

3S 技术在中药资源研究和管理中的应用与展望

谷 婧^{2,3,4}, 冯成强^{2,3}, 张文生^{1,2,3,4*}

1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

2. 北京师范大学 中药资源保护与利用北京市重点实验室, 北京 100875

3. 北京师范大学 教育部天然药物工程研究中心, 北京 100875

4. 云南省三七生物技术与制药工程研究中心, 云南 昆明 650000

摘 要: 遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS) 统称 3S, 是一种现代化信息综合处理技术, 近年来在资源和环境研究领域应用广泛。概述 3S 相关技术的特点, 对近 10 年来 3S 技术在中药资源研究和管理领域包括中药资源调查、动态监测、适宜性评价、中药区划、中药品质与生境因子的相关性研究、道地药材研究以及中药资源的信息化管理方面的应用情况进行综述, 指出 3S 技术在中药资源研究和信息化管理中应用的意义和前景, 并对需要关注的一些问题进行讨论。

关键词: 3S 技术; 遥感; 地理信息系统; 全球定位系统; 中药资源; 信息化管理

中图分类号: R282.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2014)10-1502-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.10.028

Progress and prospect on application of 3S technology in research and management of Chinese materia medica resources

GU Jing^{2,3,4}, FENG Cheng-qiang^{2,3}, ZHANG Wen-sheng^{1,2,3,4}

1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. Institute of Natural Medicine and Chinese Medicine Resource, College of Resource Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3. Center for Natural Medicine Engineering, Ministry of Education of China, Beijing 100875, China

4. Yunnan Sanqi Biotechnology and Pharmaceutical Engineering Center, Kunming 650000, China

Key words: 3S technology; remote sensing; geography information systems; global positioning systems; Chinese materia medica resources; information management

3S 是遥感 (remote sensing, RS)、地理信息系统 (geography information systems, GIS) 和全球定位系统 (global positioning systems, GPS) 的统称。其结合了空间、传感器、卫星定位与导航、计算机和通讯等技术, 是近十几年来迅速发展, 具有空间信息获取、存储、分析、处理、输出和应用功能的综合空间信息技术, 目前已广泛应用于农业、林业、气象、海洋、国土等资源与环境相关研究和管理领域。

中药资源是发展中医药事业的物质基础和前提, 同时也是自然资源的重要组成部分。其研究对象为一定地区或范围内分布的药用植物、动物和矿物及其蕴藏量的总和^[1]。中药资源具有显著的地域

性, 空间特征和地理环境对中药资源的品质形成起着决定作用^[2-3]。由于 3S 技术具有研究空间和地理环境特征的显著技术优势, 近些年该技术逐渐应用于中药资源研究和管理领域^[4]。本文通过查阅文献, 对近 10 年来 3S 技术在中药资源研究和管理相关领域中的应用进行探讨, 为中药资源相关研究及现代化和信息化管理提供参考。

1 3S 技术的主要特点

1.1 技术先进性

3S 技术是近些年来发展起来的新型空间信息分析技术, 其中 RS 是 20 世纪 60 年代在现代物理学、电子计算机、空间和地球科学理论以及航空摄

收稿日期: 2013-11-30

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划课题 (2012BAI29B08); 北京市共建项目 (403105)

作者简介: 谷 婧 (1982—), 女, 博士, 讲师, 研究方向为中药资源保护与合理利用。Tel/Fax: (010)62205282 E-mail: Gujingr@163.com

*通信作者 张文生, 教授, 博士生导师。Tel: (010)62200669 E-mail: zws@bnu.edu.cn

影技术基础上发展起来的新兴技术,其先进性主要体现在获取信息的方式由摄像机发展到扫描方式的传感器,使得对地球环境和资源的监测和研究进入新的阶段。另外,其应用结合了多种当代先进和尖端技术。GPS是1994年首先在美国建成并投入使用的中距离圆形轨道卫星导航系统。其由24颗卫星组成,分布在高2万公里的6个轨道上绕地球飞行,使全球定位和导航成为可能,这对于导航定位、地面勘测及民用等方面都是技术上的巨大进步。GIS也是20世纪60年代兴起并发展起来的新型信息处理技术,通过对空间信息和地理参照数据进行分析 and 处理,可以把地图的地理分析功能和视觉化效果与一般的数据库功能如查询、统计和分析等集合在一起。目前3S技术已经进入成熟应用阶段,并在自然资源普查和动态监测、土地规划和利用以及环境监测与保护等领域显现出较大优势和潜力。

