

# 基于叶片高光谱特性分析的树种识别

王志辉, 丽霞\*

浙江农林大学, 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 环境科技学院, 浙江 临安 311300

**摘要** 高光谱遥感技术的出现将为解决森林树种的精细识别难题提供有效的途径。利用高光谱遥感技术进行树种鉴别时, 光谱特征的选择及提取是个非常重要的过程。与多光谱数据相比, 高光谱数据具有波段多、数据量大、冗余度大等特点。该文利用光谱微分法对原始光谱数据进行处理, 分析不同树种原始光谱、光谱一阶微分和光谱二阶微分曲线图, 从中选择差异较大的波段用于鉴别不同树种。最后利用欧氏距离对所选择的波段进行检验识别不同树种的效果, 检验的结果显示选择的波段能有效地区分不同树种。区分不同树种的有效波段大都位于近红外波段, 并且差异最大的波段也是近红外波段, 其分别为 1 657~1 666 和 1 868~1 877 nm。

**关键词** 树种; 高光谱; 光谱微分; 欧氏距离

中图分类号: S771.8 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)07-1825-05

## 引言

高光谱遥感技术是 20 世纪 80 年代以来在对地观测方面取得的重大技术突破之一, 它具有波段窄、波段多的特点, 能够提供比多光谱遥感技术更细致的地物光谱信息<sup>[1]</sup>, 为研究地物的细微特征提供了有效的途径。目前高光谱遥感技术已被广泛地用于植物研究, 与多光谱相比, 能有效地提高物种分类精度<sup>[2]</sup>, 而且能够估测各种植物化学成分, 如植物叶内的 N、P、K、糖类、淀粉、蛋白质、纤维素和叶绿素等的估测<sup>[3]</sup>, 进行植物长势评价、植被生物量估测<sup>[4]</sup>。在植物物种的识别方面也有一些成功的实验, 例如, 浦瑞良等<sup>[4]</sup>利用小型机载成像光谱仪(compact airborne spectrographic imager, 简称 CASI) 数据, 采用变量相关、基于植被指数的估计方法和多元回归预测方法对植物物种识别, 张良培等<sup>[5]</sup>利用高光谱对植物物种进行识别, 但是对南方树种进行高光谱识别的报道极少。本文分析不同树种的高光谱反射率信息及相关特征参量的差异, 探索高光谱遥感技术树种分类的可能性。

高光谱遥感技术波段多、波段窄的优势也带来了数据量大、数据冗余度大的问题<sup>[5]</sup>。高光谱数据采样间距一般都在纳米级, 造成了相邻波段的高度相关性, 冗余度也随之增加。如何既有效地利用高光谱数据的最大信息, 又能较快地

处理高光谱数据成为高光谱遥感的研究热点和未来的发展方向。其中, 有关光谱特征选择和特征提取的研究是一个重要方向<sup>[6]</sup>。范文义曾用方差、最大最小值、信噪比以及波段间的相关性等作为指标进行选择波段, 取得了较好的效果(参考范文义(北京林业大学)的论文: 成像光谱遥感数据处理及对荒漠化监测信息提取方法的研究, 2000); 刘建平<sup>[7]</sup>等在分析利用信息量方法来选择波段局限性的同时, 提出了基于类间可分性的高光谱数据最佳波段选择理论模型, 具有一定的实用性; Alam 等提出了基于目标探测与分类的自适应进行波段选择<sup>[8]</sup>。光谱微分可以增强光谱曲线在坡度上的细微变化, 并且其波形分析能消除部分大气效应。王渊等利用光谱微分对油菜叶片的高光谱特征进行选择及提取, 获得了良好的效果<sup>[9]</sup>。本文使用一阶微分和二阶微分两种方法对原始高光谱数据进行处理分析, 从而选择区分不同树种的波段及光谱特征参量。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据获取

实验地点为浙江省临安市浙江林学院校内植物园, 选择了香樟、麻栎、马尾松、毛竹等 4 种南方常见的树进行试验, 每种树选取 5 棵树, 每棵树采集 10 片向阳面的成熟叶, 共

收稿日期: 2009-10-11, 修订日期: 2010-01-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771725), 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA12Z109), 浙江省林业厅项目(07A16)和浙江省教育厅项目(20060651)资助

作者简介: 王志辉, 1979 年生, 浙江农林大学环境科技学院研究生 e-mail: wzf20002@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: dlxky@126.com

