

3S 技术在药用植物资源领域中的应用现状

李越¹, 姚霞², 李振华¹, 龙平¹, 张娜¹, 朱寿东^{3*}, 李旻辉^{1,3}, 张春红^{1*}
(1. 包头医学院, 内蒙古 包头 014060; 2. 中国药材公司, 北京 100195;
3. 中国中医科学院中药资源中心, 北京 100700)

〔摘要〕 为了给药用植物今后的研究提供参考和借鉴,使 3S(RS, GIS, GPS)技术在药用植物各研究领域发挥更大的作用,作者从 3S 技术在栽培药用植物、野生大量分布药用植物、稀有濒危药用植物和特殊生境药用植物中的应用等方面进行概述,分析讨论了其在药用植物领域中的应用现状及所存在的问题。3S 技术已经发展了几十年,拥有了较为成熟的技术和大量成功经验,但它在药用植物领域还属新兴技术,大多数药用植物工作者对其还不够熟悉,今后还需加强 3S 技术相关知识在药用植物一线工作者中的宣传和普及,培养相关专业人才,才能真正做到学科交叉,使 3S 技术在药用植物各领域中发挥更大的作用。

〔关键词〕 3S 技术, 资源, 药用植物, 应用现状
〔中图分类号〕 R282 〔文献标识码〕 A 〔文章编号〕 1005-9903(2014)05-0228-06
〔doi〕 10.11653/syfy2014050228

Application of 3S Technologies in Medicinal Plant Resources

LI Yue¹, YAO Xia², LI Zhen-hua¹, LONG Ping¹, ZHANG Na¹,

〔收稿日期〕 20130424(015)
〔基金项目〕 国家科技支撑计划项目(2012BA128B02);中央本级重大增减支项目(2060302);内蒙古自治区教育厅项目(NJAY13239)
〔第一作者〕 李越, 硕士, 从事茯苓的分子鉴定与区划研究, Tel:010-56190407, E-mail:liyuxm@163.com
〔通讯作者〕 * 朱寿东, 博士, 从事中蒙药 3S 技术研究, Tel:010-64014411-2983, E-mail:seaky2002@163.com;
* 张春红, 博士, 副教授, 从事中蒙药资源及药效学基础研究, Tel:0472-7167795, E-mail:zchlh@126.com

[29] 李彧,牛建昭,贺红莉,等. 温脾汤药物血清对体外培养的大鼠系膜系膜细胞核转录因子- κ B 活化的影响[J]. 解剖学报,2003,34(3):294.

[30] Yokozawa T, Rhyu D Y, Cho E J. Protection by the Chinese prescription Wen-Pi-Tang against renal tubular LLC-PK1 cell damage induced by 3-morpholinosydnonimine[J]. J Pharm Pharmacol, 2003, 55(10):1405.

[31] Rhyu D Y, Kang K S, Sekiya M, et al. Active compounds isolated from traditional Chinese prescription Wen-Pi-Tang protecting against peroxynitrite-induced LLC-PK(1) cell damage[J]. Am J Chin Med, 2008, 36(4):761.

[32] Yokozawa T. 温脾汤对腺嘌呤诱导肾衰大鼠体内自由基增多的抑制作用[J]. 国外医学:中医中药分册, 2003,25(2):35.

[33] 李佳,李红磊,许珊. 3 种大黄饮片在贮存过程中 5 种蒽醌成分的含量变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011,17(10):94.

[34] 谭正怀,沈映君,赵军宁,等. 大黄酸对人肾小球系膜细胞功能的影响[J]. 药学报, 2004,39(11):881.

[35] Guo X H, Liu Z H, Dai C S, et al. Rhein inhibits renal tubular epithelial cell hypertrophy and extracellular matrix accumulation induced by transforming growth factor beta1[J]. Acta Pharmacol Sin, 2001, 22(10):934.

