

毛竹林光谱特征及其与典型植被光谱差异分析

官凤英 邓旺华 范少辉

(国际竹藤中心,竹藤科学与技术重点实验室)

摘要:以毛竹光谱特征为研究对象,通过对光谱曲线和一阶导数曲线进行分析,探明了不同季节毛竹林的光谱特征及其与典型树种的光谱差异,为毛竹林的遥感监测提供了理论依据。研究表明:1)毛竹光谱曲线在可见光波段出现1个反射峰和1个吸收谷,这2个峰的对应该波长分别为556和680 nm,近红外波段的反射率明显增大。2)大年毛竹林春季和夏季的一阶导数曲线的红边波段呈“双峰”,秋季和冬季呈“单峰”,夏季的红边位于700 nm,其他季节红边位于718 nm;小年毛竹林秋季的一阶导数曲线的红边波段呈“双峰”,冬季呈“单峰”,红边均位于718 nm;不同季节毛竹林红边振幅大小依次为:春季>夏季>冬季>秋季。3)毛竹林与其他典型植被在500~600、660~680、700~900 nm等波段的反射率差异明显,可作为遥感监测的最佳波段,并且“绿峰”、“红谷”、红边位置、红边振幅以及红边波段的“峰型”等特征可作为毛竹林遥感识别的主要参数,监测最佳季节是春季,其次为秋季。

关键词:毛竹;光谱特征;红边参数

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)03-0031-05

GUAN Feng-ying; DENG Wang-hua; FAN Shao-hui. **Spectral characteristics of *Phyllostachys pubescens* stand and its differential analysis with typical vegetation.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) 34 (3) 31-35 [Ch, 19 ref.] International Centre of Bamboo and Rattan, Key Laboratory for Bamboo and Rattan, Beijing, 100102, P. R. China.

The spectral characteristics of bamboo in different seasons were investigated and compared with typical vegetation by analyzing the spectral curve and first derivative curve, which provided the theoretical basis for remote sensing monitoring. The results showed that: 1) a reflection peak and an absorption valley were observed in the bamboo spectral curve at the visible band, and the corresponding wavelengths of these peaks were 556 and 680 nm, respectively. Moreover, the reflectance at the near-infrared band was significantly increased. 2) The characteristics of first derivative curve for on and off year bamboo were different, the peaks of on-year bamboo at the red edge band in spring and summer presented “two humps”, and the peaks presented “single peak” in autumn and winter, the red edge located at 700 nm in summer and appeared at 718 nm in spring, autumn and winter; however, the peaks of off-year bamboo at the red edge band in autumn presented “two humps”, and the peaks presented “single peak” in winter, the peaks all located at 718 nm in four seasons; the red edge amplitude of bamboo in different seasons was in the order of spring > summer > winter > autumn. 3) The difference of reflectivity at 500-600, 660-680 and 700-900 nm between the bamboo and other typical vegetations was obvious, so the bands were the best for remote sensing. Moreover, these characteristics, such as “green peak”, “red valley”, position of red edge, amplitude of red edge and the peak type at red edge band, can be taken as main parameters for remote sensing identification of bamboo, and the best season for monitoring is spring, followed by autumn.

Key words *Phyllostachys pubescens*; spectral characteristics; red edge parameter

收稿日期: 2011-05-19

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD23B04)、林业科技成果推广项目“竹资源遥感监测及信息化管理技术示范推广”、江西省财政林业重大专项(2011511101)、林业公益性行业科研专项(200904047)、“948”国家林业局引进项目(2006-04-25)、国际竹藤中心基本科研业务专项资金(1632010012)。

第一作者: 官凤英, 博士, 副研究员。主要研究方向: 竹资源管理与监测。电话: 010-84789808 Email: guanfy@icbr.ac.cn 地址: 100102 北京市朝阳区望京阜通东大街8号国际竹藤中心。

责任作者: 范少辉, 博士, 研究员。主要研究方向: 竹藤资源培育与监测。电话: 010-84789720 Email: fansh@icbr.ac.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