1.2 数据信息实时性和客观性

RS可以在远离被测物体或现象的位置上,通过使用一定的仪器设备(传感器),接收和记录物体或现象发射或反射的电磁波信息,经过对信息的传输、加工处理及分析与解译,对物体及现象的性质及其变化进行探测和识别^[5]。RS能够客观真实地反映被测物体及现象的特点,并且可以监测其动态变化,如RS可以对土地利用类型进行调查并且可以动态监测土壤的干旱、盐碱和沙漠化情况。GPS系统主要由空间卫星、地面监控和用户设备3个部分组成,在地球上任何位置和任何时刻都可以同时接收来自4颗卫星的信号,其系统结构具有实时和高精度定位的特征^[6]。GIS在计算机硬件和软件的支持下,通过对地理数据进行处理使得地理信息的综合管理、充分利用、定量分析、快速制图和动态更新成为可能;通过及时获得RS信息,还可以实现对自然资源和地质灾害的实时监测。通过3S技术获取物体及其周围环境的数据可以减少人为因素的主观影响,并可以实现数据和信息的实时更新和管理。

1.3 探测范围广泛

根据RS传感器搭载平台可分为地面、航空和航天遥感。根据传感器所接收的电磁波谱,可分为紫外、可见光、红外、微波和多光谱遥感。RS技术作为一种对地观测综合技术,具有探测范围广和数据综合性强的特征。GPS系统是全球共享的空间信息资源,具有海陆空全方位实时3维导航与定位能力。GIS可以在计算机硬件和软件的支持下,对整

个或部分地球表层(包括大气层)空间中地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示、描述以及辅助决策^[7]。运用3S技术对作物进行探测时,既可以对作物的长势、分布面积和产量进行估算,也可以定量获取作物的环境因素包括地形、土壤类型和肥力等数据。

1.4 集成化趋势明显

因其各自的功能和优势,3S技术具体使用时往往表现为RS/GIS、GPS/GIS、GPS/RS、RS/GIS/GPS相互之间的集成。随着科学技术的发展,3S技术结合日趋紧密,3S集成相关技术成为了研究的热点。3S集成系统在实际运用中,GPS和RS是地理位置、空间关系和属性特征数据的来源,侧重信息的获取,GIS是数据集成、处理和存取的系统平台,侧重信息处理和应用^[8]。

2 3S技术在中药资源研究与管理中的应用

2.1 3S技术在中药资源调查中的应用

传统的中药资源调查通过野外实地调查(外业调查)与药材资源资料和数据的系统整理(内业整理)相结合,采用踏查、抽样调查、访问调查和统计报表等方法,得到中药资源调查的结果^[9]。这些方法在对中药资源总体情况,如面积和蕴藏量等进行判断和估算时,存在费时、费力,并且调查结果易受人为因素影响等问题。RS应用于中药资源调查,能够大范围、高效率、定量表达中药资源储量和生境现状及变化情况,可以弥补传统调查方法的不足。

根据药材整体地域性和局部散生性,结合不同药用植物的光谱反射特征和药材伴生特征,利用RS技术已经开展了许多区域性中药资源调查。例如野生广布中药资源甘草的分布面积和蕴藏量的调查^[10],人工栽培中药人参和三七面积和产量的调查^[11-12];野生稀有中药,往往具有分布零散或作为林下非建群种存在的特点,利用RS技术对其进行调查时需要建立调查对象与环境因子的关系模型,获得稀有种植被覆盖状况数据,通过野外实地调查建立药用植物蕴藏量与RS数据之间的关系,从而得到野生稀有种的蕴藏量和分布情况^[13]。

GPS和GIS应用于中药资源调查时,GIS是综合处理和管理信息和时空数据的有效工具,而应用GPS辅助空间定位,可补充传统人工野外普查工作的方式,避免调查结果的主观性。1998年提出的数字地球概念涉及多种学科和技术,其中3S是构建

