

引用格式: Pan Peifen, Yang Wunian, Dai Xiao'ai, *et al.* Hyperspectral Characteristic Analysis of Different Forest Vegetation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(6): 1000-1005. [潘佩芬, 杨武年, 戴晓爱, 等. 不同森林植被的高光谱特征分析[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 1000-1005.]

不同森林植被的高光谱特征分析

潘佩芬¹, 杨武年^{1,2}, 戴晓爱^{1,2}, 郑 菠²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室

地质空间信息技术国土资源部重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要:“生态水(层)”富水特征特殊, 各信息指标参数难以用常规方法进行量化和反演, 高光谱遥感由于其波段多、光谱信息丰富的优点为生态水(层)各信息指标参数的量化反演提供有效的数据源及方法。利用高光谱遥感技术进行植被分析时, 其光谱特征的分析 and 敏感波段提取非常重要。针对“生态水”信息指标植被参数有关量化反演需要, 对研究区部分典型植被叶片进行了光谱采集, 利用微分方法对光谱数据进行处理, 分析了不同植被叶片光谱的原始、一阶微分和二阶微分光谱曲线, 从中提取差异大的波段区分不同植被。同时, 采用距离统计分析方法对所选择的不同波段进行有效性验证。研究结果表明: 虽然 3 种方法提取的波段有差异, 但存在共同点; 选择的光谱特征波段可有效地区分不同植被, 在近红外波段尤为明显, 分别是 1 814~1 823 nm、1 874~1 883 nm 和 1 890~1 899 nm 附近。

关键词:“生态水”; 信息指标参数; 森林植被; 高光谱特征; 微分法; 近红外

中图分类号: Q 149 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)06-1000-06

1 引 言

“生态水(层)”是杨武年、万新南等近年来提出的新概念^[1-3]。“生态水(层)”指与地表植被层(包括植被叶面秆茎层, 根系土壤层和腐殖层等)紧密相关的储水体, 它对降水起着缓存、分配与调节的作用, 是水文循环的重要环节^[1-2]。生态水层富水特征十分特殊, 用常规方法难以从整体与宏观角度量化, 综合应用 3S 新技术新方法, 在本研究团队多年研究成果基础上^[4-5], 选择长江上游生态“屏障”之重点地区——岷江上游为研究区, 开展以植被为中心的“生态水”遥感定量研究。“生态水”的定量研究需区分不同植被类型, 分别对不同植被类型的“生态水”进行量化, 进而研究整个区域的“生态水”量。所以研究区不同森林植被的识别对“生态水”的研究非常

重要, 准确的植被识别方法对“生态水”量化的研究至关重要。

20 世纪 80 年代初期高光谱遥感技术的出现, 为目标地物提供丰富的光谱信息, 与传统的多光谱技术相比, 具有光谱响应范围广, 光谱分辨率高的特点^[6]。目前, 实测高光谱数据多用于精准农业的产量估测、病虫害和植被健康监测等^[7-8], 在植被及树种识别方面也取得了一定的成果^[9]。张凯等^[10]基于反射光谱特征分析了两种草地类型; 王志辉等^[11]基于反射光谱特征方法, 并采用一阶二阶微分方法对树种之间的差异波段进行分析, 通过欧式距离分析了差异波段对树种识别的有效性; 孙林等^[12]在分析植被叶片生化组分的光谱响应特征时, 发现叶片反射率的二阶导数对叶绿素具有较高的响应; 沈艳等^[13]基于导数光谱变量进行叶片含水量模型的建

收稿日期: 2012-10-24; 修订日期: 2013-01-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071265), 2010 年度高等学校博士学科点专项科研基金(2010512211 0006)。

作者简介: 潘佩芬(1986—), 女, 山西怀仁人, 博士研究生, 主要从事“3S”技术与应用方面的研究。E-mail: panpeifen86@163.com