地物反射光谱是遥感研究的基础,是建立地面物体和航空航天遥感数据关系的依据^[1]。国内外针对植物地面光谱的研究主要在于植物生物物理信息和生物化学信息、地面光谱数据库的建立,以及地面光谱库在航空航天遥感影像识别中的应用等3个方面。植物波谱特性主要受3方面因素的控制:1)叶片的光学特性;2)冠层结构;3)辐照及观测方向^[2]。植物叶片由于叶绿素、蛋白质、纤维素等光谱敏感成分的含量不同,产生反射光谱差异,同时环境变化也对植物波谱具有多方面的影响。通过测定不同植物叶片的反射率,分析各种内含物的光谱敏感波段,并建立相应的回归模型,可以估测氮素、叶绿素和纤维素等的含量^[3-5]。遥感影像与地面光谱数据相互匹配,能有效地提高地物的分类与识别精度。宫鹏等^[6]通过对美国6种主要针叶树种的光谱数据的实地测定和多种处理方法研究,获得了理想的识别效果;翁强等^[7]应用SPOT影像数据并结合红树林地面光谱的特征开展了红树植物的分类、识别和信息提取。

毛竹(*Phyllostachys pubescens*)具有生长快、产量高、用途广和可持续更新等特点,是我国分布最广、经济价值最高的材用竹种,在我国林业生产中占有非常重要的地位^[8]。准确掌握毛竹资源面积与空间分布,对我国制定竹产业发展政策具有重要意义。遥感技术为毛竹分布提供了有效监测手段,国内外学者相继开展了竹资源的监测研究^[9],地物波谱能够为地物空间分类和目标识别建立有效桥梁。鉴于目前国内外对竹资源光谱及季相变化特征研究尚少,本文开展了毛竹不同季节冠层光谱特征研究,并比较分析了毛竹林与马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、阔叶林等几种典型植被的光谱特征差异,为毛竹遥感监测提供地面光谱理论依据。

1 数据处理与获取

1.1 试验林分选择

在福建省顺昌县国有林场内,选择毛竹以及杉木、马尾松、阔叶树等闽北地区常见树种组成的植被类型,于冬季(2007年11月)、春季(2008年4月)、夏季(2008年7月)、秋季(2008年10月)进行了4次光谱数据采集。由于毛竹生长存在大小年,小年毛竹在春季开始换叶,夏季6月份左右换叶结束,因此数据采集时,只测定了小年毛竹林冬季(2007年12月)和秋季(2008年10月)的光谱数据。马尾松林和杉木林分别为20年和18年人工纯林,平均树高为8.6和9.5 m,毛竹人工林平均高度

为7.8 m,阔叶林是由木荷(*Schima superba*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、福建含笑(*Michelia fujianensis*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)等树种组成的混交林,林分平均高为10.2 m,在每种林型中分别设置大小为30 m×30 m的样地3个,不同样地间坡度差小于10°,并保证周围没有高山的遮挡。

1.2 谱测量

光谱测量仪器采用美国ASD公司生产的Field Spec便携式光谱辐射仪,光谱范围为350~1 050 nm,分辨率为3.5 nm,样间隔为1.5 nm。为减少太阳高度角对光谱反射率的影响,选择晴朗无云的天气10:00—14:00时进行光谱采集。由于测定的森林植被比较高,把10 m长的光纤绑在竹竿上,将探头置于冠层之上,垂直向下并距离冠层40~100 cm处进行数据采集,在每块样地内随机选择3个测定点,测定点距离样地边缘不小于5 m,每个点测定10组光谱数据,取90组数据平均值作光谱曲线。每个测定点测量前后以标准参考白板进行校正。

1.3 光谱数据处理

从测量数据看,350~400和900~1 050 nm范围内数据噪声比较大,因此剔除这部分数据,只处理400~900 nm区间的光谱数据。采用ViewSpec光谱处理软件进行数据的筛选,数据分析软件采用Excel和Origin 7.5。光谱数据的一阶导数能够消除低频光谱成分(大气、土壤背景、凋落物等)对目标的影响,有利于直观地确定光谱弯曲点的波长位置^[16]。本文对不同植被的光谱反射曲线和光谱数据的一阶导数曲线进行特征分析,通过植被吸收反射特点、红边、红边振幅等参数描述植被的光谱特征,其中红边是指一阶导数值最大时所对应的波长,红边振幅是指波长为红边时的一阶导数值。