数字地球的核心支撑技术。利用 GIS 技术建立网格数字镶嵌,将自然因子及空间地理信息数字镶嵌入网格中,每个网格具有查询自然条件、地理位置及空间叠加分析等功能。GIS 技术可以根据不同生境条件将目标区分层,对不同生境类型随机抽样,通过 GPS 辅助野外调查取样计算出该生境类型中单位面积储量,建立不同生境类型储量计算模型,从而计算出调查区域内的资源储量。

2.2 3S 技术在中药资源动态监测中的应用

传统中药资源调查的结果限于文字描述和地图展示等静态表现方式,而野生中药资源的种类、分布、蕴藏量以及栽培中药的长势和产量等处于动态变化中,传统的资源调查方法不能反映一段时间内中药材资源各方面的动态变化。3S 技术具有的动态分析功能使其在植物资源动态监测方面显示出极大的优势。

3S 技术用于植物群落中占绝对优势的乔木、灌木类中药资源动态监测比较成熟,如孙宇章等^[14]结合 RS 和 GIS 技术,通过选取 3 个时期的 landsat5 TM 遥感图,利用 4 维空间分析植物的方法提取银杏的植被信息,在野外实地调查数据的支持下,利用差值植被指数(DNI)为判别函数,对江苏邳州市的银杏资源量和分布变化规律进行动态监测研究。对于稀有或林下中药资源的动态监测,则需要结合实地调查,通过对大面积的伴生植物进行分析明确该植物的地理分布,建立生物量与环境因子间的关系模型,并建立该植物动态遥感监测数据库^[15]。对这类中药资源,低空遥感技术在低分辨率遥感影像的基础上选择某些代表性区域进行高分辨率影像补充获取,可以提高药用植物遥感调查对分辨率的要求,适用于对中药资源长势的监测。此外,RS 技术利用中药资源反射光谱的变化,可以实现中药资源病虫害和土壤养分等情况的动态监测^[13,16]。GPS 用于野外药材地理位置和分布面积的确定,可以为药材资源变化的动态监测和资源档案及时更新打下基础。

2.3 3S 技术在中药区划中的应用

中药区划的基本目的是按照中药资源的自然规律和中药生产的客观经济规律,因地制宜地指导中药资源开发和中药生产^[17]。20 世纪 80 年代初的全国中药资源普查,对全国中药资源进行了初步的区划研究。由于所掌握的中药材具体生境特点和生态条件等方面的资料有限,传统的中药区划停留在大

尺度的定性描述和药材资源分布与生产区域示意图,科学性和实用性有所欠缺。随着中药区划研究的深入,传统中药区划逐渐从定性描述转向定量的数值区划以及定性和定量相结合的区划。

2.3.1 GIS 和 GPS 技术在药材产地适宜性评价和区划中的应用 通过 GIS 集成中药资源的属性信息和地理空间信息,借助其空间分析功能,能够以药材产地的生态适宜性分析为基础,准确真实和可视化形式展现区划结果^[18]。依托 GIS 平台,以基础地理信息数据为基础,选取气温、相对湿度、降水量、日照时数等气候和生态因子并结合土壤数据库,采用统计学方法进行药材产地的生态适宜性分析,并对药材适宜性产区进行分级^[19-20]。郑小华等^[21]运用 GIS 技术及模糊综合评判理论和方法对陕南秦巴山区进行中药气候资源评价及区划,分析选择影响中药品质的气候因子,确定中药气候资源评价指标模型,并利用 GIS 空间叠置和分析功能按适宜度分级,得到陕南中药种植气候生态区划图。严辉等^[22]以明党参主产区 43 个样点为分析基点,选取海拔、降水、土壤类型、相对湿度、日照时数、年平均气温等影响明党参生长发育的关键生态因子,通过对主产地野外 GPS 采点调查确定明党参的各生态因子的属性数值范围,利用中药材产地适宜性分析地理信息系统(TCMGIS),验证了明党参文献记载的分布区并发现了新的适宜区。陈士林^[23]通过开发的 TCMGIS 系统对 210 种大宗常用中药材的产地适宜性进行了分析和区划,为中药材的规范化生产提供参考。刘珍等^[24]利用 GIS 的空间集成技术与地学图谱信息叠加 2 种研究方法,根据彝族药材的生境条件,选择海拔高度、坡度、坡向、植被类型作为生境恢复的评价指标,利用 GIS 技术提取每种生境因子图谱并进行空间叠加,得到药材的理论生境适宜区,结合土地利用现状和 GIS 的分析功能得到直观的种植布局图,为当地彝药种植布局提供依据。