50 个叶片样本。野外采样在晴朗的天气进行,选择生长茂盛的树进行树叶采集放在保鲜箱里,并迅速带到室内利用 ASD FieldSpec Pro FR 野外光谱辐射仪进行光谱测量。该光谱仪的波段范围为 350~ 2 500 nm,共 2 151 个波段,为了光谱测量的准确性和稳定性,利用该光谱仪配套的植被高密度探头进行光谱测量,每测完 10 片树叶进行一次标准白板的校正。将每棵树的 10 片树叶光谱反射率进行平均,求得每棵树的光谱反射率;而后对每种树的 5 棵树的光谱反射率取值平均值,得到每种树的光谱反射率值。

### 1.2 微分法

光谱一阶微分、二阶微分是常用的光谱处理方法<sup>[10]</sup>。一方面,它能够有效地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对目标光谱的影响;另一方面,光谱微分可以增强光谱曲线在坡度上的细微变化<sup>[11]</sup>,分辨重叠光谱,便于提取可识别地物的光谱吸收峰参数<sup>[1]</sup>。一阶微分和二阶微分的计算公式分别为(1)和(2)式所示。

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

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

式中:  $\lambda_j$  是第  $j$  波段;  $FDR_{\lambda_j}$  是波段  $j$  和波段  $j+1$  之间的光谱一阶微分;  $SDR_{\lambda_j}$  是波段  $j$  和波段  $j+2$  之间的光谱二阶微分;  $R_{\lambda_j}$ ,  $R_{\lambda_{j+1}}$ ,  $R_{\lambda_{j+2}}$  是第  $j$ ,  $j+1$ ,  $j+2$  波段的原始光谱反射率;  $\Delta\lambda$  是波段  $j+1$  和波段  $j$  之间的波长差距。

## 2 结果与分析

### 2.1 原始光谱曲线分析

在图 1 里显示了 4 种树原始光谱反射率曲线,从图中可看出这 4 种树具有相似的光谱曲线形状,但在一些波段里也有差别,而这些差别反映了它们光谱特性的不同。从中选择那些差异性比较显著的波段(波段范围为 10 nm,以下波段选择的范围相同),共计 11 个波段并取之平均值进行比较(如图 2)。从图中可看出在波段 883~ 892, 970~ 979, 1 071~ 1 080, 1 657~ 1 666, 1 811~ 1 820 和 2 212~ 2 221 nm 之间具有明显的差异。特别在波段 1 657~ 1 666 nm 之间,4 种树光谱差异性最大。其余 5 个波段差异性稍小。

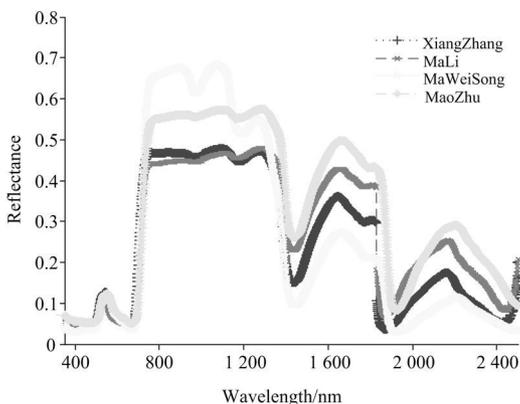


Fig 1 The curve of the original spectrum of four species trees

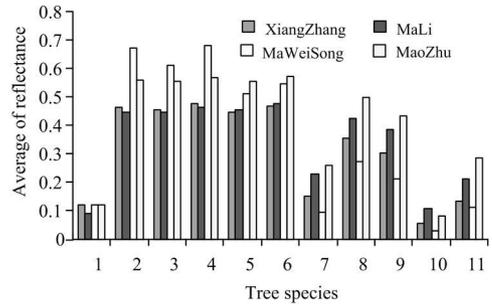


Fig 2 The comparison of reflectance average of the original spectrum of different bands of four species trees

Waveband 1-11: 548~ 557, 883~ 892, 970~ 979, 1 071~ 1 080, 1 193~ 1 202, 1 264~ 1 273, 1 443~ 1 452, 1 657~ 1 666, 1 811~ 1 820, 1 922~ 1 931, 2 212~ 2 221 nm