通讯作者: 杨武年(1954—), 男, 宁夏中卫人, 教授, 主要从事“3S”技术在国土资源勘查、生态环境和地质灾害评价中的应用研究。

E-mail: ywn@cdu.edu.cn

立。可知,光谱的导数微分对植被光谱特征响应分析是有效的。陈永刚等^[14]在非参数统计理论和模式识别基础上,利用 Mann-Whitney 非参数检验筛选竹类间最佳特征区分波段及利用支持向量机识别竹类。刘炜等^[15]通过对光谱进行一阶导数处理,分析不同尺度下的土壤有机质的光谱响应特征;本文的研究对象为岷江上游青城山森林植被,基于研究区生态水信息指标参数的研究思路,采用导数微分的方法分析植被的识别光谱特征,为生态水的测量提供不同植被的识别依据。利用遥感等高科技手段从四维空间研究生态水资源性质、分布特征及其变化规律并计算其资源量。

本文研究区域为青城山地区,地处成都平原的生态屏障地带,其生态环境非常重要;受地质、地貌、气候等因素的影响,植被类型不仅复杂,而且存在海拔从低到高的垂直变化规律。针对生态水信息指标参数之一植被含水量^[2]反演,采用一阶微分,二阶微分方法对样本光谱数据进行差异波段的提取,识别不同植被,为进一步反演不同植被含水量提供数据及方法依据。

2 数据获取与方法

选择研究区部分典型植被棕榈树、杉木、冷水花和臭樱4种进行研究,每种植被在研究区不同坐标点采集样本,每种植被样本至少选择8个以上不同坐标点进行采集,每个点采集9片成熟叶子,采集时间为2012年4月16~19日。由于受野外环境水汽、太阳强度和背景等复杂多变的影响,本实验选取采集样本的室内光谱数据。室内光谱数据处于光谱测试理想状态下,具有光谱稳定、受环境影响小等优点。采用美国 ASD FieldSpec Pro FR 便携式光谱仪进行光谱测量,该仪器的波段范围为350~2500 nm。采集光谱时每隔15 min进行一次白板校正,室内光谱采集选用光谱仪自带的“Pro Lamp”照明光源,能够模拟太阳光照。将每种植被同一采样点的光谱取平均,再对不同采样点的同一植被取平均值最终得到4种植被的平均光谱。

微分法是光谱变换最常见的方法之一,一阶微分、二阶微分可以消除光谱数据之间的系统误差,削弱大气辐射、散射和吸收等背景噪声的影响,分辨重叠光谱,可以增强光谱曲线在坡度上的细微变化^[16-17],对植被来说,这种变化与植被的生物化学吸收特征有关,有利于提取探测地物的光谱特征。实测光谱数据是离散形式的,其微分计算就变成了计

算差分,计算公式分别是:

$$\frac{dR}{d\lambda} = \frac{R_{\lambda_{j+1}} - R_{\lambda_j}}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

$$\frac{d^2R}{d\lambda^2} = \frac{d}{d\lambda} \left[\frac{dR}{d\lambda} \right] = \frac{R_{\lambda_{j+2}} - 2R_{\lambda_{j+1}} + R_{\lambda_j}}{(\Delta\lambda)^2} \quad (2)$$

其中: λ_j 为第 j 波段, R_{λ_j} 、 $R_{\lambda_{j+1}}$ 、 $R_{\lambda_{j+2}}$ 为第 j 、 $j+1$ 、 $j+2$ 波段的光谱反射率, $\Delta\lambda$ 为波段 $j+1$ 和波段 j 之间的波长差。

3 光谱特征提取

植被反射波谱曲线(即光谱特征)的波峰波谷处为植被的反射峰和吸收带,以这些波峰波谷为特征点研究植被具有重要的意义^[6,18]。

3.1 原始光谱

如图1所示,4种植被具有相似的光谱曲线形状,出现波峰波谷的波段相似,但是在部分反射峰和吸收带波段中出现差异,这些差异正是我们所要寻找的植被光谱特征。从4种植被光谱曲线中可提取具有代表性的波段进行进一步的分析。将各个波段处取波长范围为10 nm,共选择了10个特征波段,对每个波段范围内的光谱值取平均值进行差异性比较。选择546~555 nm、915~924 nm、965~974 nm、1069~1078 nm、1175~1184 nm、1262~1271 nm、1450~1459 nm、1630~1639 nm、1814~1823 nm和2210~2219 nm。从图2中可以看出,915~924 nm、965~974 nm、1175~1184 nm、1450~1459 nm和1814~1823 nm 5个波段差别明显,其他5个波段的差异较小。