2.3.2 RS 技术在中药区划中的应用 RS 数据在中药区划中的应用能明显提高区划的效率和精确度,达到村级和种植地块级,可以突破其他区划方法中资料以点代面的不足^[25]。张小波等^[26]对广西青蒿生产适宜性的区域差异分析中,用统计分析方法对青蒿素量、青蒿的生物量与生态因子之间的关系构建了逐步回归模型,并应用 RS 数据提取了广西地区的土地利用状况信息,增强了区划结果的准确性。

2.4 3S 技术在中药资源品质与生境相关性研究中的应用

生态因子和环境因素及其综合作用在药材品质形成中起着及其重要的作用,影响药材的生长、发育及器官的外部形态和内部构造,并导致药材的药用活性成分发生变化,使中药材在质量和药效上产生差异。3S 技术可以用于揭示药材品质和空间地理特征包括各种生态环境因素的相关性,发现影响药材品质的主导生态因子。张小波等^[27]应用 GPS 和 GIS 技术对贵州 14 个县野生头花蓼中没食子酸的量与地形因子之间的关系进行分析,得到头花蓼的地形适宜性等级分布图,研究没食子酸量受地形影响的空间变化规律,结果表明海拔、坡向、坡度对头花蓼中没食子酸的量影响较大。谢彩香等^[28]应用 TCMGIS-iv 系统,在以 1 月、7 月平均气温、年均降水量、海拔和土壤因子为依据,对新疆南部野生管花肉苁蓉进行产地适宜性数值分析的基础上,经过调研和分析,发现冬季低温可能是影响管花肉苁蓉分布的关键环境气象因子,通过增加相关生态因子进行适宜性再分析,表明新疆南部冬季最冷和夏季最热季节具有的气候条件是管花肉苁蓉的生长和繁衍的保证。

2.5 3S 技术在道地药材研究中的应用

道地药材是具有特定种质、特定产区、特有生产技术或加工方法而生产的质量、疗效优良的传统中药材。3S 技术除可以应用于道地药材资源的调查和动态监测外,还有助于分析和确定道地产区的生境因子对有效成分的种类和量的影响,获得适宜药材生长的条件,规划道地药材的适宜产区,并有利于揭示中药道地性的成因和环境机制。赵润怀等^[29]利用 TCMGIS-I 技术探讨了道地药材附子产地的生态适宜性,发现除四川道地产区外,全国接近 30 万公顷的区域范围的气候土壤条件适合附子的生长,满足建设附子道地药材基地的生境条件,同时根据分析提出附子的分布区域基本上标示黄壤,提示土壤因素可能影响附子的适宜性。Guo 等^[30]利用 GIS 比较苍术道地产区茅山地区气象因子与苍术整个分布区气象因子的异同,提取苍术道地药材原产地气候生境特征,发现茅山地区气候具有高温、旱季短、雨量充足的特点,指出苍术道地药材形成具有逆境效应。通过将统计学多元分析方法及 GIS 的空间分析和制图功能结合,得到气候因子与苍术挥发油中 6 个主要组分的相关模型及苍术挥发油的气

候适应性区划图,发现 10 月份的气象条件对苍术挥发油组分的影响最大,温度及其与降雨的交互作用是影响苍术挥发油组分的气候主导因子,并且苍术生长发育的不适宜区恰恰是其挥发油组分积累的适宜区,验证了道地药材形成的逆境效应理论。

