

文章编号: 1672-8785(2013)08-0030-05

重庆万盛采矿区内主要农作物的光谱测量和分析

简 季¹ 宋 练^{1*} 谢洪斌^{2,3} 罗真富^{2,3} 谭德军^{2,3} 高 波¹

(1. 成都理工大学地学空间信息技术国土资源部重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 重庆地质矿产研究院外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆 400042;

3. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042)

摘 要: 矿山开采中产生的固体废弃物和废液会使矿区土壤中富集重金属元素, 进而影响矿区内的农作物生长。选择重庆市万盛区矿区作为研究区, 采集红薯和南瓜的实测高光谱数据和土壤样本的重金属含量数据。通过对土壤重金属含量和农作物的红边位置偏移进行相关分析, 发现不同土壤重金属含量对研究区内主要农作物的影响是不同的。可以看出, 在研究区内的两种主要农作物中, 红薯对矿区土壤中的重金属 Cr、Mn 和 Cd 比较敏感, 而南瓜则对以上三种土壤重金属具有一定的吸收和抵抗作用。该结果可以为万盛区矿区内农作物种植的选择提供理论依据。

关键词: 矿区; 土壤重金属; 实测高光谱数据; 植被红边位置

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.08.007

Spectral Measurement and Analysis of Crops in Mining Area of Wansheng District in Chongqing

JIAN Ji¹, SONG Lian^{1*}, XIE Hong-bing^{2,3}, LUO Zhen-fu^{2,3}, TAN De-jun^{2,3}, GAO Bo¹

(1. Key Laboratory of Geoscience Spatial Information Technology, Ministry of Land and Resources of the P.R.China, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 3. Chongqing Research Center of State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Chongqing 400042, China)

Abstract: The solid waste and liquid generated in mining may leave heavy metal elements in soil and hence affect the growth of the crops in the mining area. By selecting Wansheng District in Chongqing as a research area, the measured hyperspectral data of sweet potato and pumpkin and the heavy metal content in the soil samples are collected. By analyzing the correlation of the heavy metal content in the soil with the red edge position of the crops, it is found that different heavy metal content in the soil has different effects on the main crops in the research area. The result shows that in the two main crops, the sweet potato is more sensitive to the heavy metal elements such as Cr, Mn and Cd while the pumpkin

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071265); 国家自然科学基金项目 (41201440); 教育部博士点基金项目 (20105122110006); 重庆市国土资源和房屋管理局科技计划项目 (CIGMR1103); 四川省教育厅自然科学基金青年项目 (07ZB121)

作者简介: 简季 (1972-), 男, 四川资中人, 教授, 主要从事高光谱遥感和地理信息工程方面的研究。

E-mail: jianji@21cn.com

*** 通讯作者:** 宋练 (1991-), 男, 江西抚州人, 硕士研究生, 主要从事高光谱遥感方面的研究。

E-mail: songlian1991@gmail.com

can absorb and counteract the above heavy metal elements in soil. This result can provide the theoretical basis for the selection of the crops to be planted in Wansheng District.

Key words: mining area; soil heavy metal; measured hyperspectral data; red edge position

0 引言

植被在地球表面类型中占有较大比重,并且是自然界中最为活跃的一种因子。植被变化在某种程度上能够反映出土壤、空气和水等组成成分的变化,因此被人们称为环境变化的综合指示器^[1]。在对矿山尤其是一些铅锌和含硫多金属矿床进行开采时,会产生很多粉尘、固体废弃物、废液和废气,从而对周边环境尤其是当地植被造成比较严重的影响。遥感技术的发展为人们宏观监测某地区植被、了解该地区植被与生态环境因子间的相互作用和影响机制提供了有利条件^[2]。很多学者采用多波段遥感数据(如陆地卫星和 SPOT 卫星等)对植被进行了叶绿素、水分以及所受污染胁迫等方面的研究,并取得了很多成果^[3-5]。然而由于多波段遥感数据的光谱分辨率较低,对植被类型进行精细区分和对植被长势进行精确估计的效果较差^[6]。而高光谱遥感技术则为植被精细研究提供了可能。该技术可以在更宽的波段范围内对目标地物采集几百个连续窄波段的数据^[2],使研究人员能够对植被进行更加深入、细致的研究,从而发现一些使用多波段遥感技术时所不能挖掘的信息。在用高光谱影像对目标地物进行分析时,需要采用实测光谱仪器对其进行研究,获得目标物体的相关特征光谱,然后再进行相应的光谱分析及相关分析,从而得到植被的详细信息^[7-12]。