3.2 一阶微分光谱

图3为4种植被一阶微分后的光谱曲线,从图3可以看出,4种植被的光谱一阶微分后,其坡度差异显现出来。选取10个有差异的波段进行比较,分

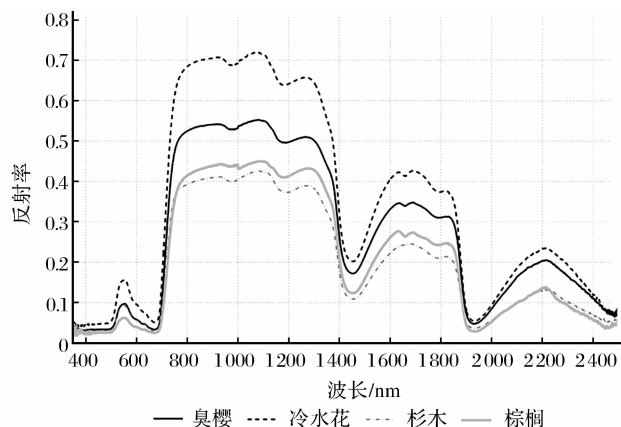


图1 4种植被原始光谱曲线

Fig. 1 Four vegetation's original spectral curves

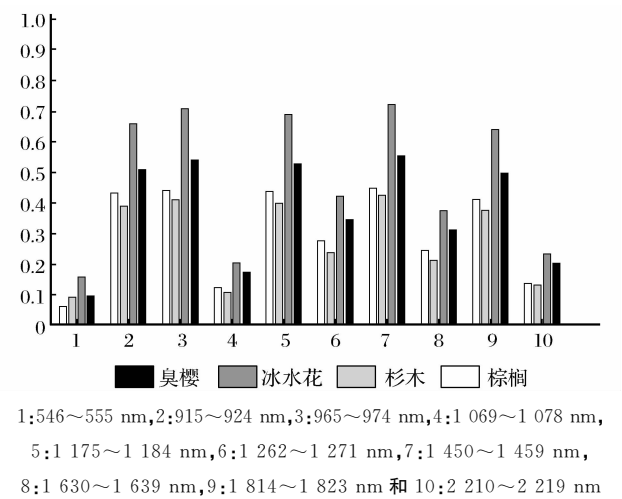


图 2 4 种植被原始光谱的 10 个波段之间的比较
Fig.2 The comparison of ten bands of
four vegetations' original spectrum

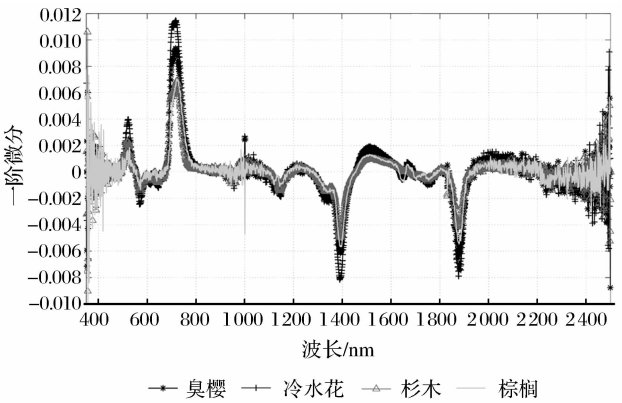


图 3 4 种植被一阶微分光谱曲线

Fig.3 First-order differential spectral curves of four vegetations

别为 518 ~ 527 nm、566 ~ 575 nm、712 ~ 721 nm、1 140 ~ 1 149 nm、1 350 ~ 1 359 nm、1 386 ~ 1 395 nm、1 500 ~ 1 509 nm、1 648 ~ 1 657 nm、1 665 ~ 1 674 nm 和 1 874 ~ 1 883 nm。由图 4 可以看出,518 ~ 527 nm、1 386 ~ 1 395 nm 和 1 874 ~ 1 883 nm 3 个波段的差异较大,其他 7 个波段的差异不明显。

