

· 中药资源普查 ·

高光谱遥感在药用植物监测研究中的应用探讨

张小波, 郭兰萍, 黄璐琦*, 朱寿东, 马卫峰

(中国中医科学院 中药资源中心, 北京 100700)

[摘要] 该文在介绍高光谱遥感的基本概念和特点,分析了应用高光谱遥感进行植物相关研究进展的基础上,借鉴应用高光谱进行植物研究的思路和技术方法,探讨了应用高光谱遥感技术识别药用植物的物种,监测药用植物的生长现状、生物量和中药材品质等方面的关键技术环节,为应用高光谱遥感技术方法,进行药用植物的相关研究提出了新思路和方法。

[关键词] 高光谱遥感; 药用植物; 监测

随着人类社会对中药材需求数量的增加,中药材市场流通过程中以次充好、以假乱真的现象严重,中药材生产和流通过程中急需简便易行的技术方法来识别和监测中药材的品质,以保证临床用药安全。关于中药材的品质、长势和产量估算等方面已有大量的研究成果,由于药用植物的种类多样、不同种类间在结构和成分等方面的差异较大,生产实践中简便易行的技术方法依然在不断探索和发展过程中。随着现代空间信息技术的发展,高光谱遥感已广泛应用于植被研究、地质勘测、城市规划、石油泄漏、环境调查、军事等领域。其中植物研究中主要应用于植物的物种识别、生长监测、生理生化指标反演等方面^[1],但应用高光谱遥感技术专门针对药用植物的研究甚少,相关领域的研究成果可为高光谱遥感在药用植物的相关研究提供新的思路和方法。本文在综述应用高光谱遥感进行植物研究的基础上,探讨应用高光谱遥感技术进行药用植物相关研究的思路和方法。

1 高光谱遥感概述

1.1 高光谱遥感的概念 高光谱遥感是指具有高光谱分辨率的遥感科学和技术,在300~2500 nm(包括紫外、可见光、近红外)的波长,其光谱分辨率一般小于10 nm。高光谱遥感是利用地物的分子光谱吸收和微粒散射特性获取地物信息,包含了地物的辐射、空间分布和吸收光谱等方面大量的窄波段连续光谱(图像)数据。

1.2 高光谱遥感仪器 根据仪器设备工作所需的不同载体,可分为地面、机载、星载3种类型的光谱仪。一般多采用地面光谱仪获取地物光谱数据信息,地面光谱仪有: ASD

FieldSpec 系列,光谱范围350~2500 nm,最小分辨率3 nm,波段数512或1024; GER 系列,光谱范围300~3000 nm,最小分辨率1.5 nm,波段数512; SpectraScan 系列,光谱范围380~780 nm,分辨率8 nm,波段数128; HySpex 系统,光谱范围400~1000 nm/1000~2500 nm,最小分辨率3.7/6.25 nm; HyperSpec 系列、LI 系列、S 系列等其他光谱仪^[2]。使用地面光谱仪采集数据时,受放置高度的限制,地面光谱仪只能获取较小空间面积范围内的数据信息;但可以在同一地方多次重复采集研究对象的光谱数据,不受时间条件的限制,可广泛用于地物内部机构、组成等方面的研究。地面光谱仪配备相应的辅助硬件和软件,可以搭载在飞机等载体上获取较大空间面积范围的数据,可应用于地物自身属性特征和空间等方面的研究。星载高光谱仪器有 AVIRIS, OMIS, CHRIS, Hyperion, HSI 等,可以实现精确的估计农业产量、地质填图、精确制图,在采矿、地质、森林、农业以及环境保护领域具有广泛的应用前景,但应用中受价格昂贵、返回周期长等条件的限制^[3]。

1.3 高光谱遥感数据 光谱仪通过模数转换将进入光导探头的光线转换成数字信号,来获取地物的光谱数据。光谱数据测量工作中通过计算机控制光谱仪,获取和显示光谱信号及数据。进行地物光谱分析需要测定3类光谱数据:暗光谱,即没有光线进入光谱仪时仪器记录的光谱(仪器系统本身和环境产生的噪声值);参考光谱,即从标准板上测得的光谱;样本光谱,即从目标地物上测得的光谱。通过光谱仪获取的光谱数据;可作为航空和航天遥感器等各种遥感设备波段选择、验证、评价的依据;可建立地面、航空和航天遥感数据的关系,进行地物监测;可建立地物光谱数据与地物特征之间的应用模型,进行地物识别。