[36] Wang R, Wan Q, Zhang Y, et al. Emodin suppresses interleukin-1beta induced mesangial cells proliferation and extracellular matrix production via inhibiting P38 MAPK[J]. Life Sci,2007,80(26):2481.

[37] 陈廷芳,陈明,秦建华,等. 转化生长因子 β_1 /整合素连接激酶信号通路在大鼠肾小管上皮细胞转分化中的作用及大黄素对其的干预效应[J]. 中西医结合学报,2009,7(1):59.

〔责任编辑 邹晓翠〕

ZHU Shou-dong^{3*}, LI Min-hui^{1,3}, ZHANG Chun-hong^{1*}

(1. Baotou Medical College, Baotou, Inner Mongolia 014060, China;

2. China National Corp. Of Traditional & Herbal Medicine, Beijing 100195, China; 3. China Academy of Chinese Medical Sciences National Resource Center for Chinese Materia Medica, Beijing 100700, China)

[Abstract] The application and development of 3S (RS, GIS and GPS) techniques in traditional medicinal plants are a breakthrough and provide a importance reference and a bigger support for further research. This paper introduced 3S technologies application in medicinal plant of cultivation, wild medicinal plants, rare and endangered medicinal plant and the special habitat medicinal plants. The present situation of its application in the field of medicinal plants and the existing problems were discussed, and the prospect was given.

[Key words] 3S technologies; resources; medicinal plant; application situation

3S技术是遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)三者一体化的简称,其中RS是基础,GIS起辅助信息处理作用,GPS用于辅助空间定位^[1-2]。3S一体化是20世纪90年代以来空间信息技术的发展趋势,目前已发展到成熟应用阶段,在信息获取、信息处理、信息应用方面的突出能力,使其在国防、交通、农业、矿产、地质等领域得到广泛应用,并在资源监测与保护、灾害预警和监测及环境保护等诸多领域显现出巨大的优势和潜力,具有快速、机动、准确、可靠和集成等特点^[3]。自本世纪初,3S技术在药用植物资源调查、适宜性区划、蕴藏量估算等方面逐步展开应用,虽然起步较晚,但是发展迅速,并呈现出良好的发展前景^[4]。本文对3S技术在栽培药用植物、野生大量分布药用植物、野生濒危稀有药用植物和特殊生境药用植物中的应用情况进行综述,分析讨论了其在药用植物领域中的应用现状及所存在的问题,并在此基础上对其发展前景进行了展望,旨在使3S技术在药用植物各研究领域发挥更大的作用,为药用植物研究者提供参考和借鉴。

1 3S技术在栽培药用植物中的应用

随着全球范围内药材用量的不断增长,野生药用植物日趋贫乏,许多药材品种已濒临衰退和灭绝。为了保证临床用药和国内外市场需求,引种栽培成为解决植物药材供需矛盾的主要措施。目前我国人工栽培的大宗药用植物有150多种,种植面积已达440多万亩^[5]。3S技术在栽培种药用植物适宜性区划等方面的研究取得了一定的进展,对避免盲目引种栽培,指导栽培基地合理选址意义重大。

1.1 3S技术在栽培种药用植物适宜性区划方面的应用 文献调研显示目前栽培药用植物适宜性区划主要为生态适宜性区划。郭兰萍等认为生态适宜性区划是研究药用植物资源所在地的自然条件的空间

分异规律,并按照自然条件的空间分异规律对其进行区域划分。主要以药用植物所在的自然生态系统为研究对象,以药用植物的生境特征、药用植物与自然条件之间的关系为依据,对药用植物生存和有效成分积累有影响的自然条件,根据其空间分异规律进行区域划分^[6]。郭兰萍、张小波、黄璐琦等人利用3S技术,以1971-2001年全国740个气象站点的气象数据为基础,采用“模板模式”,应用相似度分析、德尔菲法和空间分析等方法先后对地黄、三叶木通等进行了全国范围内生态适宜性区划^[7-8];并于2008年,首次从药用植物有效成分、生物量产量和土地利用情况等作为考核因子对青蒿栽培基地的生产适宜性进行综合分析,比以往只从气候、土壤角度进行区划更贴近生产实际,更符合道地药材的本质-有效成分而非产量,对指导栽培基地生产优质高产药材具有重大意义^[9]。此种区划也是今后药用植物适宜性区划的发展趋势。