3.3 二阶微分光谱

图 5 为 4 种植被光谱二阶微分后的曲线,二阶微分后光谱的微小差异被凸显。选取有差异的波段:398 ~ 407 nm、440 ~ 449 nm、690 ~ 699 nm、735 ~ 744 nm、998 ~ 1007 nm、1085 ~ 1094 nm、1372 ~ 1381 nm、1398 ~ 1407 nm、1827 ~ 1836 nm 和 1890 ~ 1899 nm,图 6 为 10 个波段 4 种植被的二阶微分比较。可以看出,波段 398 ~ 407 nm、735 ~ 744 nm、998 ~ 1007 nm 和 1890 ~ 1899 nm 的光谱差异较明显。

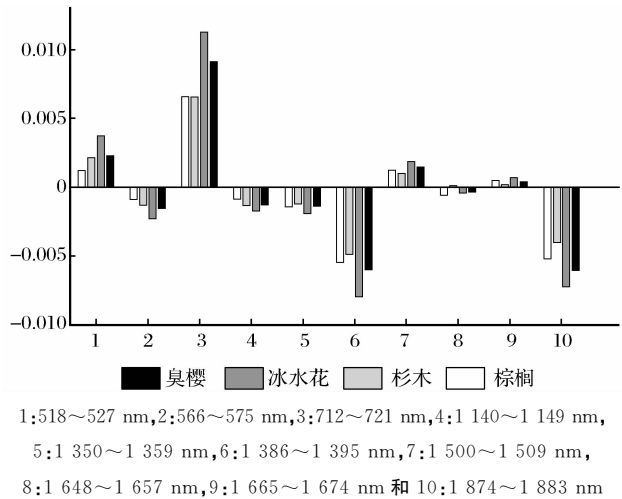


图 4 4 种植被一阶微分光谱的 10 个波段之间的比较
Fig.4 The comparison of ten bands of four vegetations'
first-order differential spectrums

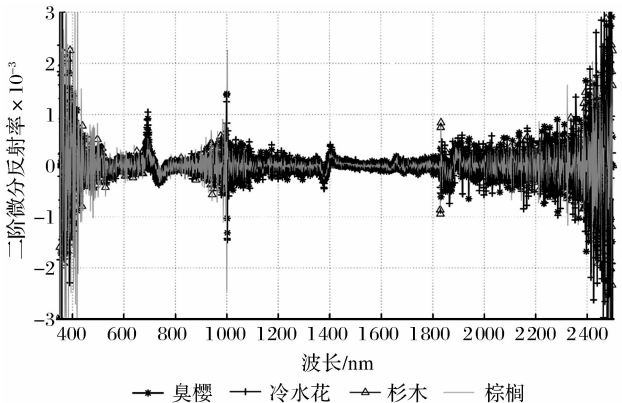


图 5 4 种植被二阶微分光谱曲线

Fig.5 Second-order differential spectral curves of four vegetations

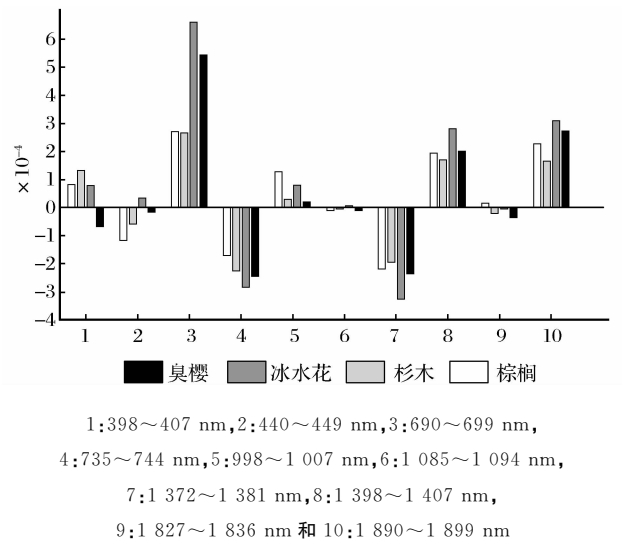


图 6 4 种植被二阶微分光谱的 10 个波段之间的比较
Fig.6 The comparison of ten bands of four vegetations'
second-order differential spectrums