### 2.2 光谱一阶微分分析

图 3 是 4 种树光谱一阶微分曲线图,选择差异性比较明显的波段,共计 11 个波段,并计算其光谱一阶微分值的平均值如图 4 所示,从图中可看出光谱一阶微分曲线有 3 个差异性比较大的位置,其波段分别位于 714~ 723, 1 136~ 1 145 和 1 868~ 1 877 nm。其他 8 个波段差异性稍小,由此可知这些波段都可用于树种识别。

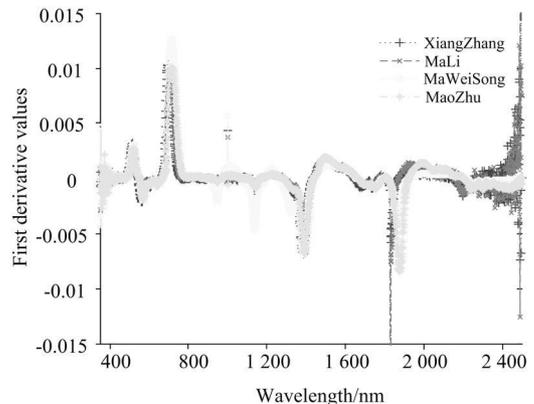


Fig 3 The curve of the first derivative reflectance of four species trees

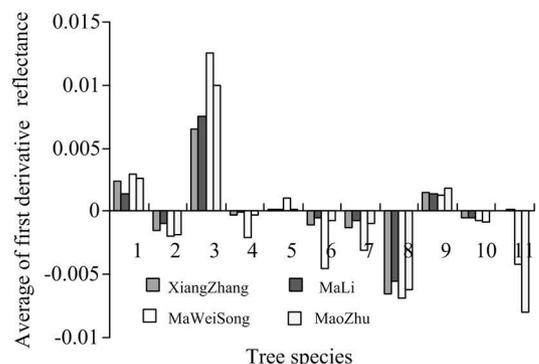


Fig 4 The comparison of the average of the first derivative reflectance of different bands of four species trees

Waveband 1-11: 516~ 525, 565~ 574, 714~ 723, 946~ 955, 1 009~ 1 018, 1 136~ 1 145, 1 325~ 1 334, 1 383~ 1 392, 1 510~ 1 519, 1 746~ 1 755, 1 868~ 1 877 nm

### 2.3 光谱二阶微分分析

4 种树的光谱二阶微分曲线如图 5 所示, 差异较大的波段都位于二阶微分曲线的波峰或波谷, 选择其中差异较大的波段, 取其二阶微分值的平均值, 如图 6 所示。由图中可见, 各树种的光谱二阶微分值的差异比一阶微分值的差异更加明显; 其中位于 402~ 411, 758~ 767, 972~ 981 和 1 868~ 1 877 nm 等 4 个波段的光谱二阶微分值差异显著, 差异最大在波段 1 868~ 1 877 nm 之间; 差异性稍小波段有 7 个, 分别是 443~ 452, 648~ 657, 1 009~ 1 018, 1 367~ 1 376, 1 441~ 1 450, 1 749~ 1 758 和 1 792~ 1 801 nm。从上面的分析比较可知, 这些波段都可用来识别 4 种树的光谱特性及其鉴别。

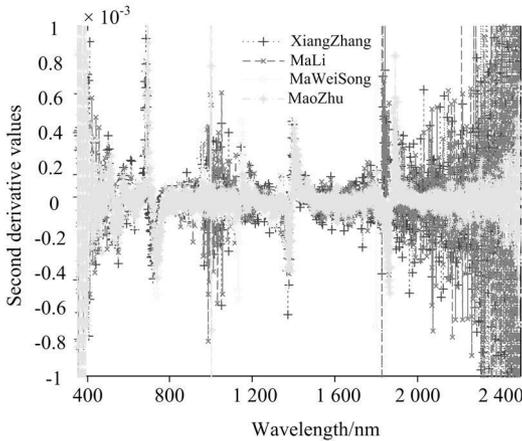


Fig 5 The curve of the second derivative reflectance of four species trees

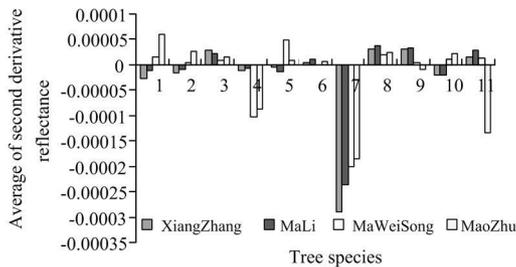


Fig 6 The comparison of the average of the second derivative reflectance of different bands of four species trees