陈士林等认为生态适宜性区划(陈士林等称之为产地适宜性区划)是以影响药用植物资源分布和生产的自然条件为依托,选择具有明显地区分布特征的道地药材或大宗、常用药材,利用地理信息平台对影响药用植物生产的主要生态因子进行量化分析,建立科学合理、可视化的药用植物产地区域划分。其基本分析原理为气候、土壤的相似,药材生长及品质相似,即根据引种地与原产地(道地产地)气候、土壤的相似程度,划分为不同级别的适宜产地^[10]。并以此思路,陈士林等自主研发了TCM GIS分析系统,针对道地产区的气候、土壤等生态因子先后对三七、黄芪、人参、川贝母、甘草、西洋参、川芎、红花等^[11-18]药用植物进行了全国范围内的产地适宜性区划,为中药材的引种栽培和野生抚育,以及科学地确定适宜产地具有一定的理论和实用价值。

值得一提的是有些药用植物既可以药用又可以用于食品、化妆品、工业等其他领域,甚至药用以外的用途更受关注,产生了巨大的经济价值,如茶叶、柑橘等。3S 技术在这类药用植物的适宜性区划方面应用较早,且已广泛应用。其中研究最多最深入的是烟草的适宜性区划,已取得了较多的研究成果。区划类型也从单一气象因子区划发展到气候、土壤、地形地貌等综合角度进行区划,区划目的也从单纯注重提高产量,转变为烟叶品质为重点的综合区划,为我国烟草行业主管部门和农技推广部门指导烤烟种植、科学规划布局生产、建立和开发特定烤烟生产基地、稳定种植规模和提高烟叶品质提供科学决策依据^[19-26]。此外,3S 技术在茶树、柑橘、猕猴桃等药用植物气候适宜性区划方面也有应用^[27-33]。

1.2 3S 技术在栽培药用植物资源调查中的应用

3S 技术在农林牧业等领域资源调查及动态监测方面成功的应用和推广,为药用植物资源的调查和监测提供了理论基础^[34-36]。由于栽培药用植物呈成片、集中分布,且多记录在案,对其资源分布及产量估算较野生药用植物容易。2005 年周应群,陈士林等以云南文山州三七、吉林省靖宇、抚松两县的人参为研究对象,探讨了遥感技术在栽培药用植物资源调查中的可行性和具体实施方法。对于云南文山州马关县三七,他们采用 SPOT5 (5 m) 影像,相对判对率、与统计数据比较的相对面积和相对产量精度可分别为 92.7%、94.4% 和 78.2%;对于吉林省靖宇、抚松两地栽培人参,他们采用了 Landsat7 Tm (15 m) 图像、SPOT5 (5 m) 影像和 QuickBird 图像 (0.61 m),人参在遥感图像上的判读精度分别为 90%、97% 和 100%。以神经网络分类法获取的人参分类精度最佳,精度可达 86%。并根据图斑面积进行了人参种植面积计算,结合人工抽样法估算出人参总产量。可见利用遥感技术为主的 3S 技术对栽培药用植物进行资源调查是可行的^[37-38]。2011 年朱寿东等以栽培川续断为研究对象,以贵州省黔南州龙里县和贵定县为试验区,借助多源遥感影像和空间抽样技术,通过设计套状样方^[39]和构建评价体系,利用间接估算法建立地上部分指标和地下根重之间的定量关系,进行了栽培川续断的蕴藏量调查和估算方法研究,精度达到了 87.5%^[40],为 3S 技术在栽培药用植物资源调查方面广泛应用进一步奠定基础。此外,更值得我们关注的是 2008 孙宇章等选取了 2001 年 4 月,2005 年 1 月和 2006 年 7 月三期的 LandsatTM 遥感图,利用 RS 和 GIS 的空间分析功