2 结果与分析

2.1 毛竹林不同季节光谱特征

2.1.1 毛竹林光谱反射特征

毛竹林具有大年和小年之分,春季小年毛竹林基本落叶,夏季新叶刚刚萌发。图1a光谱数据包括大年毛竹林4个季节和小年毛竹林秋冬季的光谱特征曲线,大年毛竹林的春季、夏季光谱反射率高于秋季和冬季,秋冬季节大年毛竹林的反射率大于小年毛竹林。毛竹林在400~700 nm波段平均反射率低于10%,证实了此波段为光合有效波段^[17];在绿光波段520~590 nm出现反射峰,峰值对应波长为556 nm,此波段范围内春季毛竹林的反射率最大,秋季的小年毛竹林的反射率最低;640~680 nm波段为毛竹林的红光吸收波段,红光吸收谷位于680

nm,小年毛竹林秋季红光反射率最低;680~750 nm波段的反射率随着波长逐渐增加,在750 nm以后趋于平缓,因此,此波段为毛竹林光谱的“红边”波段。光谱反射率值大小排序依次为:春季、夏季、冬季(大年)、冬季(小年)、秋季(大年)、秋季(小年)。

2.1.2 毛竹林光谱一阶导数曲线特征

由图1b中一阶导数曲线可知:毛竹林导数值在510~550 nm波段大于0,并且在526 nm达到峰值,春季导数值最大;在红光吸收波段(640~688 nm)导数值为负值,说明此波段为毛竹林光合吸收波段;红边波段在680~750 nm之间,光谱一阶导数曲线“峰型”和红边位置随着季节变化有所不同,大年毛竹林春季和夏季的微分曲线红边波段均呈“双

峰”型,春季和夏季微分曲线的2个反射峰对应的波长为700和718 nm,春季的红边位于718 nm,夏季位于700 nm;大年毛竹林秋季和冬季微分曲线红边波段呈“单峰”型,红边位置均位于718 nm处。秋季小年毛竹林一阶导数曲线红边波段呈“双峰”,红边位于波长700和718 nm处,718 nm处峰值较大(红边位置),冬季小年毛竹林的一阶导数曲线红边波段呈“单峰”,红边对应波长为718 nm。从红边振幅来看,大年毛竹林春季的红边振幅最大为0.009,振幅大小依次为春季>夏季>冬季>秋季,秋冬季振幅差异较小,小年毛竹林冬季振幅大于秋季;毛竹林红边振幅综合排序为大年春季>大年夏季>大年冬季>小年冬季>大年秋季>小年秋季。

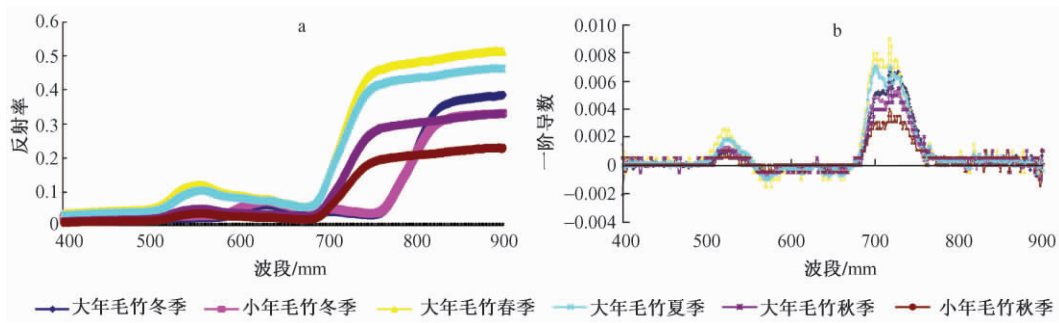


图1 不同季节毛竹林的光谱反射曲线和一阶导数曲线

Fig. 1 Reflection spectral curves and the first derivative curves of bamboo stand in different seasons

2.2 毛竹林与典型地物光谱特征差异

为了分析毛竹林与其他森林植被间的光谱差异,在测量毛竹林冠层光谱同时,也测量了闽北地区分布的马尾松林、杉木林和阔叶林等几种典型森林植被的冠层光谱。

2.2.1 马尾松林光谱特征

马尾松是长江流域及其以南地区造林绿化的常绿乔木树种。由图2中不同季节马尾松林光谱反射曲线可知,马尾松林在不同季节的光谱反射率基本保持稳定,光谱反射率差异不明显。在510~580 nm的可见光波段出现反射峰,最大峰值位于556 nm处,在此波段春季的反射率最大值为7.10%,夏季、秋季和冬季的反射率值分别为6.70%、6.90%和5.72%;红光吸收谷位于675 nm;在730~900 nm的红外光波段,夏季的光谱反射率值大于其他季节,秋季的反射率最小,两者之间相差约10%。马尾松林红边波段在680~755 nm之间,不同季节马尾松林的一阶导数曲线红边波段均呈“单峰”型,红边位于718 nm处,夏季红边振幅最大为0.008 1,秋季最小红边振幅为0.006 2。