1.4 高光谱遥感特点 与一般常用的多光谱遥感相比,高光谱遥感的光谱波段较多,一般是几十个或者几百个,有的甚至高达上千个,而且这些光谱波段一般在成像范围内都是连续成像。而多光谱遥感只是在几个离散的波段以不同的

[稿件编号] 20120321001

[基金项目] 公益性行业科研专项(201207002); 中医药部门公共卫生专项(财社[2011]-76); 中医药全国性专款(ZZYZK2012 科技部 A002)

[通信作者] * 黄璐琦, Tel: (010)64014411-2983, E-mail: huangluqi@263.net



波段宽度来获取图像,这样就丢失了对地物识别有用的大量吸收光谱特征信息^[4]。多光谱遥感主要用于获取植被指数,侧重在植被的分布情况研究,很难对各种复杂地物属性和生化参量进行精确反演。对于植被覆盖度比较低且植被分布不连续的地区,多波段遥感数据对这些植被特有属性的探测很不敏感,很难应用于生态系统过程及其特性的研究,而高光谱遥感则能很好地解决这些问题。与其他遥感方式相比,高光谱遥感技术最大的优点体现在识别地物和监测植物的生化指标等方面,尤其是区分地物的细微差别方面。高光谱遥感在探测和识别地表的物质种类,评价和测量光谱所反映出的物质含量,描绘各类地物的空间分布,监测各类地物的变化等应用领域发挥了越来越大的作用^[1]。

1.5 应用高光谱遥感识别和监测地物的关键环节 应用高光谱遥感进行地物识别和监测需要处理好2个关键环节^[2]。一是建立目标标准光谱数据库。一般相对稳定的地物其标准光谱数据库的建立相对容易,受生态生理因素的影响,动植物的光谱特征具有动态和差异性特点,动植物标准光谱数据库的建立较复杂。因此动植物标准光谱数据库的建立要考虑目标的种类、生态环境、时间等方面的因素,需要获取同类不同种,同种不同环境,同环境不同时间等条件下的光谱数据信息。二是定量化处理高光谱图像数据。需要进行辐射值与数字信号之间的转换,去除大气、地形、光照等因素的影响,从数据库或图像中提取目标地物的标准光谱,进行光谱匹配、获取识别或监测结果,共4个关键处理过程。

2 高光谱遥感在植物研究中的应用

2.1 应用高光谱遥感技术监测植物的生物物质和品质 植物体内生物物质种类和含量高低的差异是决定其品质的主要因素,连续而精细的光谱信息浓缩了植被冠层结构和生化参量特征信息,为植物生物物质及其品质的识别提供了可能和条件^[2],相关研究表明应用高光谱数据可以反演植物的化学成分等反映品质的指标。如牛铮等利用地面光谱仪的测量数据,进行了成像光谱遥感探测叶片化学组分的机理性研究,明确了鲜叶片氮(N),钾(K)等7种化学组分含量与其光谱特性的统计关系^[5]。Wessman等的研究表明,植被冠层在1660 nm处的吸收光谱与木质素中富集的非饱和C-O键有关^[6]。Tian等的研究显示,小麦抽穗后冠层植被指数与小麦籽粒蛋白质和淀粉积累量呈极显著的指数关系^[7]。薛利红研究结果表明,水稻成熟期冠层反射光谱指数与水稻籽粒品质呈显著负相关^[8]。李佛琳在烟草生长及品质监测研究中筛选出了高光谱用于烤烟鲜烟叶品质生化组分估算的最佳方法^[9]。蒲瑞良等的研究表明,采用高光谱技术能显著地改善森林冠层族叶化学成分的估算精度^[10]。马超飞等利用高光谱地面光谱仪测量植物叶片中钴(Co)等8种微量元素含量^[11]。

