

# 矿区植被物化参数高光谱遥感估算研究

卢霞

(淮海工学院测绘工程学院, 江苏 连云港 222005)

摘要: 基于高光谱遥感数据 Hyperion 和植物冠层反射光谱, 应用指数法、回归统计法和基于光谱位置变量的方法对矿区植被生物量和叶绿素浓度 (SPAD) 进行估算。结果表明: 植被指数  $R752/R548$  与植物鲜重相关性最高, 相关系数为 0.88; 选用植物像元光谱, 基于植被指数  $R752/R548$ , 利用三次函数法构建植物鲜重估算模型精度较高, 多重判定系数  $R^2$  达 0.883; 植被指数  $DVI_{[752,640]}$  与植物干重相关性最高, 相关系数为 0.42; 基于植被指数  $DVI_{[752,640]}$ , 应用线性回归法构建植被干重估算模型精度较低, 多重判定系数  $R^2$  为 0.177; 基于四点内插法提取的红边位置与叶绿素浓度显著相关, 相关系数为 0.433;  $Datt(1)$  和  $Datt(2)$  植被指数与叶绿素浓度存在显著相关, 相关系数分别为 0.871 和 0.868; 基于红边位置 ( $REP$ )、 $Datt(1)$  和  $Datt(2)$  植被指数构建植物叶绿素浓度估算模型精度较高, 多重判定系数  $R^2$  分别为 0.814、0.805 和 0.781。应用高光谱遥感技术可有效地检测矿区受损生态环境下的植被, 为矿区植物生态修复工程提供本底资料。

关键词: 受损生态环境; 高光谱遥感; 植物物化参数; 估算模型

中图分类号: TP79; X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2010)05-0037-04

矿区开采必然造成生态环境受损, 矿区土地整理、土地复垦是恢复受损生态系统的基本前提, 矿区植被群落的快速有序演替则是生态系统修复中一项重要生态工程。因此, 要求掌握矿区植被受损状况, 而光谱分析和植被生态遥感则是研究矿区植被营养状况快速有效的方法之一。高光谱遥感 (Hyperspectral Remote Sensing) 是指利用很多窄的电磁波段获取物体有关数据的技术, 已经成功应用在地质学、海洋、大气和环境遥感以及农业等领域。高光谱遥感在矿区植被方面的研究主要有: 张杰林等<sup>[1]</sup>介绍了高光谱遥感技术在煤矿区环境监测中的应用方法和思路; 迟光宇<sup>[2]</sup>等利用德兴矿区周围植被反射光谱的异常或蓝移情况间接监测矿区的土壤污染、水污染和大气污染, 取得一定成果; Mars 等<sup>[3]</sup>利用高光谱遥感数据 AVIRIS 和数字高程数据监测矿区富含硒元素的水污染情况; Smith 等<sup>[4]</sup>利用红边范围内 725 nm 与 702 nm 的导数比值, 通过分析长期油气渗漏对土壤上植被的影响监测管道渗漏情况; 甘甫平等<sup>[5]</sup>利用 685 nm 附近的最大吸收深度划分了矿区植被污染情况; 卢霞等<sup>[6]</sup>基于高光谱分辨率数据应用红边参数之红边位置研究矿区植被重金属胁迫状况; Lu 等<sup>[7]</sup>利用 Hyperion 数据探讨了矿区生态胁迫下氮素含量的定量遥感反演。以上主要集中在矿区污染研究, 对矿区典型植被的营养状况研究

相对较少; 在提取污染方面, 大都采用单变量参数法, 而忽略了参数成图、基于光谱位置变量和物理光学模型方法的应用。本文利用高光谱遥感图像 Hyperion 和地面实测植物反射光谱及测试的植物 SPAD 值、生物量和全氮含量, 综合利用单变量参数法、回归统计和曲线模拟方法构建矿区植物物化参数高光谱遥感估算模型, 并运用参数成图技术得到矿区植物物化参数丰度分布, 揭示其空间分异规律, 为矿区生态系统修复提供技术支撑。