本文以重庆市万盛采矿区为研究区,在2012年8月采用 ASD Field Pro III 型便携式地物光谱仪对研究区内的主要农作物——南瓜叶和红薯叶进行了光谱采集和分析,得到了研究区内农作物受胁迫的信息。该研究为矿区的环境治理提供了参考信息,因此具有重要的实际意义。

1 研究区概况

万盛区位于重庆市的西南部,如图1所示。万盛区境内的矿产资源较为丰富,有煤、硫铁

矿、石灰岩、白云岩、皂石、石英砂、水泥粘土和耐火粘土等。区内岩石的开采给周围空气带来了较多粉尘,导致植被叶片表面上积累了较多粉尘,造成一些农作物长势较差。

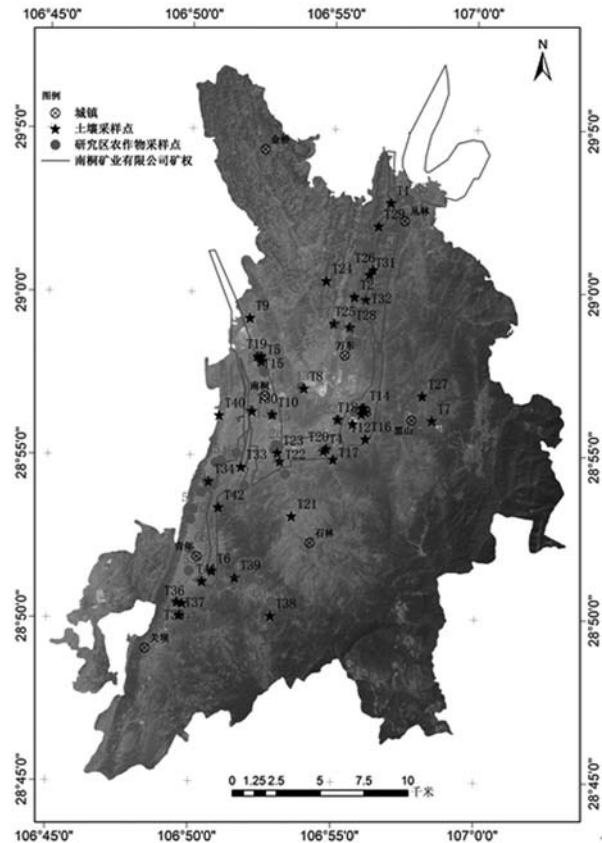


图1 研究区的位置及采样点的分布图

2 研究方法

2.1 光谱数据采集

用美国 ASD 公司生产的 Field Pro III 型便携式地物光谱仪进行光谱采集^[13]。该光谱仪的波长范围为 350 ~ 2500 nm。其中, 350 ~ 1000 nm 波段的采样间隔为 1.4 nm, 光谱分辨率为 3 nm; 1000 ~ 2500 nm 波段的采样间隔为 2 nm, 光谱分辨率为 10 nm。为消除随机噪声的干扰,对每个植被样本的光谱数据均采集 3 次,最后将这三组光谱数据的平均值用于光谱分析。为了对植被的光谱分析结果进行验证,我们在采

集植被光谱时还采集了 36 组农作物附近的土壤样本,并用电感耦合等离子体质谱仪对这 36 组土壤样本的重金属含量进行了化学分析。

2.2 光谱数据处理与分析

很多研究人员都采用红边位置对植被光谱信息进行了研究。红边位置通常由一阶导数最大值的光谱位置确定^[2]。红边位置能够很好地反映植被的叶绿素含量。当植被的生长状态较好时,红边会发生右移(红移);当植被的生长状态较差时,红边会发生左移(蓝移)^[14-17]。杨燕等人通过主成分分析,用红边位置反演了水稻的叶面积指数,并取得了较好的效果^[12]。Smith K L 等人利用红边位置研究了受天然气泄漏胁迫的植被,使人们在植被表面显露出天然气污染特征之前就能发现植被受天然气污染的程度^[7]。为了从实测高光谱数据中得到植被的有效信息,本文先对所有光谱数据进行平滑处理,然后再采用一阶导数和光谱对数(Log(R))对原始光谱进行处理以消除背景噪声和突出光谱特征,最后采用红边位置偏移并结合相应采样点的土壤重金属含量对研究区内农作物的长势进行了分析。