由于小麦、水稻等籽粒中的蛋白质和淀粉是决定其品质特性的主要成分,因此在其品质研究中,大都选用籽粒蛋白

质含量等作为预测模型的主要指标,相关研究表明应用高光谱遥感技术可以通过生物物质预测植物的品质。如Card DH等的研究表明,用高光谱遥感预测粗蛋白含量是可行的^[12]。田永超等的研究表明,利用叶片SFAD值和比值指数也可以预测小麦籽粒生长过程中蛋白质和淀粉的动态积累^[13]。黄文江等的研究表明,可以利用红边参数反演叶片可溶性糖含量,进而预测小麦品质^[14]。Humburg等应用高光谱遥感数据建立了甜菜品质监测模型,来预测甜菜中糖、钠和胺态氮的含量^[15]。

2.2 应用高光谱遥感技术识别植物的物种、监测植物的生长 随着高光谱遥感技术的发展,高光谱遥感突破了光谱分辨率的限制,能够获得地物在一定范围内连续的、精细的光谱信息,为从而实现了依据光谱特征探测与识别植物的目标,高光谱遥感技术也成为植物物种识别的重要手段。应用高光谱遥感可以识别植物的物种类别、植被的类型和低盖度的痕量植被,识别精度在90%以上^[16]。如宫鹏等利用高分辨率光谱仪实地测量获得的高光谱数据,对美国加州的6种针叶树种进行了识别^[4];张丰等对江苏省常州市金坛良种场6个水稻品种进行了识别^[17];刘秀英等的研究表明,应用高光谱遥感可以区分杉木、雪松、小叶樟树和桂花树4个树种^[18];高占国等应用高光谱遥感对芦苇、互花米草、海三棱藨草和糙叶苔草4类主要群落进行了识别^[19]。Schmidt等对荷兰Waddenze湿地沼泽27种植被类型进行区分^[20];Yamano等对内蒙古锡林浩特草场4个优势草类进行区分^[21]。李俊生等应用高光谱数据和判别模型,对水华、浮叶植物、沉水植物和水体进行区分和识别^[22]。刘志明等的研究表明,应用高光谱遥感数据可以有效地识别植被和环境中的绿色伪装涂料^[23]。上述相关研究说明,应用高光谱技术进行植物物种识别是可行的。

植被叶绿素含量的多少决定着植被光合作用能力的强弱,是反映植物长势、营养胁迫和生长发育各阶段的重要指标,相关研究表明植物的光谱特性与叶绿素含量之间存在强相关性^[24]。如李敏夏等通过建立苹果叶片叶绿素含量与光谱反射率之间的关系模型,反演得到苹果叶片叶绿素含量^[25]。宋开山等通过玉米叶绿素含量的高光谱估算模型研究,结果显示通过高光谱遥感方式能够较为准确地估算玉米的叶绿素含量^[26]。黄春燕等研究表明基于高光谱数据和棉花冠层叶绿素密度,可以间接监测棉花冠层叶片中氮素等营养物质积累量^[27]。李向阳等通过红边位置与叶绿素、类胡萝卜素之间的关系反推烟叶的叶绿素含量^[28]。说明应用高光谱遥感技术可以判断植物的成熟度,达到监测长势的目的。叶面积指数,是也是反映作物长势的一个重要生物学参数,植物叶面积主要通过控制光合作用来影响植物自身的生产能力^[29]。相关研究说明应用高光谱遥感技术,通过植物反射光谱与叶面积指数之间的关系,可以估算玉米、小麦、棉花等的叶面积指数,达到对植物长势监测的目的^[30-32]。

植物病虫害的传统监测方法是通过人眼观测植株叶片颜色等方面的变化而实现的,通常具有滞后性。高光谱遥感数据可以真实全面反映植被的固有信息^[33],能显著的区分出健康植株和病害植株,相关研究表明,利用高光谱遥感数据可以对病虫害进行监测。如 Malthus 和 Madeira 研究了大豆受蚕豆斑点葡萄孢感染后的光谱反射率变化情况^[34]。陈兵等对棉花黄萎病高光谱研究表明,不同时期棉花黄萎病冠层光谱与正常冠层的光谱之间有显著差异^[35]。张永强等对玉米受玉米弯孢菌叶斑病和亚洲玉米螟危害后的冠层光谱特征的研究结果显示,利用高光谱遥感数据可以及时地对病害发生情况进行监测^[33]。王海光,对不同严重度的小麦条锈病病叶进行了判别分析结果显示,利用高光谱遥感可以区分健康和病害植株^[36]。