针对道地药材的空间信息数据库建设,Guo 等^[30]具体探讨了基于 3S 技术的“中药道地药材空间分析数据库”的构建及应用,数据库的构建以 3S 空间分析技术为核心和底层结构,并构建中药道地药材专业模型和拓展模块,以实现道地药材生境、产量、质量等信息的咨询。基于 3S 技术的道地药材数字药匣理论,针对数字化的道地药材特征信息构建数据库,并对构建模型进行道地药材的适宜性评价与区划,为制定科学的道地药材种质规划和发展对策提供依据^[31]。

2.6 3S 技术在中药资源管理信息化中的应用

中药资源的信息化管理是实现中药现代化和中药资源可持续利用的重要基础。孙成忠等^[32]认为中药资源信息化建设需要一个综合性的标准系统,GIS 是中药资源信息化建设的关键技术支撑和重要组成部分。王广平等^[33]从信息分析、处理、信息决策等层面,宏观和微观角度论述了 3S 技术对中药资源信息化管理的推动作用。王小燕等^[34]指出 GIS 技术在中药资源管理中的应用既可以对中药资源的现状作详细描述,还可以对中药资源的贮量、分布等情况作分析预测,并描述了中药信息系统的架构设想。

中药资源的形成和特点与空间位置息息相关,GIS 技术从中药资源地理学的角度研究中药资源合理利用和保护,可以更有效地提取和分析处理中药资源信息。RS 技术是中药资源信息化和中药材技术体系中获取有效数据的重要来源,可以提供大量的中药资源时空信息,为中药材生产和管理服务。GPS 技术可以实时对中药材生长环境和面积等进行描述,对各种要素进行跟踪。基于 3S 技术的中药资源信息化服务平台和模式的建立和推广将更好促进医药信息服务在传统中药产业中的深入发展。

3 展望

我国中药资源分布广泛、数量庞大,针对中药资源的普查和管理是一项艰苦而复杂的工作,长期以来,由于缺乏对中药资源的统一有序管理,导致了资源的过渡开发和无序利用,道地药材不再地道,有些药材更是濒临绝种。因此,建立中药资源动态

监控和保护体系是中药资源可持续发展和利用的有力保障。

将 3S 技术应用于中药资源研究, 可以提供科学化和具有时效性的基础数据, 建立起中药资源和环境数据库, 并建立反馈和综合协调机制, 提高对资源与环境的宏观调控能力, 应用于中药资源管理可以为主管部门提供决策依据, 应用于企业可以为生产提供原材料信息, 并且对于保护濒危中药资源, 促进中药资源可持续利用具有重要的现实意义。3S 技术在中药资源研究和管理中的应用将推进中药资源研究和管理科学化、信息化和现代化。针对应用中出现问题, 如林下稀有资源的调查, 可以建立目标类群与伴生物种的关系模型, 并结合传统的调查方法进行目标种群的估算和判断; 针对目前 3S 技术局限于植物药的调查和监测, 可以探索建立基于 3S 技术的药用动物生境和种群的动态监测系统; 随着 3S 相关技术的不断发展和进步, 加强相关技术的更新与中药资源的实际应用相结合也是必须的工作。应用 3S 技术针对众多种类和不同生境中的中药资源进行研究和管理, 并形成覆盖全国可更新的中药资源动态监测体系和管理数据库, 以及可共享的网络等必将是艰巨的工作, 需要在实践中不断探索和推进。