4 结果与分析

为了验证所选波段的有效性,对 4 种植被求欧式距离,根据欧式距离的大小分析各个波段的有效性。方法可描述为:以原始光谱为例,计算所选波段的每种植被所有样本的原始光谱平均值,以任意一种植被为比较植被,式(3)分别计算每种植被每个样本与比较植被的平均值之间的欧氏距离。式(4)计算所有样本的欧氏距离平均值。如果不同植被之间欧氏距离的平均值大于同种植被欧氏距离,说明所选波段能够有效区分不同植被,反之,如果不同植被之间的欧氏距离小于同种植被之间的欧氏距离,说明该波段不能区分不同植被。

$$d_{M_iN} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{M_i,k} - \bar{x}_{Nk})^2}$$

(3)

$$D_{MN} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^K d_{M_iN}$$

(4)

其中: d_{M_iN} 为树种 M 第 i 个样本与比较树种 N 之间的欧氏距离, D_{MN} 为树种 M 与树种 N 之间欧氏距离的平均值, $x_{M_i,k}$ 为树种 M 第 i 个样本第 k 波段光谱反射率、一阶微分、二阶微分值, \bar{x}_{Nk} 为比较树种 N 第 k 波段 50 个样本光谱反射率、一阶微分、二阶微分值的平均值, i 为样本个数($i = 1, 2, 3, \dots, 50$); n 是波段总数; K 为样本总数($K = 50$)。

从表 1~4 可以看出,原始光谱、一阶微分、二阶微分光谱的选择波段同种植被之间的欧氏距离平均值均小于不同种植被之间的欧氏距离平均值,可以有效区分不同植被。表 1 中,4 种植被与臭樱的原始光谱、一阶微分和二阶微分的欧式距离均差异较大,说明识别臭樱的波段选择效果最好;从表 2、表 3 可以看出冷水花与杉木的欧式距离最大,说明利用所选波段区分冷水花和杉木两种植被的效果最明显;从表 1~4 可以看出,冷水花与其他 3 种植被的欧式距离均较大,说明冷水花与其他 3 种植被的识别效果较佳。

表 1 臭樱与 4 种植被之间的欧氏距离

Table 1 The Euclidean distances between *maddenia hypoleuca* and four types of vegetations

	臭樱与臭樱	冷水花与臭樱	杉木与臭樱	棕榈与臭樱
原始光谱	0.1585	0.3361	0.3262	0.2521
一阶微分	0.0016	0.0031	0.0033	0.0022
二阶微分	0.000198497	0.000259636	0.000358497	0.000421547

表 2 冷水花与 4 种植被之间的欧氏距离

Table 2 The Euclidean distances between *pilea cadierei* and four types of vegetations

	臭樱与冷水花	冷水花与冷水花	杉木与冷水花	棕榈与冷水花
原始光谱	0.3054	0.1716	0.5366	0.4808
一阶微分	0.0031	0.0018	0.0052	0.0043
二阶微分	0.000266	0.000219	0.000326	0.000437

表 3 杉木与 4 种植被之间的欧氏距离

Table 3 The Euclidean distances between *cunninghamialanceolata* and four types of vegetations

	臭樱与杉木	冷水花与杉木	杉木与杉木	棕榈与杉木
原始光谱	0.2705	0.5379	0.1480	0.2136
一阶微分	0.0026	0.0049	0.0013	0.0023
二阶微分	0.000296	0.000270	0.000264	0.000419

表 4 棕榈与 4 种植被之间的欧氏距离

Table 4 The Euclidean distances between *trachycarpus fortunei* and four types of vegetations

	臭樱与棕榈	冷水花与棕榈	杉木与棕榈	棕榈与棕榈
原始光谱	0.1965	0.4801	0.2290	0.1466
一阶微分	0.0019	0.0043	0.0028	0.0014
二阶微分	0.00028	0.000265	0.000304	0.000397