随着现代空间信息技术的发展,应用遥感技术预测植物生物量的研究在全世界范围蓬勃开展,相关研究表明应用高光谱遥感技术可以监测和估算植物的生物量。如唐延林等的研究表明,利用水稻成熟期冠层光谱特征,进行水稻估产最高精度可达 95%^[32]。孙金英等的研究表明,光谱植被指数与油菜叶鲜、干重呈正相关关系^[37]。张永强的研究表明,应用高光谱遥感方法比传统方法对病害后玉米产量损失估算的精确度高^[33]。刘国顺等的研究表明,采用高光谱数据可以对烟草叶地上鲜重进行估算^[38]。樊科研等通过光谱特征与番茄单位面积产量之间的关系,建立了番茄产量估算模型^[39]。朱艳等的研究表明,通过遥感手段估算棉花地上部干重是可行的^[40]。杨庆锋等的研究表明,小麦开花期、灌浆期的光谱特征与干重显著相关^[41]。

3 高光谱遥感在药用植物研究中的应用探讨

3.1 识别药用植物物种的关键技术环节 由于植物光谱特征主要由其生物化学成分含量和组织机构等理化特性决定,因此每种植物都有其特有的光谱特征。鉴于不同种类植物间的化学成分和结构差异,使植物对波长选择性吸收和反射的特征也各不相同,光谱特征的差异实质上是反映植物内部物质特性的差异,这种差异正是应用高光谱遥感识别植被的基础^[42]。目前,国内外学者对河湖、盐沼、海岸等湿地生境的植被识别和农作物的研究较多,相关研究较多的集中于群落尺度的区分;由于应用高光谱遥感技术进行物种识别研究刚刚起步,不同物种的光谱特征数据库尚不健全^[43]。药用植物资源在自然生态环境中多以非优势种群存在,尤其是野生稀有种药用植物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^[44]。因此,野生药用植物的物种识别的主要研究对象应该是野生药用植物的个体。关键技术环节,需要采用地面光谱仪测量获取药用植物的光谱数据,并对其进行分析和研究、明确每种药用植物物种的光谱特征,建立药用植物物种的标准光谱特征数据库。生产实践应用中通过地面、机载或星载设备获取待测样品(或区域)的光谱数据与(药用物种标准光谱数据库中)目

标物种的光谱特征进行对比分析,可达到识别药用植物物种的目的。应用高光谱遥感进行药用植物的物种识别,可使非专业人员在应用过程中很容易识别出各种药用植物的物种,辨别药材的真伪。

3.2 监测药用植物的生长现状的关键技术环节 高光谱相关研究结果说明,受植物体内叶绿素吸收作用的影响,植被反射光谱在红光到近红外波段出现一个陡峭的爬山脊,称为红边。基于遥感图像上“红边”的位移,可监测和获得有关植被生态胁迫和生长状况信息^[2]。目前,高光谱遥感在农业生产上的应用主要集中在作物个体的叶面积指数、叶绿素含量等生长状况与作物叶片光谱关系的研究上^[45]。对于药用植物资源,次生代谢产物通常是其主要药效成分。受自然选择的影响,在环境恶劣的条件下生长的植物,具有生长慢、长势差,而次生代谢产物多的特点,而在良好的环境条件下生长的植物,具有生长快、长势好,而次生代谢产物少的特点^[46]。因此,应用高光谱遥感技术监测药用植物的生长现状的关键技术环节是,在研究中需要同时监测分析药用植物生长状况、次生代谢产物与植物叶片光谱之间的关系。进而,测定不同产地同种药用植物在不同生长期、不同病虫害、不同养分环境胁迫等条件下的光谱数据,建立同种药用植物在不同生长条件下的标准光谱特征数据库;分析和明确其在不同条件下的变化规律,基于光谱特征与红边位置之间的关系,建立应用高光谱反演药用植物的长势和次生代谢产物变化的模型。实践中应用各种高光谱遥感数据和建立的关系模型可以实时、准确、快速的获取药用植物的生长状况,为药用植物成熟期(采收期)的确定,最佳水分和养分调控等田间管理工作提供依据,有助于提高药用植物种植的技术水平和促进中药材种植向精准农业方面发展。