能,分析 2001 年到 2006 年江苏邳州市银杏的动态变化。结果显示江苏那州市银杏资源量从 2001 年到 2006 年逐步增长^[41]。这是目前为止,首次利用 3S 技术对药用植物进行资源动态监测。

2 3S 技术在野生大量分布药用植物中的应用

中国拥有十分丰富的药用植物资源,根据第三次全国中药资源普查的结果,我国有药用植物种类涉及 383 科,2 309 属,11 020 种^[42]。野生大量分布药用植物,是指野生状态下分布面积比较大的药用植物资源,但不是单一种群或者优势种群的集中分布,而是分散在不同的植被群落中。3S 技术目前在野生大量分布种药用植物中应用较多,主要集中在对其适宜性区划、资源调查和动态监测新方法的摸索上。

2.1 3S 技术在野生大量分布药用植物资源调查上的应用

目前常用中药材 70% 的品种供应仍依赖于野生资源。但对野生资源的数量没有一个准确的调查和估计。全面实施中药资源普查所需要的人力、物力和财力极大,而且由于滥采滥挖现象日益严重及生态变化等原因,中药资源的蕴藏量始终处于动态变化,按传统方法进行资源调查,即使成本极高的新普查结果也会很快就失去了可靠性。因此,对中药资源及蕴藏量进行实时监测成为中药资源研究、保护及利用的首要问题。3S 技术以其快速、经济、方便等特点,在资源普查及监测方面显示出极大的优势^[42]。2005 年张本刚等利用 RS 技术对宁夏回族自治区灵武市的部分区域和盐池县的部分地区的甘草分布面积和蕴藏量进行了调查,甘草的判读精度达 90% 以上^[43]。2008 年李梦菊等利用 3S 技术,对宁夏中部干旱带 (约 10 000 平方公里) 甘草的分布面积、资源储量等信息进行了调查,基本上掌握了宁夏中部干旱带甘草的生存状况,但未给出判读精度^[44]。在两篇文献中,均采用美国陆地卫星 Landsat-7 ETM 数据作为其调查的数据源,首先确定遥感图像中甘草不同群落的识别标志,然后统计出甘草所在群落面积,抽样调查其在不同群落中所占的比例,即盖度,最后计算出其总面积。甘草蕴藏量估算,首先计算各群落植被指数,在不同级别植被指数所在区域抽样调查其单位面积蕴藏量,然后根据公式:不同级别植被指数下甘草蕴藏量 = 该级别单位面积蕴藏量 × 该级别植被指数的甘草群落面积。计算出所有级别甘草蕴藏量后求和即得甘草在研究区的蕴藏量。此外,朱寿东、李永宁等利用 3S 技术分别对贵州省黔南州龙里县和贵定县川续断及河北

省承德市木兰围场国有林场管理局桃山林场金莲花进行了蕴藏量调查^[40,45]。以上研究为3S技术在野生大量分布药用植物资源调查和动态监测中广泛应用奠定了良好的基础。

2.2 3S技术在野生大量分布药用植物适宜性区划上的应用 朱琳等分别于2006年和2009年根据秦巴山区农业气候特点,采用反距离权重法进行气候指标空间化。根据要素隶属度,建立单因子评价栅格图层,利用GIS空间叠置功能,将各指标评价栅格图迭加,得气候综合评价栅格图,对综合评价图按适宜度分级,分别进行了金银花、山茱萸、连翘和银杏等当地主栽花、果、种子类中药材^[46]和丹参、党参、西洋参等根类药材种植气候适生区划研究^[47],尝试了一个地区多种药材综合适宜性区划的方法。2010年许亮等通过对全国范围内具有代表性的35个产地的牛蒡子进行质量分析,并结合其产地的各种生态因子进行统计,得到影响牛蒡子药材质量的主要因子,将其作为牛蒡子生态适宜性分析的元素,设置权重,利用GIS技术进行牛蒡子全国范围内区划,根据相似系数的大小将其划分为适宜区 $SI \geq 90\%$,次适宜区 $90\% > SI \geq 80\%$,一般适宜区 $80\% > SI \geq 70\%$ ^[48],为多个产地野生药材适宜性区划的研究提供了新思路。