Waveband F11: 402~ 411, 443~ 452, 648~ 657, 758~ 767, 972~ 981, 1 009~ 1 018, 1 367~ 1 376, 1 441~ 1 450, 1 749~ 1 758, 1 792~ 1 801, 1 868~ 1 877 nm

### 3 结果分析与检验

为检验以上方法所选波段识别树种的效果, 本文使用欧氏距离法<sup>[2]</sup>。以一阶微分法所选波段检验为例, 首先计算所选波段的每树种 50 个样本的一阶微分平均值, 然后以任一种树为比较树种, 分别计算每树种每个样本与比较树种的平均值之间的欧氏距离, 如(3)式所示, 最后计算这 50 个样本的欧氏距离平均值, 如(4)式所示。如果不同树种间欧氏距离的平均值大于同树种欧氏距离的平均值, 则说明所选波段

能够有效区分不同树种。其他方法所选波段的检验过程相同。

$$d_{M_iN} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{M_i k} - \bar{x}_{Nk})^2} \quad (3)$$

$$D_{MN} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K d_{M_iN} \quad (4)$$

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

由表 1~ 表 4 可看出, 原始光谱、光谱一阶微分和光谱二阶微分所选波段的不同树种间欧氏距离的平均值都大于同树种欧氏距离的平均值。只是表 2 中比较树种麻栎的光谱二

Table 1 The comparison of Euclidean distance of selected band of the three methods of Xiangzhang and other three tree species

	香樟与香樟	麻栎与香樟	马尾松与香樟	毛竹与香樟
原始光谱	0.084 7	0.177 1	0.393 7	0.358 5
一阶微分	0.001 3	0.002 1	0.008 8	0.008 9
二阶微分	0.000 17	0.000 20	0.000 19	0.000 26

Table 2 The comparison of Euclidean distance of selected band of the three methods of MaLi and other three tree species

	麻栎与麻栎	香樟与麻栎	马尾松与麻栎	毛竹与麻栎
原始光谱	0.058 2	0.190 1	0.493 4	0.271 0
一阶微分	0.000 9	0.002 3	0.008 9	0.008 7
二阶微分	0.000 18	0.000 19	0.000 17	0.000 25

Table 3 The comparison of Euclidean distance of selected band of the three methods of MaWeiSong and other three tree species

	马尾松与马尾松	香樟与马尾松	麻栎与马尾松	毛竹与马尾松
原始光谱	0.095 4	0.383 4	0.480 0	0.454 3
一阶微分	0.001 5	0.008 7	0.008 8	0.006 8
二阶微分	0.000 11	0.000 24	0.000 23	0.000 21

Table 4 The comparison of Euclidean distance of selected band of the three methods of MaoZhu and other three tree species

	毛竹与毛竹	香樟与毛竹	麻栎与毛竹	马尾松与毛竹
原始光谱	0.107 1	0.352 5	0.268 9	0.458 5
一阶微分	0.001 4	0.008 8	0.008 7	0.006 9
二阶微分	0.000 13	0.000 29	0.000 28	0.000 20

阶微分马尾松与麻栎欧氏距离的平均值 0.000 17, 小于麻栎与麻栎欧氏距离的平均值 0.000 18。经欧氏距离检验分析可知, 初步根据原始光谱、光谱一阶微分和光谱二阶微分曲线图的差异性所选择的波段能够有效区分不同树种。

## 4 结 论

与多光谱数据相比, 高光谱数据具有波段多及波段连续的特性, 能够为不同树种提供更多的光谱反射率信息。光谱微分分析充分利用高光谱的连续性, 将原始光谱里的微小变化与差异进行扩大, 从而被用来树种鉴别。

本文分析了 4 个不同树种的实测光谱曲线, 结果表明不同的树种有类似的光谱特点, 比如其原始光谱曲线图形状大致相同(如图 1 所示), 然而不同树种的光谱曲线也存在着微小差异。利用光谱一阶微分和光谱二阶微分等两种方法对高光谱数据进行处理, 能够增强这些差异, 从而方便地从上千个波段中选择出十几个区分不同树种的最佳波段。利用欧氏距离检验这些方法选择的波段区分不同树种的效果, 结果证