3.3 监测药用植物生物量的关键技术环节 对于同一光学遥感仪器,图像数据的空间分辨率和光谱分辨率是矛盾存在的,具有较高光谱分辨率的仪器,其空间分辨率较低;具有较高空间分辨率的仪器,其光谱分辨率较低。应用高光谱遥感技术对植物的生物量等的研究中,一般综合利用具有较高空间分辨率和光谱分辨率的多种卫星遥感数据,并对各种数据进行光谱和空间域的融合,改善单一数据的局限性,提高高光谱图像的空间分辨率,丰富高空间分辨率图像的光谱特征。应用高光谱遥感技术监测植物和估算生物量一般是,应用地面光谱仪测定植物的光谱数据,并同步测量对应的生物量和获取卫星遥感数据;对光谱数据进行整理分析,建立光谱指数与生物量之间的关系模型;进行研究区域光谱数据融合,建立通过地面和卫星遥感数据的关系,应用关系模型反演生物量,估算得到研究区域某种植物的生物量。与其他农作物相比,中药材的种植具有基地分布区域零散、规模化程度低,药材种植面积小等特点^[47],因此,要提高应用高光谱遥感技术监测药用植物生物量的精度和准确性,其关键环节是获取研究区域现势遥感数据和地面观测数据。



3.4 监测中药材品质的关键技术环节 在可见光波段,植被光谱特征主要是由光合作用色素决定的,在近红外波段,光谱主要由水分含量和生物物质的含量决定^[48]。相关研究说明应用近红外光谱技术可以监测和反演植物体内的各种营养元素、可溶性糖、淀粉和蛋白质等其他生理生化参数。药用植物与其他植物在植物高光谱中的响应机制相似,如应用近红外光谱进行中药材品质识别已有大量研究成果^[49]。与其他植物相比,中药材的品质一般为植物的次生代谢产物,如生物碱、黄酮、苷类、香豆素类等,仅以单一有效成分或者以主要有效成分进行评价,是不能全面反映中药材质量优劣的^[50];多数药材的品质是多种成分共同作用的结果,有些中药材中不同成分之间有特定的配比关系^[51]。因此,应用高光谱遥感技术监测中药材品质的关键环节是,找到优质药材中各有效成分的光谱特征,建立各有效成分与特征光谱之间的综合关系模型和基于高光谱特征的优质药材评价标准,及同种药材不同产地、不同品质的标准光谱数据库。实践中可利用各种地面光谱仪获取待测样品的光谱数据,根据标准光谱数据库和评价标准,在不破坏样品或包装的情况下确定中药材的品质,有助于中药材工农业生产和市场流通中实时监控中药材的品质,识别药材的优劣。

[参考文献]