3 3S技术在野生稀有或濒临灭绝药用植物中的应用

野生稀有药用植物,一般是群落中的非优势种群,分散在少数的植被群落中,有广泛的散生性。3S技术目前在野生稀有或濒临灭绝种药用植物中研究较少,尚在探索阶段。

3.1 3S技术在野生稀有或濒临灭绝药用植物资源调查上的应用 对于野生稀有药用植物资源的研究,因其地理分布不是单一种群或优势种群的集中分布,而是分布在不同的植物群落中,因此,使得利用3S技术研究其蕴藏量具有一定难度,但目前研究者们已经做出了许多尝试并取得了一定的成绩^[49]。郭兰萍等认为对于林下资源或稀有资源的监测,如黄连、贝母、冬虫夏草、苍术等,可利用3S技术对有标记作用的伴生植物进行监测和分析,结合实地调查进行研究,可为解决此类稀有种的资源调查提供思路^[4]。2008年郭兰萍和孙宇章等以苍术为研究对象,对这一思路进行了验证。他们采用野外调查与遥感技术相结合的方法分析了茅山地区野生茅苍术的分布情况,发现茅苍术与短柄枹栎的伴生关系明显、具有较相似的生境特征。根据TM影像提取

短柄枹栎的分布信息,来间接体现茅苍术的分布情况,并用ArcMap软件对生物量空间分布模型和空间分布模型进行叠加,按照分级标准计算不同区域内的生物量,计算结果和当地从事茅苍术观测人员提供的信息相差不大,资源量估算精度为76.6%^[50]。此外,张自力等结合GPS技术,以阿尔泰山地区的野生稀有药用植物新疆芍药为研究对象,综合运用遥感、数字高程模型(海拔)、野外样点和植物生态学知识建立新疆芍药空间分布遥感解译专家知识模型来辅助资源调查,获得研究区新疆芍药的可能分布区,遥感解译的精度在85%以上^[51]。

3.2 3S技术在野生稀有或濒危药用植物适宜性区划上的应用 野生稀有或濒危药用植物的保护一直是资源保护与开发利用工作中的重中之重,利用3S技术对其进行适宜性区划研究,找出其适宜生长区域,进行野生抚育或者引种栽培,意义重大。目前这部分工作还处于起步阶段,陈士林等人利用TCMGIS进行以气候和土壤因子对刺五加、羌活、刺山柑进行全国范围内的产地适宜性区划。分析结果与刺五加等分布区和主产区的文献记载均有较高的相似度,此外还新增了许多较适宜产区,这些地区也具备建立规模化生产的气候和土壤条件^[52-54]。

4 3S技术在特殊生境药用植物中的应用

特殊生境药用植物,是指野生状态下生境独特的药用植物资源,如寄生环境:茯苓寄生在红松类植物根部,肉苁蓉寄生在梭梭、红柳根部等;如单一种群环境:水生植物莲、沙生植物甘草和苦豆子等。郭兰萍等认为针对不同生境、不同生长习性的药用植物需要采用不同的调查方法进行研究。比如:茯苓是一种寄生在红松类植物根部的一种菌类常用中药材,在不同地区分布的海拔高度也不同,可以首先将红松分布区域的地形、地貌特征提取,再通过GIS技术将红松生长的地理信息进行描述,根据遥感影像确定红松的分布区域,结合传统的样方调查,计算出茯苓在红松中接种的比例,这样就可以确定出茯苓的生长分布区域并推算出茯苓的蕴藏数量。目前这一理论有待进一步的实践验证^[1,4]。迄今为止,3S技术在特殊生境药用植物中的应用只有2008年陈君等利用TCMGIS系统,以新疆南疆和田地区管花肉苁蓉野生分布区的最适宜生长环境因子为依据分析了管花肉苁蓉的适宜产区及分布面积^[55]。