明所选择的波段都能很好地区分 4 个树种。

不同方法选择的波段有些不同, 但也有共同特点。根据原始光谱的差异所选取的 11 个波段中, 绿光波段有 1 个, 波长为 548~ 557 nm; 其余 10 个波段都分布在近红外波段, 差异最大的波段为 1 657~ 1 666 nm。光谱一阶微分法所选择的波段中, 绿光、黄光、红光波段各有 1 个, 分别为 516~ 525, 565~ 574 和 714~ 723 nm; 其余 8 个波段属于近红外波段, 差异最大的波段为 1 868~ 1 877 nm。光谱二阶微分所选取的波段中紫光、蓝光、红光波段各 1 个, 其波长为 402~ 411, 443~ 452 和 648~ 657 nm; 其余 8 个波段是近红外波段, 差异最大的波段是 1 868~ 1 877 nm。可见, 用于识别不同树种的波段大都位于近红外波段, 且差异最大的波段也出现在近红外波段。目前已有一些高光谱遥感卫星数据能够提供波段足够窄的图像数据, 且覆盖红光、近红外等波段, 如 MODIS 的有 9 个近红外波段, hyperion 有 216 个近红外波段。本文的研究结果将为利用图像数据进行大面积森林树种的高光谱遥感识别与监测提供理论支撑。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Salehia B, Zoej M J V. Remote Sens. Environ., 2002, 36: 332.
- [ 2 ] TAN Bing xiang(谭炳香). World Forestry Research(世界林业研究), 2003, 16(2): 33.
- [ 3 ] ZHANG Liang pei, ZHENG Lar fen, TONG Qing xi(张良培, 郑兰芬, 童庆禧). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 1997, 1(2): 111.
- [ 4 ] PU Rui liang, GONG Peng(浦瑞良, 宫 鹏). Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications(高光谱遥感及其应用). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2000.
- [ 5 ] SU Hong jun, DU Pei jun(苏红军, 杜培军). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2006, 21(4): 288.
- [ 6 ] SU Hong jun, DU Pei jun, SHENG Ye hua(苏红军, 杜培军, 盛业华). Application Research of Computer(计算机应用研究), 2008, 25(2): 390.
- [ 7 ] LIU Jiar ping, ZHAO Shi ying, SUN Shu ling(刘建平, 赵时英, 孙淑玲). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2001, 16(1): 7.
- [ 8 ] Alamm S, Ochilov S. SPIE The International Society for Optical Engineering, 2005, 908(9): 10.
- [ 9 ] WANG Yuan, HUANG Jing feng, WANG Fir min, et al(王 渊, 黄敬峰, 王福民, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(2): 273.
- [ 10 ] LI Ming zhou(李明州). Technologies and Applications of Spectral Analysis(光谱分析技术和应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006. 122, 163.
- [ 11 ] TONG Qing xi, ZHANG Bing, ZHENG Lar fen(童庆禧, 张 兵, 郑兰芬). Hyperspectral Remote Sensing—Principle, Technology and Application(高光谱遥感—原理, 技术与应用). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2006. 158.
- [ 12 ] SONG Yur hong, LI Zher xiang, SUN Liar hui, et al(宋运红, 李振祥, 孙连辉, 等). Jilin Geology(吉林地质), 2008, 27(4): 117.

# Tree Species Discrimination Based on Leaf-Level Hyperspectral Characteristic Analysis

WANG Zhihui, DING Lixia\*

Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, College of Environmental Science and Technology, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

**Abstract** The emergence of hyperspectral remote sensing technology will provide chance for solving problems of identifying forest tree species precisely. For discrimination of tree species with hyperspectral remote sensing technology, extraction and selection of the spectral characteristics is a very important process. Compared with multispectral data, hyperspectral data have the characteristics of more bands, larger amount of data and larger redundancy degree. The method of derivative reflectance was used to deal with the original spectral data, analyze and compare curves of the original spectrum, the first derivative reflectance and second derivative reflectance of the different tree species, and the bands with bigger difference were selected to identify the different tree species. Then the Euclidean distance method was used to test the selective bands identifying different tree species, and the results showed that the selective bands could identify different tree species effectively. The bands for identifying different tree species were most near infrared bands, and the bands with maximum difference derived from the three methods are 1 657-1 666, 1 868-1 877 and 1 868-1 877 nm respectively.

**Keywords** Tree species; Hyperspectral; Derivative reflectance; Euclidean distance

(Received Oct. 11, 2009; accepted Jan. 26, 2010)

\* Corresponding author