- [1] Vane G, Goetz A F H. Terrestrial imaging spectrometry: current status, future trends[J]. *Remote Sens Environ*, 1993, 44: 117.
- [2] 童庆喜, 张兵, 郑兰芳. 高光谱遥感[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [3] 王彦飞, 李云梅, 吕恒, 等. 环境一号卫星高光谱遥感数据的内陆水质监测适宜性[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(5): 789.
- [4] Goetz A F H, Solomon G V J, Rock B N. Imaging spectrometry for earth remote sensing[J]. *Science*, 1985, 228(4704): 1147.
- [5] 牛铮, 陈永华, 隋洪智, 等. 叶片化学组分成像光谱遥感探测机理分析[J]. *遥感学报*, 2000, 4(2): 125.
- [6] Wessman C A, Aber J D, Peterson D L, et al. Remote sensing of canopy chemistry and nitrogen cycling in temperate forest ecosystems[J]. *Nature*, 1988, 335: 154.
- [7] Tian Q, Tong Q, Pu R, et al. Spectroscopic determination of wheat water status using 1650-1850 nm spectral absorption features[J]. *Int J Remote Sens*, 2001, 22(12): 2329.
- [8] 薛利红, 曹卫星, 李映雪, 等. 水稻冠层反射光谱特征与籽粒品质指标的相关性研究[J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(5): 431.
- [9] 李佛琳. 基于光谱的烟草生长与品质监测研究[D]. 北京: 北京农业大学, 2006: 85.
- [10] 蒲瑞良, 宫鹏. 森林生物化学与 CASI 高光谱分辨率遥感数据的相关分析[J]. *遥感学报*, 1997, 1(2): 21.
- [11] 马超飞, 马建文, 韩秀珍. 微量元素在植物光谱中的响应机理研究[J]. *遥感学报*, 2001, 5(5): 334.
- [12] Card D H, Peterson D L, Matson P A. Prediction of leaf chemistry by the use of visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. *Remote Sens Environ*, 1988, 26: 123.
- [13] 田永超, 朱艳, 曹卫星, 等. 利用冠层反射光谱和叶片 SPAD 值预测小麦籽粒蛋白质和淀粉的积累[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(6): 808.
- [14] 黄文江, 王纪华, 刘良云, 等. 冬小麦品质的影响因素及高光谱遥感监测方法[J]. *遥感技术与应用*, 2004, 19(3): 143.
- [15] Humburg D S, Stange K W, Robert P C. Spectral properties of sugarbeets related to sugar content and quality[C]. Minnesota, St Paul: Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, 1981.
- [16] 宫鹏, 浦瑞良, 郁彬. 不同季相针叶树种高光谱数据识别分析[J]. *遥感学报*, 1998, 2(3): 211.
- [17] 张丰, 熊桢, 寇宁. 高光谱遥感数据用于水稻精细分类研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2002, 24(10): 36.
- [18] 刘秀英, 林辉, 熊建利, 等. 森林树种高光谱波段的选择[J]. *遥感信息*, 2005, 4: 41.
- [19] 高占国, 张利权. 上海盐沼植被的多季相地面光谱测量与分析[J]. *生态学报*, 2003, 26(3): 793.
- [20] Schmidt K S, Skidmore A K. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetlands[J]. *Remote Sens Environ*, 2003, 85(1): 92.
- [21] Yamano H, CHEN J, Tamura M. Hyperspectral identification of grassland vegetation in Xilinhot, Inner Mongolia, China[J]. *Int J Remote Sens*, 2003, 24(15): 3171.
- [22] 李俊生, 吴迪, 吴远峰, 等. 基于实测光谱数据的大湖水华和水生高等植物识别[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(2): 215.
- [23] 刘志明, 胡碧茹, 吴文健, 等. 高光谱探测绿色涂料伪装的光谱成像研究[J]. *光子学报*, 2009, 38(4): 885.
- [24] 张金恒, 王珂, 王人潮. 高光谱评价植被叶绿素含量的研究进展[J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2003, 21(1): 74.
- [25] 李敏夏, 张林森, 李丙智, 等. 苹果叶片高光谱特性与叶绿素含量和 SPAD 值的关系[J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(2): 35.
- [26] 宋开山, 张柏, 李方, 等. 玉米叶绿素含量的高光谱估算模型研究[J]. *作物学报*, 2005, 31(8): 1095.
- [27] 黄春燕, 王登伟, 闫洁. 棉花叶绿素密度和叶片氮积累量的高光谱监测研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(6): 931.
- [28] 李向阳, 刘围顺, 史舟, 等. 利用室内光谱红边参数估测烤烟叶片成熟度[J]. *遥感学报*, 2007, 11(2): 269.
- [29] 祁亚琴, 王登伟, 陈冠文, 等. 基于高光谱数据提取作物冠层特征信息的研究进展[J]. *棉花学报*, 2005, 17(6): 371.
- [30] 谭昌伟, 郭文善, 朱新开, 等. 不同条件下夏玉米冠层反射光谱响应特性的研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 131.
- [31] 李映雪, 朱艳, 戴延波, 等. 小麦叶面积指数与冠层反射光谱的定量关系[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1443.
- [32] 唐延林, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 棉花高光谱及红边特征(II)[J]. *棉花学报*, 2003, 15(4): 215.
- [33] 张永强, 文丽萍, 石洁, 等. 亚洲玉米螟为害后玉米冠层光谱变化和产量损失研究[J]. *植物保护*, 2007, 33(5): 54.
- [34] Malthus T J, Madeira A C. High resolution spectroradiometry:

