Beauty of Plants [M]. New York: Springer Verlag, 1990. 1-50.
- [17] de Reffye. Modelling plant growth and architecture: some recent advances and applications to agronomy and forestry [J]. Curr Sci, 1997, 73(11):984-992.
- [18] Gong J H(龚建华), Lin H(林珺). Virtual Geological Environment — Geological Perspective of Virtual Reality [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 60.(in Chinese)

欢迎订阅 欢迎投稿

## 《热带亚热带植物学报》2005 年征订启事

《热带亚热带植物学报》是中国科学院主管、中国科学院华南植物园和广东省植物学会联合主办、科学出版社出版的国家级学术性期刊。主要刊载热带亚热带地区植物学研究的论文报告、科研简报、综述评等；介绍植物学研究领域中各分支学科的新发现、新理论、新方法和新技术等，为推动植物学研究和开发热带亚热带植物资源，为国民经济建设和科学技术进步做出贡献。主要读者对象为本学科的研究人员、大专院校师生等。

本刊创刊于 1993 年，统一刊号为 CN 44-1374/Q，国际刊号为 ISSN 1005-3395，是中国自然科学核心期刊。本刊多年来被美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《CAB International》的多种专业文摘以及《中文核心期刊要目总览》(2004 年版)、中国科技论文统计源期刊、《中国科学引文数据库》、《中国生物学文摘》等收录。

本刊 2004 年改为双月刊，大 16 开铜版纸印刷，96 页，2005 年每册 15.00 元，全年订价 90.00 元 (含邮费)。可直接汇款到本刊编辑部或通过天津“联合征订服务部”订购，地址为：天津市大寺泉集北里别墅 17 号，邮编：300385，电话：(022)23973378，联合征订代号：5521。海外发行机构：中国图书进出口(集团)总公司出口部，海外发行代号：BM7260。

编辑部地址：广州市乐意居中国科学院华南植物研究所内，邮编：510650

电话：(020)37252514 传真：(020)37252642

E-mail: jtsb@scib.ac.cn 网址: <http://xuebao.scib.ac.cn>; <http://ryzb.chinajournal.net.cn>;

<http://rdyrdzwx.periodicals.net.cn>

若有漏订者，可直接汇款至我刊编辑部补订。我刊历年的订价(含邮费)为：1993 年(只出版了一期)3.80 元；1994 年-1996 年 15.40 元/年；1997 年-2001 年 26.40 元/年；2002 年-2003 年 46 元/年；2004 年 90 元。

欢迎订阅， 欢迎投稿。