2.2.2 杉木林光谱特征

杉木林夏季和冬季的光谱反射率明显高于春

季和秋季,春季光谱反射率最小;绿光波段有1个小反射峰,最大峰值位于556 nm处,杉木林冬季反射率最大为9.54%,红光吸收谷位于671 nm处,吸收达到最大,反射率最小;红光波段位于680~761 nm之间,不同季节光谱一阶导数曲线红边波段均呈“单峰”,杉木林的“绿峰”位于525 nm,红边位于718 nm处,其中夏季光谱导数值为最大;从杉木林的红边振幅来看,夏季红边振幅最大,春季振幅最小。

2.2.3 阔叶林光谱特征

阔叶林光谱反射率不同于杉木林,光谱反射率最高是春季,其次为夏季,秋季和冬季接近。不同季节阔叶林在绿光波段的光谱反射率最大值均位于556 nm处,夏季的反射率最大,其他季节反射率大小依次为春季、秋季和冬季。在近红外波段,春季比夏季的光谱反射率高约15%,比秋季和冬季高约25%。从一阶导数曲线看,阔叶林光谱反射区的“绿峰”位于525 nm,可见光波段不同季节的导数值差异不明显;光谱一阶导数曲线红边波段呈“单峰”,春季振幅最大,春季和夏季的振幅明显高于秋季和冬季,夏季红边位于700 nm,春季、秋季和冬季红边位于718 nm。