- spectral reflectance of field bean leaf leaves infected by *Botrytis fabae*[J]. *Remote Sens Environ*,1993,45:107.
- [35] 陈兵,王克如,李少昆,等. 棉花黄萎病冠层高光谱遥感监测技术研究[J]. *新疆农业科学*, 2007,44(6):740.
- [36] 王海光,马占鸿,王韬,等. 高光谱在小麦条锈病严重度分级识别中的应用[J]. *光谱学与光谱分析*,2007,27(9):1811.
- [37] 孙金英,黄云,曹宏鑫,等. 油菜地上生物量与冠层光谱植被指数之间的相关分析[J]. *广西农业科学*,2009,40(6):716.
- [38] 刘国顺,李向阳,刘大双,等. 利用冠层光谱估测烟草叶面积指数和地上生物量[J]. *生态学报*,2007,27(5):1763.
- [39] 樊科研,田丽萍,王进,等. 基于冠层高光谱遥感对加工番茄产量的估算模型[J]. *安徽农业科学*,2008,36(10):4343.
- [40] 朱艳,吴华兵,田永超,等. 基于冠层反射光谱的棉花干物质积累量估测[J]. *应用生态学报*,2008,19(1):105.
- [41] 杨庆锋,王纪华,莫良玉,等. 基于冠层反射光谱的冬小麦干物质积累量的估测研究[J]. *安徽农业科学*,2008,36(24):10436.
- [42] 岳跃民,王克林,张兵,等. 高光谱遥感在生态系统研究中的应用进展[J]. *遥感技术与应用*,2008,23(4):471.
- [43] 梁尧钦,曾辉. 高光谱遥感在植被特征识别研究中的应用[J]. *世界林业研究*,2009,22(1):41.
- [44] 孙宇章,郭兰萍,朱文泉,等. 不同生态环境类型药用植物资源的遥感监测方法[J]. *中国中药杂志*,2007,32(14):1490.
- [45] 洪霞,江洪,余树全. 高光谱遥感在精准农业生产中的应用[J]. *安徽农业科学*,2010,38(1):529.
- [46] 黄璐琦,郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J]. *中国中药杂志*,2007,32(4):277.
- [47] 张尚智. 对中国中药材 GAP 基地现状的文献学分析[J]. *农学学报*,2012,2(3):65.
- [48] Underwood E C, Ustin S L, Ramirez C M. A Comparison of spatial and spectral image resolution for mapping invasive plants in coastal California[J]. *Environ Manage*,2007,39:63.
- [49] 郭兰萍,黄璐琦,Christian W Huck. 近红外光谱技术及其在中药道地性研究中的应用[J]. *中国中药杂志*,2009,34(14):1751.
- [50] 黄璐琦,崔光红,陈美兰,等. 中药材 GAP 实施的复杂系统论——中药材种质资源的现状、问题及方向[J]. *中国中药杂志*,2002,27(7):380.
- [51] 郭兰萍,刘俊英,吉力,等. 茅苍术道地药材挥发油组成特征分析[J]. *中国中药杂志*,2002,27(11):814.

Application of hyperspectral remote sensing in field of medicinal plants monitoring research

ZHANG Xiao-bo, GUO Lan-ping, HUANG Lu-qi*, ZHU Shou-dong, MA Wei-Feng

(National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

[Abstract] The paper introduces the basic concept and characteristics of hyperspectral remote sensing, and analyzed the application of hyperspectral remote sensing in the field of plants research. On the basis of the research advances of hyperspectral plant study, paper also analyzed the key facts that effects the application of hyperspectral remote sensing on the some researches which include distinguishing species, monitoring growth and quality etc. It proposed a new ideas and methods for people to research medicinal plants.

[Key words] hyperspectral; medicinal plants; monitoring

doi:10.4268/cjcm20130903

[责任编辑 吕冬梅]