3 研究结果

3.1 采样点的土壤重金属含量

表 1 列出了本文所选土壤样本的 Cr、Mn 和 Cd 含量数据。其中,7 个采样点均匀分布在研究区的不同矿区内。可以看出,不同矿区的土壤重金属含量相差较大,而且相同矿区的 3 种重金属含量之间也有较大差异,说明不同矿区土

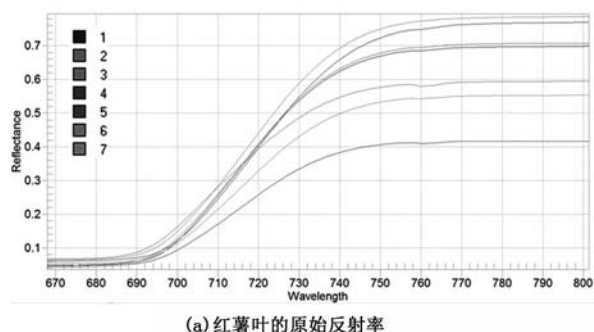
表 1 土壤样本的重金属含量(单位: mg/kg)

土壤采样点 / 农作物采样点	Cr	Mn	Cd
T1/1	154.0	630	1.740
T2/2	124.0	1053	0.632
T3/3	118.0	2335	0.426
T4/4	127.0	1301	0.684
T5/5	143.0	842	1.160
T6/6	138.0	1057	0.500
T7/7	102.8	268	0.240

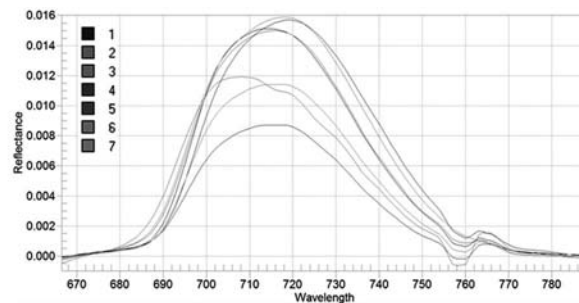
壤所受的重金属胁迫不同。

3.2 不同采样点上相同植被的光谱分析

图 2 为研究区内红薯叶样的原始光谱曲线图以及一阶导数光谱曲线图。其中,一阶导数光谱曲线的波峰为红薯叶红边的所在位置。可以看出,7 个采样点的红边位置从小到大依次为 3、1、2、4、5、6、7。结合 7 个采样点土壤中的 Cr 含量可以看出,随着土壤中 Cr 含量的增加,红边出现蓝移,说明红薯叶对土壤中的 Cr 元素比较敏感;而 T3/3 号土壤样点中的 Mn 含量是 T7/7 号土壤样点的 10 倍左右, T7/7 号样点中红薯叶的红边位置比 T3/3 号样点的红边位置大概红移了 10 nm。从整体上可以看出,随着土壤中 Mn 含量的增加,红薯叶的红边位置出现了蓝移, Mn 含量对红薯叶产生了一定的胁迫;对于土壤中的 Cd 元素含量,1 号采样点的最大,达到了 1.74 mg/kg;7 号土壤样本中的 Cd 含量最低,为 0.24 mg/kg。结合一阶导数光谱曲线图可以看出,1 号样本的红边位置为 714 nm,7 号



(a) 红薯叶的原始反射率



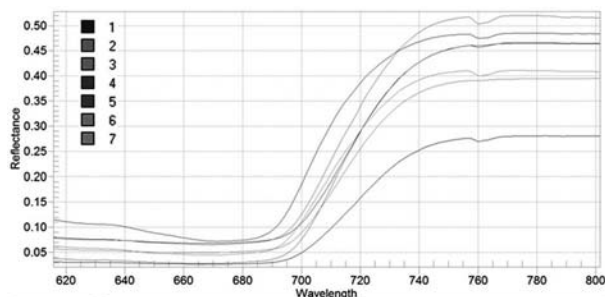
(b) 红薯叶的一阶反射率

图 2 红薯叶的红边位置图

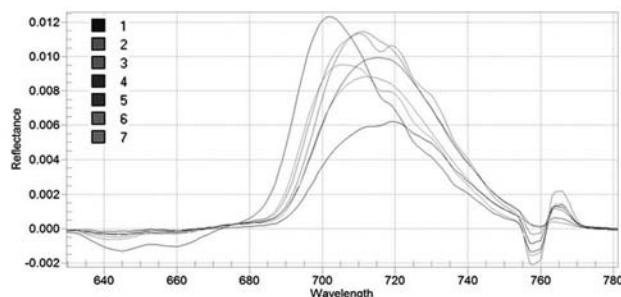
样本的红边位置为 720 nm, 说明土壤中的 Cd 也抑制了红薯的生长。从 3 种重金属含量及相应的红边位置变化对比中可以看出, 红薯对土壤中的 Mn 含量最为敏感。