5 小结与展望

目前3S技术在药用植物适宜性区划方面已有许多报道,主要集中在常用重点药物上。通过GIS

利用大量空间信息及相应的模型对中药资源进行区划,克服了传统凭经验区划的主观性。区划类型也从刚开始的单因素区划(如气候适宜性区划)发展到气候、土壤、地形等综合因素的生态适宜性区划,但现有的药用植物适宜性区划普遍忽视了药材质量和生态环境之间的关系,而对这种关系的研究是中药材道地性研究中的重要内容,也是今后药用植物区划的指导方向和必然趋势。

迄今为止,3S 技术在药用植物的资源调查方面研究较少,只集中在人参、三七、甘草、川续断等少数几种药用植物的分布面积、储备量和产量的估算方面。虽然已取得了一些可喜成绩,但在其他药用植物,特别是野生非广布种和特殊生境下药用植物资源调查方面的应用尚属空白,有待进一步加强。

3S 技术在资源监测与保护、灾害预警和监测及环境保护等诸多领域已显现出巨大的优势和潜力,但是在药用植物资源动态监测方面研究较少,只有孙宇章等在 2008 年利用遥感技术对银杏 2001 - 2006 年资源进行了动态监测。今后应挑选大宗重点药物,在其主产区建立资源动态监测站,充分利用 3S 技术并结合传统地面资源调查完成该药物资源的动态监测,解决目前药用植物资源动态变化和资源调查脱节的尴尬境况,才能真正发挥 3S 技术在资源监测方面的优势,在药用植物资源调查发挥更大更强的作用。

总之,3S 技术已经发展了几十年,拥有了较为成熟的技术和大量成功经验,但它在药用植物领域还属新兴技术,大多数药用植物工作者对其还不够熟悉,今后还需加强 3S 技术相关知识在药用植物一线工作者中的宣传和普及,培养相关专业人才,才能真正做到学科交叉,使 3S 技术在药用植物各领域中发挥更大的作用。

【参考文献】

[1] 常宏,孙海峰,马微微,等. 3S 技术在药用植物资源调查中的应用[J]. 牡丹江师范学院学报:自然科学版,2011(1):13.

[2] 郭兰萍,黄璐琦,阎洪,等. 基于地理信息系统的苍术道地药材气候生态特征研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(8):1.

[3] Guo Lan-ping,Huang Lu-qi,Yan Hong,et al. Study on the habitat characteristics of the geoh herbs of Atractylodes lancea based on geograhic information systems (GIS). J US-China Med Sci,2005,2(1):46.