## 1 数据获取与预处理

### 1.1 遥感成像数据的获取与预处理

本文遥感成像数据主要有 2006 年 6 月 15 日的 EO-1 Hyperion 数据、多时相的 TM 数据、2003 年 0.5 m 空间分辨率的航片数据。研究区域选在北京门头沟矿区。对 EO-1 Hyperion 数据进行数据获取、数据有效波段选择、像元到绝对辐射值的转换、坏线修复、垂直条纹去除、图像光谱重建、裁剪及几何校正等处理, 对多时相的 TM 数据进行辐射校正、几何校正和图像裁剪等预处理。因航片数据已完成几何精校正, 其预处理主要是将北京地方城市坐标系转换为北京 54 坐标系, 与其他两种数据源投影系统保持一致。在对高光谱和多光谱遥感数据进行几何校正时, 利用航片作为辅助数据, 验证几何校正

收稿日期: 2010-05-29; 修订日期: 2010-08-16

基金项目: 江苏省海洋资源开发研究院 2009 年科技开放基金项目 (JSIMR09B08); 淮海工学院校级课题 (Z2009008)

作者简介: 卢霞 (1976-), 女, 博士, 讲师, 主要从事海岸带生态环境遥感和高光谱遥感研究。E-mail: luxia1210@163.com

的精度,同时保证了不同遥感数据源之间较高的配准精度。

在获取 EO-1 Hyperion 数据的同时,利用背挂式 ASD FieldSpec FR™ 光谱仪同步测试了北京门头沟矿区周围典型植被的冠层反射光谱,测试时间为 10 时至 14 时,天气晴朗。利用 View SpecPro 软件对每个样点的多个光谱反射率样本曲线进行平均,以平均值作为样本点的光谱。

### 1.2 非遥感数据的获取与预处理

非遥感数据主要包括叶绿素浓度(SPAD)、植物样本采集点的空间定位信息(GPS 位置);另外对获取的植物样本测试了鲜重、干重和全氮含量,进而通过植物的鲜重和干重计算其含水量。

## 2 植物物化参数高光谱遥感估算模型构建

本文仅介绍叶绿素浓度 SPAD 和生物量的高光谱遥感估算模型,有关植物全氮含量的高光谱遥感估算模型见文献[7]。

### 2.1 植被物化参数与冠层反射光谱的相关分析

2.1.1 植被生物量与冠层反射光谱相关分析 依据野外植物样本采集的 GPS 位置,在经过预处理后的 EO-1 Hyperion 遥感影像上进行对应像元的选取,共筛选出 14 个像元光谱;在此基础上,提取了 17 个单光谱特征参量,分别是比值植被指数 RVI、归一化植被指数 NDVI、重归一化差值植被指数 RDVI、比值植被指数 R750/R550 和 R700/R550、三角植被指数 TVI 等。将这些光谱特征变量与植物样本的鲜重、干重进行相关分析(表 1),发现光谱特征单变量与植被鲜重的相关性远高于与干重的相关性。另外,在这些光谱特征变量中,与植被鲜重相关性最高的是 R752/R548 植被指数,相关系数达 0.88;与植被干重相关性最高的是差值植被指数  $DVI_{[752,640]}$ ,但相关系数仅为 0.42。

表 1 生物量与特征单变量相关系数  
Table 1 The correlation coefficients between biomass and spectral characteristic parameters

基于单变量的光谱特征变量	与鲜重的相关系数	与干重的相关系数
$RVI_{[905,681]}$	0.80 **	- 0.13
$RVI_{[844,660]}$	0.85 **	- 0.19
$RVI_{[752,640]}$	0.85 **	- 0.17
$NDVI_{[905,681]}$	0.72 *	- 0.037
$NDVI_{[844,660]}$	0.74 *	- 0.059
$NDVI_{[752,640]}$	0.76 *	- 0.057
$RDVI_{[905,681]}$	0.67 *	0.02
$RDVI_{[844,660]}$	0.63 *	0.04
$RDVI_{[752,640]}$	0.45	0.27
$DVI_{[905,681]}$	0.49	0.08
$DVI_{[844,660]}$	0.43	0.12
$DVI_{[752,640]}$	0.17	0.42 *
$TVI_{[905,681]}$	0.48	0.11
$TVI_{[844,660]}$	0.47	0.11
$TVI_{[752,640]}$	0.19	0.38 *
R752/R548	0.88 **	- 0.15
R752/R701	0.84 **	- 0.15