图 3 为研究区内南瓜叶样的原始光谱曲线图以及一阶导数光谱曲线图。可以看出, 7 个采样点的红边位置从小到大依次为 4、7、3、2、6、5、1。其中, 红边位置的最小值为 4 号点位的 702 nm, 最大值为 1 号点位的 719 nm。结合土壤中的 Cr 含量可以看出, Cr 含量与南瓜叶样本的红边位置之间呈现出正相关关系。例外的是, Cr 含量最小的 7 号南瓜叶样的红边位置值仅比 4 号样点的大了 4 nm, 说明当土壤

中含有一定量的 Cr 元素时, 对南瓜具有一定程度的促进作用。3 号和 4 号土壤样本中的 Mn 含量最大, 这两个样点上南瓜叶的红边位置值也相对较小。1 号和 5 号土壤样本中的 Mn 含量较低, 其南瓜叶的红边位置相对较大。但是 7 号土壤样本中的 Mn 含量最小, 其南瓜叶的红边位置值为 706 nm, 这有可能是因为当 Mn 元素在 300 mg/kg 左右到 700 mg/kg 左右时, 对南瓜叶的生长具有一定的促进作用。但是一旦土壤中的 Mn 元素超过某个数值, 反过来就会抑制南瓜的生长。结合土壤样本中的 Cd 元素含量可以看出, 与 Cr 元素相类似, 一定量的 Cd 元素对南瓜叶的生长具有一定的促进作用。



(a) 南瓜叶的原始反射率



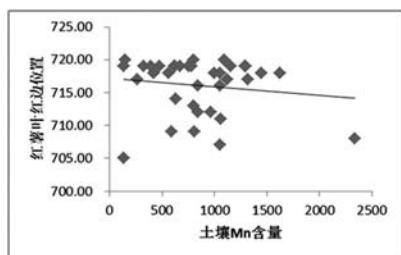
(b) 南瓜叶的一阶反射率

图 3 南瓜叶的红边位置图

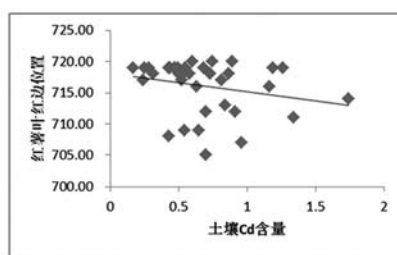
3.3 土壤重金属含量与植被红边位置分析

从上述分析中可以看出, 土壤中的重金属含量对植被具有一定的影响, 而且同种重金属对不同植被所产生的影响也不同。从图 4 所示的红薯叶红边位置与土壤中 3 种重金属含量的回归分析中可以看出, 红薯叶的红边位置会随着土壤中重金属含量的升高而整体出现蓝移,

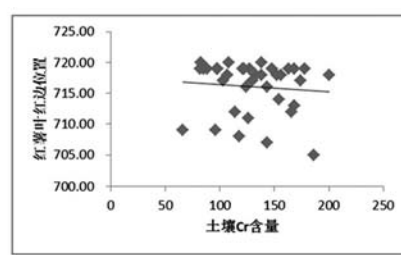
说明 Cr、Cd 和 Mn 这三种重金属对红薯都有一定的生长抑制作用。从图 5 所示的南瓜叶红边位置与 3 种重金属含量的回归分析中可以看出, 南瓜叶与红薯叶之间具有较大的差异, 南瓜叶红边位置的整体趋势是随着重金属含量的升高而出现红移, 说明南瓜对研究区土壤中含有的这三种重金属的抵抗性要优于红薯。