[4] 郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪. “3S”技术在中药资源可持

- [D]. 长沙:湖南农业大学, 2008.
- [23] 王洪云,陈爱国,赵国明,等. 云南大理州烤烟生态适宜性评价[J]. 内蒙古农业大学学报:社会科学版, 2012,28(5):280.
- [24] 叶协锋. 河南省烟草种植生态适宜性区划研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2011.
- [25] 刘友杰. 基于 GIS 的延边烤烟种植生态适宜性区划研究[D]. 郑州:河南农业大学,2009.
- [26] 汪璇,吕家恪,刘洪斌,等. 基于 GIS 的重庆农业气候资源空间分布精细模拟研究[J]. 中国农学通报, 2009,25(14):256.
- [27] 张玮玮,申双和,刘敏,等. 湖北省茶树种植气候区划[J]. 气象科学,2011,31(2):153.
- [28] 梁轶,柏秦凤,李星敏,等. 基于 GIS 的陕南茶树气候生态适宜性区划[J]. 中国农学通报, 2011, 27(13):79.
- [29] 朱琳,李星敏,朱延年,等. 基于 GIS 的陕南柑桔气候生态适宜性区划[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1):122.
- [30] 农万江,罗新宁,李政,等. 乐业县种植猕猴桃的气候适宜性分析及区划[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):8029.
- [31] 贺文丽,李星敏,朱琳,等. 基于 GIS 的关中猕猴桃气候生态适宜性区划[J]. 中国农学通报, 2011, 27(22):202.
- [32] 尹东,张旭东. 基于 GIS 的甘肃省油橄榄气候适宜性区划[J]. 经济林研究,2009,27(4):65.
- [33] 薛丽芳,王春昌,王春林,等. 广东省龙眼种植农业气候区划研究[J]. 热带气象学报,2011,27(3):403.
- [34] Pan Yu-chun, Zhao Chun-jiang. Application of geographic information technologies in precision agriculture [J]. Transac Chin Soci Agricul Engi,2003, 4:000.
- [35] Yang Yan-di, Wang Li, Chen Xiao, et al. 3S " technologies and its application in land resources management [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2006, 3:034.
- [36] Xiao Hua-shun. Application and prospect of 3S technologies in forest resources monitoring [J]. Forest Resources Management,2004,2:014.
- [37] 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.
- [38] 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]. 2005,7(4):36.
- [39] Wiegert, Richard G. Wiegert. The selection of an optimum quadrat size for sampling the standing crop of grasses and forbs[J]. Ecolog Soci Ameri,1962,43(1):125.
- [40] 朱寿东. 基于 GIS/RS 的川续断蕴藏量调查和估算方法研究[D]. 北京:北京师范大学,2012.
- [41] 孙宇章. 药用植物苍术、银杏的资源遥感监测研究[D]. 北京:中国中医科学院,2008.
- [42] 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.
- [43] 张本刚,陈世林,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.
- [44] 李梦菊,王兴东,王俊,等. 基于 3S 技术的宁夏甘草资源生存现状调查研究[C]. 银川:2008 年中国西部地区植物科学与开发研讨会, 2008:100.
- [45] 李永宁,程旭,黄选瑞,等. 金莲花产量调查及其与环境因子的关系研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):75.
- [46] 朱琳,陈明彬,朱延年,等. 秦巴山区花果种子类中药材气候适宜性区划[J]. 陕西气象,2006,(6):25.
- [47] 朱琳,陈明彬,朱延年,等. 秦巴山区根类中药材气候适宜性区划[J]. 陕西气象,2009,(2):13.
- [48] 许亮. 牛蒡子生态适宜性及质量规范化研究[D]. 沈阳:辽宁中医药大学,2010.
- [49] 张小波,孙宇章,黄璐琦,等. 野生稀有种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.
- [50] 孙宇章,郭兰萍,黄璐琦,等. 茅山地区苍术的分布现状分析[J]. 中药材,2008,31(5):641.
- [51] 张自力,秦其明,董玉芝,等. 基于专家知识的新疆芍药遥感专题信息提取试验[J]. 中国中药杂志,2008, 33(16):1941.
- [52] 孟祥才,孙成忠,陈士林,等. 渐危药用植物刺五加产地适宜性区划研究[J]. 中药材,2009,32(8):1195.
- [53] 孙辉,蒋舜媛,陈士林,等. 高寒山区濒危药用植物羌活产地适宜性及生产区划分析[J]. 中国中药杂志, 2009,34(5):535.
- [54] 杨伟俊,谢彩香,地力努尔,等. 荒漠药用植物刺山柑产地适宜性数值分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011,17(11):100.
- [55] 陈君,谢彩香,陈士林,等. 管花肉苁蓉产地适宜性数值分析[J]. 中国中药杂志,2008,33(5):496.

[责任编辑 邹晓翠]