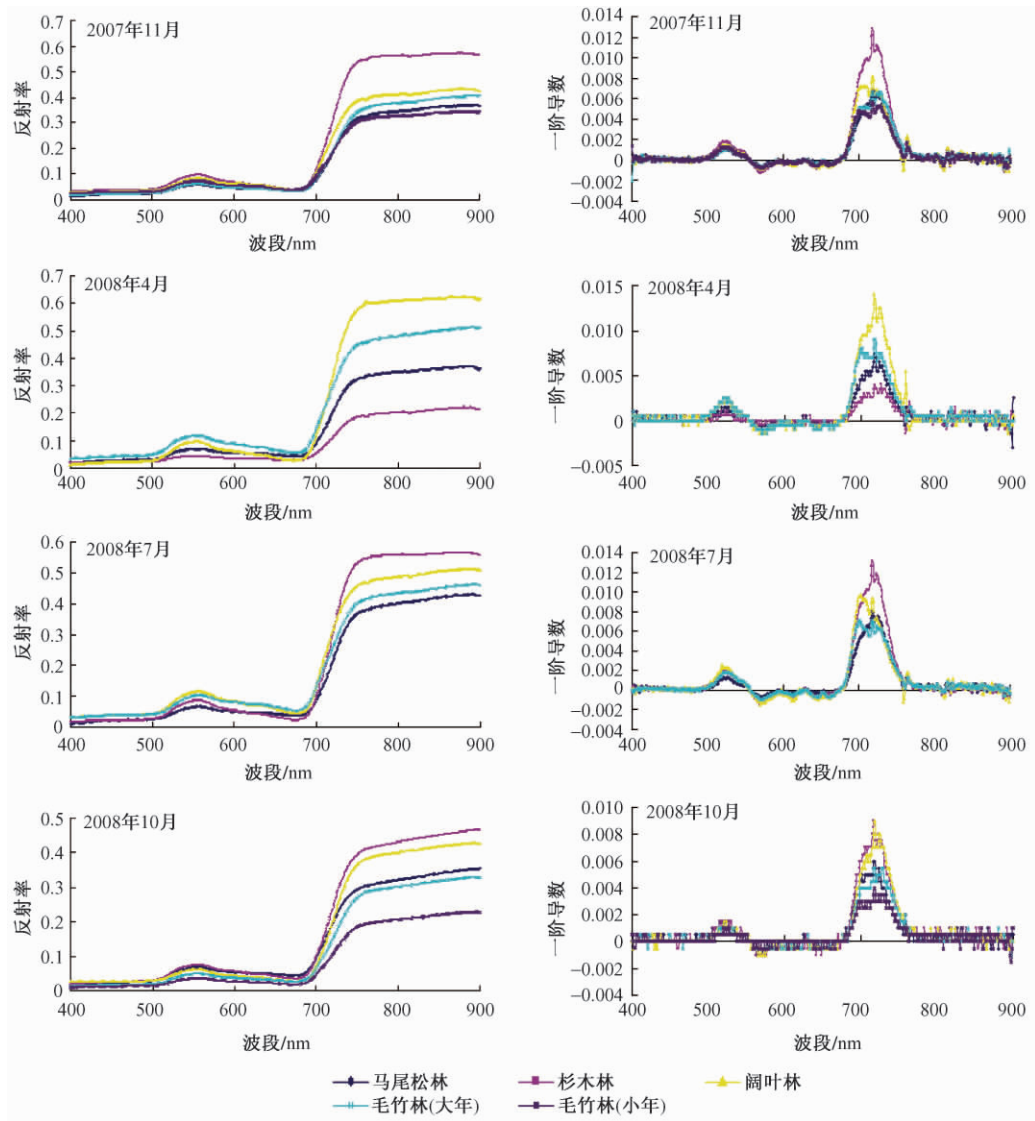


图2 不同植被类型的反射光谱曲线和一阶导数曲线

Fig. 2 Reflection spectral curves and the first derivative curves of different vegetation types

2.2.4 毛竹林与典型植被光谱特征比较

通过不同季节光谱反射曲线比较表明 4 个季节比较春季不同植被间差异最大,尤其是近红外波段,最大差异达 40%。春季 400~700 nm 可见光波段毛竹林反射率最大,其次分别为阔叶林、马尾松林和杉木林;各植被类型的反射率差异在近红外波段增大,阔叶林明显高于其他植被类型的反射率,其次为毛竹林,杉木林反射率最小。由一阶微分曲线可以看出:毛竹林红边波段微分曲线呈“双峰”,其他植被呈“单峰”;在绿光反射波段导数值差异较为明显,其中毛竹林的峰值高于其他植被类型;4 种植物类型的红边振幅在春季的差异最大,阔叶林红边振幅最大(0.014),明显高于毛竹林、马尾松林和杉木林的红边振幅。

冬季不同植被类型的反射率在可见光波段差异不大,在波长 700~900 nm 之间差异较明显,小年毛竹林和马尾松林的反射率极为相近,杉木林明显

高于其他植被类型的反射率,较阔叶林和大年毛竹林高约 20%,反射率由大到小的顺序为:杉木林 > 阔叶林 > 大年毛竹林 > 马尾松林 > 小年毛竹林;光谱一阶导数曲线均为“单峰”型,红边均位于 718 nm;红边振幅杉木林最大,阔叶林次之,大年毛竹林、马尾松林和小年毛竹林振幅差异较小,不易区分。由此可见,冬季杉木林的光谱反射率在可见光和红外波段均高于其他植被类型,冬季是杉木遥感监测的最佳季节。

夏季绿光波段阔叶林的反射率最大,毛竹林、杉木林和马尾松林光谱反射率差异较小,“绿峰”位置无明显差异;在近红外波段,杉木林的反射率为 55.9%,阔叶林、毛竹林和马尾松林的反射率分别为 51.5%、45.8% 和 43%。从一阶导数曲线看,毛竹林的红边波段峰型为“双峰”,其他植被均为“单峰”,且红边位置不同,夏季杉木林红边振幅最大,其次为阔叶林,马尾松林和毛竹林振幅差异较小,

但二者红边位置不同。

秋季不同植被类型在可见光波段的反射率比较集中,但反射值较春季和夏季有所下降,杉木林的反射率最大,小年毛竹林最小;秋季不同林分类型的反射光谱曲线的特征是:杉木林和阔叶林的反射率特征相近,马尾松林与大年毛竹林的相近,且与小年毛竹林之间的光谱反射率差异较大;从一阶导数曲线可以看出,不同植被类型的“绿峰”最大值均位于525 nm处,但比春季和夏季的值均有所下降,不同植被类型的红边位置均位于718 nm。从红边振幅特征来看,杉木林和阔叶林差异不大,但明显高于其他植被,其次为马尾松林和大年毛竹林,小年毛竹林振幅最小。