注: \* 表示显著水平为 0.05, \*\* 表示显著水平为 0.01。

2.1.2 植被叶绿素浓度与冠层反射光谱的相关分析 本文基于植被冠层反射光谱,利用四点内插法提取各植物样本的红边位置 REP,并选取典型植被指数叶绿素吸收比值指数(CARI)、 $Datt(1)$ 和 $Datt(2)$ 、特殊色素简单比值指数(PSSR)、特殊色素归一化指数(PSND)、一阶导数绿色植被指数(1DZ\_DGVI)和二阶导数绿色植被指数(2DZ\_DGVI)作为光谱特征变量。计算红边位置时,参数  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  和  $\lambda_4$  分别为 670 nm、700 nm、740 nm 和 780 nm,红边参数 REP 计算结果如表 2 所示,不同类型的植被红边位置主要分布在 714.9206~ 720.6486,最大差异为 5.728。将计算出的植物样本的红边位置及植被指数与对应样本的 SPAD 值进行相关分析(表 3),发现红边位置与叶绿素浓度 SPAD 值在 0.05 显著水平上高度相关,相关系数为 0.433,植被指数中仅有  $Datt(1)$  和  $Datt(2)$  与叶绿素浓度 SPAD 值在 0.05 显著水平上高度相关,相关系数分别为 0.871 和 0.868,其他植被指数与叶绿素浓度 SPAD 值相关性不显著。

表 2 利用四点内插法提取红边参数 REP 结果统计  
Table 2 The REP results extracted by linear four point interpolation technique

植被类型	臭椿	荆条	荆条	构树	山杏	核桃	荆条	荆条	山杏	荆条
REP	716.2162	717.764	718.3626	719.2661	720.3306	720.6486	716.6667	714.9206	718.4397	715.567
植被类型	荆条	山杏	荆条	山杏	黄栌	荆条	河蒲公英	扁担杆	荆条	榆树
REP	713.8298	720.00	717.6384	717.8549	719.20	716.4667	717.3006	719.1429	718.2653	718.7755
植被类型	臭椿	核桃	臭椿	荆条	雀儿舌头	杠柳	荆条	榆树		
REP	720.6472	720.3759	717.2062	719.2653	719.1826	720.0491	718.4828	719.8104		

表 3 光谱特征变量与植物样本叶绿素浓度的相关性  
Table 3 The correlation between vegetation SPAD and spectral characteristics variables

光谱特征变量	红边位置	CARI	Datt(1)	Datt(2)	PSSRa	PSSRb	PSNDa	PSNDb	1DZ-DGVI	2DZ-DGVI
相关系数	0.433 *	- 0.358	0.871 **	0.868 **	0.093	0.391	- 0.067	0.384	0.130	0.269

注: \* 表示显著水平为 0.05, \*\* 表示显著水平为 0.01。

### 2.2 植物物化参数高光谱遥感估算模型构建

2.2.1 植物鲜重高光谱遥感估算 根据相关系数进行变量的选择和剔除, 从而实现数据的提炼与压缩, 并判断出最适合的基于单变量的矿区植被生物量高光谱遥感估算模型。植被指数  $R752/R548$  与矿区植物鲜重的估算散点图如图 1 所示, 可以看出利用三次函数能较好地估算矿区植物鲜重。基于植被指数  $R752/R548$  反演植物鲜重的高光谱遥感模型如式 (1)、式 (2) 所示, 模型精度  $R^2$  高达 0.883。

$$y = 0.818x^3 - 3.679x^2 + 26.530 \quad (1)$$

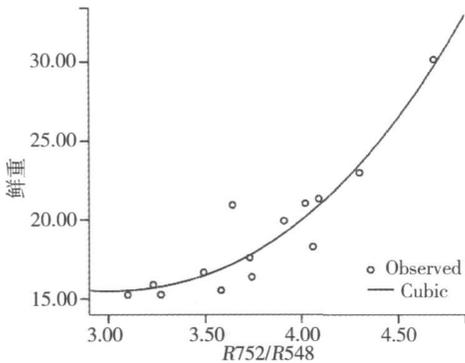


图 1  $R752/R548$  与植物鲜重的遥感估算散点图  
Fig. 1 Scatter plot for  $R752/R548$  and fresh weight

2.2.2 植物叶绿素浓度高光谱遥感估算模型的构建 本文基于野外实测植物的反射光谱数据, 以红边位置  $REP$  为自变量, 叶绿素浓度  $SPAD$  值为应变量, 进行指数模拟, 得到矿区植物叶绿素浓度高光谱遥感估算模型:

$$y = 1.798E-27e^{0.091x} \quad (5)$$

$$R^2 = 0.814$$

以  $REP$  为自变量、 $SPAD$  值为应变量, 构建散点图 (图 3), 可以看出: 红边参数与叶绿素浓度之间存在很强的相关性, 模型估算精度较高。