(a) 红薯叶的红边位置与土壤中 Mn 含量的趋势图



(b) 红薯叶的红边位置与土壤中 Cd 含量的趋势图



(c) 红薯叶的红边位置与土壤中 Cr 含量的趋势图

图 4 红薯红边位置与土壤重金属含量的趋势图

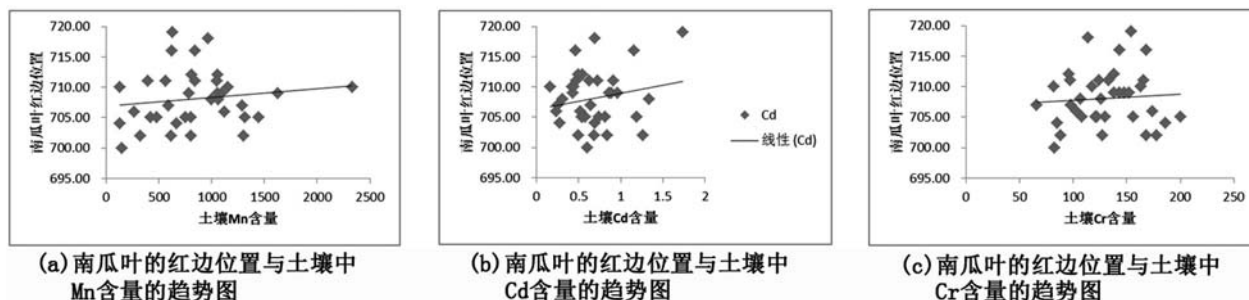


图 5 南瓜叶红边位置与土壤重金属含量的趋势图

4 结论及讨论

本文对重庆市万盛区矿区内的红薯和南瓜进行了光谱测定,并对其红边位置与土壤中的重金属含量进行了相应分析,得出了以下结论:

(1) 同一种植被对不同重金属所反映的胁迫程度均有所不同,因此植被可以用作对土壤重金属含量进行反演的一个很好的指标,从而为之后利用大面积高光谱遥感技术研究土壤重金属含量提供理论参考。

(2) 不同的植被对同种重金属的反映情况也有所不同。本文研究的红薯和南瓜对于 Cr、Mn 和 Cd 这三种重金属表现出了较大的差异。其中,红薯对于这三种重金属均呈现出长势随土壤重金属含量的升高而变差的整体趋势,而南瓜则呈现出相反的趋势,即其长势会随着土壤中重金属含量的升高而趋于变好。该结果可以为研究区内土壤重金属含量较高的地区在选择农作物时提供一些相关依据。

5 致谢

衷心感谢成都理工大学的潘佩芬博士和绵阳师范学院的胡运海教师在光谱采集与数据处理方面所做的工作。

参考文献

- [1] Sun H Y, Wang C Y, Niu Z. Analysis of the Vegetation Cover Change and the Relationship between NDVI and Environmental Factors by Using NOAA Time Series Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, **2**(3): 205–210.
- [2] Tong Q, Zhang B, Zheng L. Hyperspectral Remote Sensing [M]. Beijing: Higher Education, 2006.
- [3] Okin G S, Clarke K D, Lewis M M. Comparison of Methods for Estimation of Absolute Vegetation and Soil Fractional Cover Using MODIS Normalized BRDF-adjusted Reflectance Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, **130**: 266–279.
- [4] Knox N M, Skidmore A K, Van der Werff H M A, et al. Differentiation of Plant Age in Grasses Using Remote Sensing [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, **24**(1): 54–62.
- [5] Yang J, Weisberg P J, Bristow N A. Landsat Remote Sensing Approaches for Monitoring Long-term Tree Cover Dynamics in Semi-arid Woodlands: Comparison of Vegetation Indices and Spectral Mixture Analysis [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **119**(1): 62–71.
- [6] Lin C, Gong Z, Zhao W, et al. Identifying Typical Plant Ecological Types Based on Spectral Characteristic Variables: a Case Study in Wild Duck Lake Wetland, Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **25**(4): 1172–1185.
- [7] Prabhakar M, Prasad Y G, Thirupathi M, et al. Use of Ground Based Hyperspectral Remote Sensing for Detection of Stress in Cotton Caused by Leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, **79**(2): 189–198.
- [8] Li N, Lv J, Altermann W. Hyperspectral Remote Sensing in Monitoring the Vegetation Heavy Metal Pollution [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, **20**(9): 2508–2511.
- [9] Smith K L, Steven M D, Colls J J. Use of Hyperspectral Derivative Ratios in the Red-edge Region to Identify Plant Stress Responses to Gas Leaks [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, **92**(2): 207–217.
- [10] Song X, Jiang H, Yu S Q, et al. Relationship between Chlorophyll Concentrations and Spectral Reflectance Feature of the Typical Evergreen Hardwood Species in Subtropical Region of China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **30**(5): 1959–1963.

(下转第 39 页)