3 结论与讨论

毛竹林在不同季节光谱特征表现出一定差异,毛竹林的光谱反射率及红边振幅大小顺序依次为:大年春季、大年夏季、大年冬季、小年冬季、大年秋季、小年秋季。春季大年毛竹是出笋长竹盛期,夏季新竹长叶完成,这2个季节是竹林新陈代谢最旺盛时期,因此与秋冬季节比较,光谱特征表现绿光波段和红外反射率增加,红光吸收波段,一阶微分导数值为负值,表明光合吸收作用活跃。秋季大年毛竹进入鞭稍快速生长和孕笋期,这个时期鞭根消耗掉大部分营养,竹叶养分含量处于较低水平,叶片颜色由绿变黄,红外光反射能力和红边振幅降低。冬季大年毛竹鞭根生理活动基本停止,可能叶片的营养元素含量较秋季发生变化,使冬季的冠层反射大于秋季。

毛竹的一个大小年生长周期中,因竹林营养问题形成大小年循环,但大小年毛竹叶片营养元素含量存在差异^[10];因此,使相同季节大年毛竹林和小年毛竹林的光谱特征产生差异。秋季也是小年毛竹根鞭生长和孕笋期,鞭根生理活动与大年毛竹相似,叶片为当年生新叶,颜色嫩绿,叶绿素含量低,光合能力最弱;因此,秋季小年毛竹林红边斜率值和振幅均最小。冬季小年毛竹叶片颜色较秋季深,而且地下鞭根生长活动停止,使其光谱反射能力较秋季增大。

马尾松群落属于常绿植物,冠层的叶绿素和纤维素含量变化不明显,其不同季节的反射光谱特征差异不大;杉木由于春季换叶期比较明显,新叶的叶绿素和纤维素含量相对较低,表现为可见光和近红外波段反射率均低于其他季节;阔叶林的反射光谱特征变化趋势与杉木林的一致,且不同季相间的

差异较大。春季不同植被类型的红边振幅差异最大,特别是在700~800 nm的近红外波段具有较好的区分性;夏季植物均处于生长旺期,其叶片的叶绿素含量较高,导致不同植物类型之间的光谱反射率差异不大,彼此之间的区分具有一定的难度。

植被光谱反射特征在不同季相的差异反应在遥感影像上具有不同的灰度值,可为遥感影像判读和植被制图的影像分类提供科学的理论依据。研究表明,毛竹具有绿色植物的光谱反射特征,在520~590 nm可见光波段出现反射峰,“绿峰”对应波长是556 nm,640~680 nm波段为毛竹的红光吸收波段,“红谷”位于680 nm附近,红边波段为680~750 nm,大小年毛竹林不同季节红边位置不同。通过分析不同森林植被光谱差异,得出春季是毛竹遥感监测重点选择的时相,其次为秋季,500~600、660~680、700~900 nm是监测的最佳波段,“绿峰”、红光吸收谷、“红边”峰值位置、红边振幅、红边波段以及一阶导数曲线红边波段的峰型可作为毛竹遥感识别重要参数。

参 考 文 献

- [1] 彭望碌,白振平,刘湘南,等. 遥感概论[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] PU R L, GONG P. *Hyperspectral remote sensing and its applications* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 127-131.
- [3] 刘宏斌,张云贵,李志宏,等. 光谱技术在冬小麦氮素营养诊断中的应用研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1743-1748.
- [4] PRASD S T, RONALD B S, EDDY D P. Hyperspectral vegetation indices and their relationship with agricultural crop characteristics [J]. *Remote Sensing Environment*, 2000, 71(2): 158-182.
- [5] JONGSCHAAP R E E, BOOIJ R. Spectral measurements at different spatial scales in potato: Relating leaf plant and canopy nitrogen status [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 5: 205-218.
- [6] 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): 211-217.
- [7] 翁强,卢昌义. 红树植物地面反射光谱特征研究[J]. 福建林业科技, 2006, 33(3): 14-19.
- [8] 刘道平. 中国竹业发展现状及展望[J]. 科学中国人, 2005(10): 66-70.
- [9] BHARADWAJ S P, SIVA S, SUDHAKAR M, et al. Bamboo livelihood development planning, monitoring and analysis through GIS and remote sensing[J]. *Journal of Bamboo and Rattan*, 2003, 2(4): 453-461.
- [10] 陈建华,毛丹,马宗艳,等. 毛竹叶片的生理特性[J]. 南京林学院学报, 2006, 26(6): 76-80.

(责任编辑 赵 勃)