参考文献

- [1] 王文全, 沈连生. 中药资源学 [M]. 北京: 学苑出版社, 2005.
- [2] 郭兰萍, 黄璐琦. 中药资源生态学研究理论框架 [J]. 资源科学, 2008, 30(2): 296-304.
- [3] 曹海禄, 曹国番, 魏建和, 等. 遗传和环境因子对药用植物品质的影响 [J]. 中草药, 2007, 38(5): 785-788.
- [4] 张艳, 曹慧, 尹永田, 等. 基于网格优化的中药材空间管理信息系统 [J]. 中草药, 2009, 40(4): 658-660.
- [5] 孙家炳. 遥感原理与应用 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [6] 胡友健. 全球定位系统原理与应用 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003.
- [7] 郑春燕, 邱国锋, 张正栋, 等. 地理信息系统原理、应用与工程 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011.
- [8] 刘祖文. 3S 原理与应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [9] 万德光, 王文全. 中药资源学专论 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- [10] 张本刚, 陈士林, 张金胜, 等. 基于遥感技术的甘草资源调查方法研究 [J]. 中草药, 2005, 36(10): 1548-1551.
- [11] 陈士林, 张本刚, 张金胜, 等. 人参资源储藏量调查中的遥感技术方法研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2005, 7(4): 37-43.
- [12] 周应群, 陈士林, 张本刚, 等. 基于遥感技术的三七资源调查方法研究 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(24): 1902-1905.
- [13] 陈丹. 遥感监测方法在药用植物资源监测中的应用 [J]. 科技信息, 2013(8): 41-43.
- [14] 孙宇章, 黄璐琦, 郭兰萍, 等. 遥感技术在中药资源调查中的应用 [J]. 中国现代中药, 2006, 8(9): 7-10.
- [15] 孙宇章, 顾晓鹤, 阳小琼, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的江苏邳州市银杏资源动态变化研究 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(18): 1861-1864.
- [16] 张小波, 孙宇章, 黄璐琦, 等. 野生稀有药用植物遥感监测方法及其标准的建立 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(13): 1741-1744.
- [17] 中国药材公司. 中国中药材区划 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [18] 孙成忠, 刘召芹, 陈士林, 等. 基于 GIS 的中药材产地适宜性分析系统的设计与实现 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2006, 8(3): 112-117.
- [19] 蒋舜媛, 孙辉, 周毅, 等. 宽叶羌活适生地分析及数值区划研究 [J]. 中草药, 2009, 40(4): 638-643.
- [20] 陈士林, 索凤梅, 韩建萍, 等. 中国药材生态适宜性分析及生产区划 [J]. 中草药, 2007, 38(4): 481-487.
- [21] 郑小华, 屈振江, 朱琳. 陕南秦巴山区中药材气候资源评价及区划 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(3): 390-394.
- [22] 严辉, 段金彪, 孙成忠, 等. 基于 TCMGIS 的明党产地适宜性研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2012, 28(4): 363-366.
- [23] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [24] 刘珍, 王静爱, 洪世奇, 等. 基于 GIS 图谱法的中药资源生境恢复研究——以云南楚雄州彝药资源研究为例 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(5): 567-571.
- [25] 张小波, 郭兰萍, 黄璐琦. 中药区划研究进展 [J]. 中国农业资源与区划, 2010, 31(3): 64-69.
- [26] 张小波, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 广西青蒿生产适宜性的区域差异分析 [J]. 资源科学, 2008, 30(5): 759-764.
- [27] 张小波, 周涛, 郭兰萍, 等. 基于地形因子的贵州省头花蓼生态适宜性等级划分 [J]. 中国中药杂志, 2011, 36(3): 311-315.
- [28] 谢彩香, 董梁, 陈君, 等. 管花肉苁蓉产地适宜性之再分析 [J]. 中国药学杂志, 2011, 46(12): 891-895.
- [29] 赵润怀, 王继永, 孙成忠, 等. 基于 TCMGIS- I 的道地药材附子产地适宜性分析 [J]. 中国现代中药, 2006, 8(7): 4-8.
- [30] Guo L P, Huang L Q, Yan H, et al. Study on the habitat characteristics of the geoh herbs of *Atractylodes lancea* based on geographic information systems (GIS) [J]. *JUS-China MedSci*, 2005, 2(1): 46-51.
- [31] 王静爱, 刘金欣, 高路, 等. 浅谈“数字药匣”的理论构建与应用 [J]. 中草药, 2011, 42(6): 1046-1052.
- [32] 孙成忠, 陈士林, 赵润怀. 地理信息系统与中药资源信息化建设 [J]. 中国现代中药, 2006, 8(10): 4-7.
- [33] 王广平, 张少辉. 用 3S 技术推动中药资源信息化管理 [J]. 中国现代中药, 2006, 8(2): 4-7.
- [34] 王小燕, 李楠, 秦建明, 等. GIS 在中药资源管理中的应用研究 [J]. 药学教育, 2011, 27(5): 26-28.