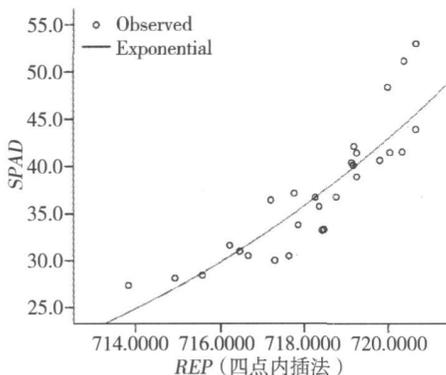


图 3 以四点内插法提取  $REP$  与叶绿素浓度模拟  
Fig 3 Estimation for  $REP$  and  $SPAD$  by four points interpolation method

$$R^2 = 0.883 \quad (2)$$

建立的植被指数  $DVI_{[752, 640]}$  与植被干重线性回归散点图如图 2 所示, 可以看出, 应用植被指数  $DVI_{[752, 640]}$  估算植被干重精度不高。基于植被指数  $DVI_{[752, 640]}$  的植被干重高光谱遥感模型是:

$$y = 24.285x + 1.099 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.177 \quad (4)$$

由以上两个估算模型可知, 利用光谱特征参数  $R752/R548$  通过三阶多项式匹配法反演矿区植被鲜重完全可行, 但是利用植被指数  $DVI_{[752, 640]}$  估算植被干重时, 估算模型多重判定系数  $R^2$  较低。

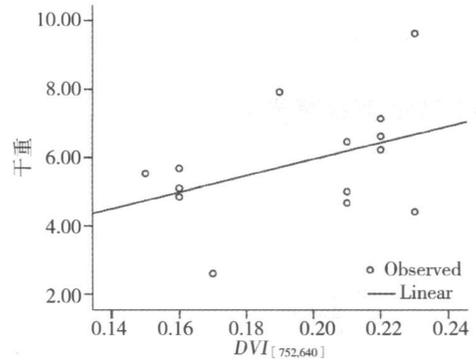


图 2 植被指数  $DVI_{[752, 640]}$  与植被干重的线性回归  
Fig. 2 The scatter plot for  $DVI_{[752, 640]}$  and dry weight

$Datt(1)$  植被指数与叶绿素浓度构成的散点图如图 4 所示, 以  $Datt(1)$  为自变量, 以植物样本实测叶绿素浓度值为应变量, 构建基于  $Datt(1)$  的植被叶绿素浓度高光谱遥感估算模型为:

$$y = 6.735e^{2.615x} \quad (6)$$

$$R^2 = 0.805$$

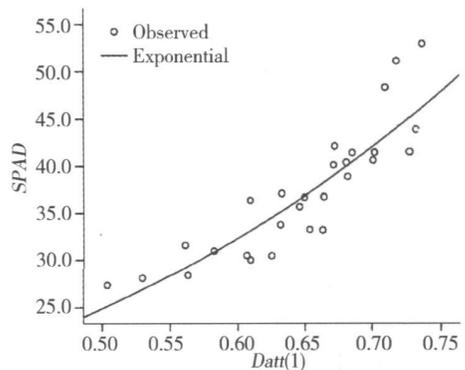


图 4 植被指数  $Datt(1)$  与叶绿素浓度模拟  
Fig 4 The simulation of  $Datt(1)$  and  $SPAD$

$Datt(2)$  植被指数与叶绿素浓度构成的散点图如图 5 所示, 并以  $Datt(2)$  为自变量, 以植物样本实测叶绿素浓度值为应变量, 构建基于  $Datt(2)$  的植被叶绿素浓度高光谱遥感估算模型为:

$$y = 11.638e^{0.461x} \quad (7)$$

$$R^2 = 0.781$$

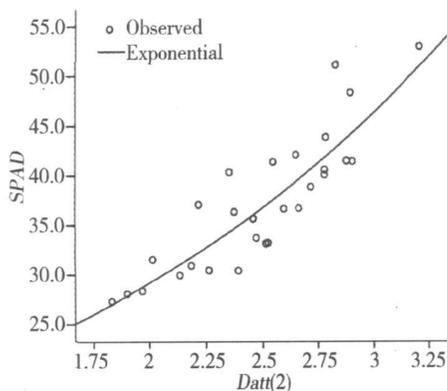


图5 植被指数  $Datt(2)$  与叶绿素浓度模拟  
Fig.5 The simulation of  $Datt(2)$  and SPAD

### 3 结论

为实现门头沟区由资源型向生态型功能转变,完成受损矿区生态环境下植物群落的快速有序演替,基于 Hyperion 遥感数据,应用三次函数模拟、直线回归、指数模拟和红边参数法构建矿区植物鲜重和叶绿素浓度的遥感估算模型。与植物鲜重相关性最高的是  $R752/R548$  植被指数,该植被指数反演植物鲜重的高光谱遥感模型精度较高,  $R^2$  高达 0.883。植被指数  $DVI_{[752,640]}$  与植被干重建的线性回归模型精度较低,  $R^2$  为 0.177。利用四点内插法构建的植物叶绿素浓度 (SPAD) 高光谱遥感估算模型精度较高,  $R^2$  达 0.814。 $Datt(1)$  和  $Datt(2)$  植被指数与叶绿素浓度 SPAD 值存在显著相关性,应用指数法构建的模型精度较高,  $R^2$  分别为 0.805 和

0.781。以上表明:利用高光谱遥感技术可有效地检测矿区植被重要物化参数,但模型构建过程中由于植物样本数偏少,模型验证需要进一步研究。

胡振琪教授给予本研究数据支持和帮助,康惊涛博士、李海霞硕士进行了化学测试,此致谢忱!

#### 参考文献:

- [1] 张杰林,曹代勇.高光谱遥感技术在煤矿区环境监测中的应用[J].自然灾害学报,2005,14(4):158-162.
- [2] 迟光宇,刘新会,刘素红,等.环境污染监测中的植物光谱效应研究[J].环境科学与技术,2005,28(增刊):16-19.
- [3] MARS J C, JAMES K. Crowley, mapping mine wastes and analyzing areas affected by selenium rich water runoff in southeast Idaho using AVIRIS imagery and digital elevation data[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 422-436.
- [4] SMITH K L, STEVEN M D, COLLS J J. Use of hyperspectral derivative ratios in the red edge region to identify plant stress response to gas leaks[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 92: 207-217.
- [5] 甘甫平,刘圣伟,周强.德兴铜矿矿山污染高光谱遥感直接识别研究[J].中国地质大学学报(地球科学版),2004,29(1):119-126.
- [6] 卢霞,刘少峰,郑礼全.矿区植物重金属胁迫高光谱分辨率数据分析[J].测绘科学,2007,32(2):111-113.
- [7] LU X, HU Z Q, GUO L. Quantitative inverse modeling of nitrogen content from hyperion data under stress of exhausted coal mining sites[J]. Mining Science and Technology, 2009, 19(1): 31-35.

## Quantitative Estimation of Biophysical and Biochemical Parameters under Damaged Ecological Environment in Mining Area

LU Xia

( Marine Technology Department, School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** In order to testify the availability of estimation of biophysical and biochemical parameters of vegetation by using hyperspectral remote sensing, biomass and chlorophyll concentration were estimated effectively by using index method, linear regression, and red edge method. Research results showed that there was the highest correlation between vegetation index  $R752/R548$  and pixel spectra extracted from Hyperion data, the  $R$  was 0.88; fresh weight estimation model by cubic function method was established and the precision was very high and the  $R^2$  could achieve 0.883. There was the highest correlation between vegetation index  $DVI_{[752,640]}$  and dry weight, coefficient  $R$  was 0.42; dry weight estimation model by linear regression method was established and the precision was very low and the  $R^2$  could achieve 0.177. The correlation between chlorophyll concentration and red edge position extracted by four point interpolation method was very high and the coefficient  $R$  was 0.433, while the  $R$  between  $Datt(1)$  and  $Datt(2)$  and chlorophyll concentration were 0.871 and 0.868 respectively. The estimation models of chlorophyll concentration based on red edge,  $Datt(1)$ , and  $Datt(2)$  were constructed and the  $R^2$  were 0.814, 0.805, and 0.781. To sum up, it is feasible to quantitatively monitor the grow status by hyperspectral remote sensing and also provides plants restoration engineer with valuable materials.

**Key words:** damaged ecological environment; hyperspectral remote sensing; biophysical and biochemical parameter; estimation model