5 结 语

与多光谱相比,高光谱具有波段多、连续的特点,可提供丰富的光谱信息。利用高光谱的特性,对原始光谱进行一阶二阶微分处理,分析其光谱特征,为植被的识别提供有效的途径和方法。从 4 种植被的原始光谱曲线可以看出,4 种植被的曲线形状相似,只有个别波段存在微小差异,把这些微小差异的波段选取出来,用来区分植被;一阶微分和二阶微分方法可以将原始光谱的微小差异扩大化,使存在差异的波段更明显,选取有差异的波段来区分 4 种植被。欧式距离的分析显示,所选取的波段可有效区分 4 种植被。

3 种方法选择的波段有差异,但存在共同点。原始光谱差异较大的波段全部属于近红外波段区间,一阶微分光谱差异较大的波段一个属于绿光波段,剩下两个全部位于近红外波段区间,二阶微分光谱差异较大的波段一个位于红光波段区间,两个位于近红外波段。可见,在近红外波段可有效地识别不同植被树种,它们分别是 1 814~1 823 nm、1 874~1 883 nm 和 1 890~1 899 nm。由 3 种方法的共同点可知近红外波段是识别不同植被的最有效波段区间,进而分别计算每种植被类型的“生态水”。

参考文献 (References):

- [1] Yang Wunian, Yuan Peixin, Wan Xinnan, *et al.* Survey and Assessment of the Ecological Environment with Remote Sensing in the Upper of Minjiang River in Sichuan Province (863-308-21(6)) [R]. The Archives Chengdu University of Technology, 2001. [杨武年, 袁佩新, 万新南, 等. 四川省岷江中上游生态环境遥感综合调查与评价研究报告 (863-308-21(6)) [R]. 成都理工大学档案馆, 2001.]
- [2] Yang Wunian, Jian Ji, Li Yuxia, *et al.* Quantitative Investigation of Eco-water with Remote Sensing [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, (2): 219. [杨武年, 简季, 李玉霞, 等. 生态水遥感定量研究 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2008, (2): 219.]
- [3] Wan Xinnan, Yang Wunian, Wu Bingfang, *et al.* Conception of Eco-water Sphere and Its Application [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19 (Sup.): 117-121. [万新南, 杨武年, 吴炳方, 等. “生态水层与生态水”概念及研究意义 [J]. 地球科学进展, 2004, 19 (增刊): 117-121.]
- [4] Jian Ji. Quantitative Investigation of Eco-water with Remote Sensing in the Upper of Minjiang River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2006. [简季. 生态水遥感定量研究——以岷江上游典型地区为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2006.]
- [5] Li Yuxia. Quantitative Study of Eco-water Information Indices based on Remote Sensing Images in Maoergai District of Upper Minjiang River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007. [李玉霞. 岷江上游毛儿盖地区生态水信息指标参数遥感量化研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2007.]
- [6] Pu Ruiliang, Gong Peng. Hyperspectral Remote Sensing and Its Application [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. [浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.]
- [7] Dong Jingjing, Wang Li, Niu Zheng. Estimation of Canopy Chlorophyll Content Using Hyperspectral Data [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(11): 3003-3006. [董晶晶, 王力, 牛铮. 植被冠层水平叶绿素含量的高光谱估测 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(11): 3003-3006.]
- [8] Wu Chaoyang, Niu Zheng, Tang Quan, *et al.* Effects of N, K Fertilization on the Relationship between Photosynthetic Light Use Efficiency and Photochemical Reflectance Index (PRI) [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(2): 455-458. [吴朝阳, 牛铮, 汤泉, 等. 不同氮、钾施肥处理对小麦光能利用率和光化学植被指数 (PRI) 关系的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 455-458.]
- [9] Liu Lijuan, Pang Yong, Fan Wenyi, *et al.* Integration of Airborne Hyperspectral CASI and SASI Data for Tree Species Mapping in the Boreal Forest, China [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 129-136. [刘丽娟, 庞勇, 范文义, 等. 整合机载 CASI 和 SASI 高光谱数据的北方森林树种填图研究 [J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 129-136.]
- [10] Zhang Kai, Guo Ni, Wang Runyuan, *et al.* Comparison of Spectral Reflectance Characteristics of Two Main Grassland Types in Gansu Province [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(S2): 142-148. [张凯, 郭妮, 王润元, 等. 甘肃省两种主要草地类型的光谱反射特征比较 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(S2): 142-148.]
- [11] Wang Zhihui, Ding Lixia. Tree Species Discrimination based on Leaf Level Hyperspectral Characteristic Analysis [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(7): 1825-1829. [王志辉, 丁丽霞. 基于叶片高光谱特性分析的树种识别 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1825-1829.]
- [12] Sun Lin, Cheng Lijuan. Analysis of Spectral Response of Vegetation Leaf Biochemical Components [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(11): 3031-3035. [孙林, 程丽娟. 植被叶片生化组分的光谱响应特征分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 3031-3035.]
- [13] Shen Yan, Niu Zheng, Wang Wen, *et al.* Establishment of Leaf Water Content Models based on Derivative Spectrum Variables [J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(4): 16-19. [沈艳, 牛铮, 王汶, 等. 基于导数光谱变量叶片含水量模型的建立 [J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(4): 16-19.]
- [14] Chen Yonggang, Ding Lixia, Ge Hongli, *et al.* Hyperspectral

Bambusoideae Discrimination based on Mann-Whitney Non-Parametric Test and SVM[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(11): 3010-3013. [陈永刚, 丁丽霞, 葛宏立, 等. 基于 Mann-Whitney 非参数检验和 SVM 的竹类高光谱识别[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(11): 3010-3013.]

[15] Liu Wei, Chang Qingrui, Guo Man, *et al.* Analysis on Derivative Spectrum Feature for SOM under Different Scales of Differential Window[J]. Journal of Infrared Millim Waves, 2011, 30(4): 316-321. [刘炜, 常庆瑞, 郭曼, 等. 不同尺度的微分窗口下土壤有机质的一阶导数光谱响应特征分析[J]. 红外与毫米波学报, 2011, 30(4): 316-321.]

[16] Tang Yanlin, Huang Jingfeng, Wang Renchao. Study on Estimating the Contents of Crude Protein and Crude Starch in Rice Panicle and Paddy by Hyperspectra[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(9): 1282-1287. [唐延林, 黄敬峰, 王人潮. 利用高光谱法估测稻穗稻谷的粗蛋白质和粗淀粉含量[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1282-1287.]

[17] Han L H. Estimating Chlorophyll-a Concentration Using First-derivative Spectra in Coastal Water[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(23): 5235-5244.

[18] Mei Anxin, Peng Wanglu, Qin Qiming, *et al.* Remote Sensing Introduction[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. [梅安新, 彭望录, 秦其明, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.]

Hyperspectral Characteristic Analysis of Different Forest Vegetation

Pan Peifen¹, Yang Wunian^{1,2}, Dai Xiao'ai^{1,2}, Zheng Bo²

(1. Chengdu University of Technology, State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection/Key Laboratory of Geo-spatial Information Technology Ministry of Land and Resources, Chengdu 610059, China;

2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: “Eco-water(layer)” was provided with special watery features, whose parameters are difficult to be quantified and inverted by common methods, but hyperspectral remote sensing with plenty bands and abundant spectral information provide efficacious data source and method to invert the parameters of Eco-water. Using hyperspectral remotely sensing technology to analyze spectral characters and extracting sensitive bands of vegetation were very important. To meet the need of quantifying the eco-water’s parameters, in this paper, the spectral information of partial vegetation leafs in the study area was collected, the spectral data was derived, the original, the first derived and the second spectral curves of different vegetation leafs were analyzed, and the more different bands of different vegetation were extracted to distinguish the vegetations. Meanwhile, distance statistical method was to verify the validity of different bands. The results show that, there were some differences for extracted bands by three methods, but there were some same points, that is the extracted bands can effectively distinguish the different vegetations, especially the near-infrared bands which was 1 814~1 823 nm, 1 874~1 883 nm and 1 890~1 899 nm.

Key words: Eco-water; Information indicator parameters; Forest vegetation; Hyperspectral character; Derived method; Near-infrared band