

# 青海高寒区土壤光谱特性研究

孙宁,常庆瑞

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨凌712100)

**摘要:**以青海高寒区4种主要土壤类型为观测对象,利用ASD手持式波谱辐射仪测定其土壤剖面光谱反射率,结合土壤有机质和氧化铁含量进行统计分析。结果表明:4种类型土壤的光谱反射率表现为流动风沙土>半固定风沙土>淡栗钙土>暗栗钙土;土壤有机质含量与光谱反射率在375 nm波段、575 nm波段和775 nm波段附近有较好的负相关性;土壤反射率与氧化铁的负相关性在900 nm附近最强,有机质对土壤反射率的影响大于氧化铁。

**关键词:**光谱特性;土壤有机质;氧化铁;相关性

**中图分类号:** S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0080-04

土壤是维持地球表层生态系统生物量的基础资源,为地球上生物提供了生存环境。土壤遥感技术的引入,为土壤科学的研究开辟了新天地。土壤光谱特征的研究是土壤物理遥感的基础,并为土壤属性研究提供了新途径。目前,普遍认为土壤的有机质含量、含水量、氧化铁含量、机械组成、矿物成分、母质等是影响土壤光谱特性的主要理化性状。土壤有机质含量对土壤肥力有着非常重要的作用,是衡量土壤肥力的一个重要指标<sup>[1]</sup>。有机质会导致整个波段土壤反射率下降,当有机质含量>2%时,它所引起的土壤反射率的下降可能掩盖其它成分的光谱特征<sup>[2]</sup>;Galvao<sup>[3]</sup>发现有机质含量与反射率最强的相关总是出现在可见光部分;Henderson发现可见光、近红外波段是有机质分类最重要的波段<sup>[4]</sup>。O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、Ti等9种元素是土壤的主体元素,但在可见光及近红外波段具有光谱特征的仅有Fe<sup>[5]</sup>,氧化铁是土壤赋色的重要成分,也是可见光谱中最活跃的因素<sup>[6]</sup>。目前关于土壤有机质和氧化铁含量分别对土壤光谱特征的影响研究较多,因此有机质和氧化铁共同影响下土壤的光谱特征的变化规律是本论文的研究重点。

高寒地区在我国占有近1/4的国土面积,对该地区土壤资源进行研究具有十分重要的理论和实践意义。本研究通过对不同土壤类型反射光谱和土壤有机质、氧化铁的分析测试,研究区域主要土壤类型的光谱特征,并结合土壤的有机质含量和氧化铁含量,探讨土壤的光谱变量与土壤有机质和氧化铁之间的相关性,评价高光谱遥感在可见光和近红外光谱段的应用潜力。

## 1 材料与方法

### 1.1 土样采集

供试土壤分别采自青海省的青海湖和沙珠玉地区,共8个剖面,土壤各剖面均按发生层次进行划分。实地调查记载剖面形态特征和成土环境条件,同时分层采集比样标本和分析样本。样品在实验室经自然风干,木棒压磨后去除沙砾及植物残体,然后过2mm尼龙筛混合均匀,共制备33个土样用于光谱测定和土壤理化性质测试。

### 1.2 分析测试及数据预处理

土壤样品的有机质和氧化铁测定用常规方法进行,结果见表1(表中的百分数为植被覆盖度)。

反射光谱测定采用ASD(Analytical Spectral Device)公司的手持式光谱辐射计(Hand hold spectroradiometer),该仪器的光谱范围为325~1 075 nm,共有512个通道。光谱分辨率约为3 nm,光谱采样间隔是1.6 nm,波长精度1 nm。实验是在室内1 000 W卤素灯光照条件下,采用7.5°视场角探头,距土壤样品45 cm处垂直角度进行光谱采集,光源角度为30°,测量时间范围为上午11:00~12:00。为减小测量误差,每一样品重复测定10次,平均后得到该土壤反射光谱数据。

## 2 结果与分析

土壤的反射波谱特性是有机质含量、土壤质地、土壤含水量、氧化铁含量、土壤盐分、矿物成分等各种因素综合作用的结果,反映到某类土壤上,表现为一种光谱曲线。而本次研究在测量光谱时,使用的

收稿日期:2010-04-01

基金项目:国家自然科学基金(30872073);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B0603)

作者简介:孙宁(1985—),女,陕西咸阳人,在读硕士,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: snow - sn1013@163.com。

通讯作者:常庆瑞(1959—),陕西西洲人,教授,博士生导师,主要从事资源环境与3S技术应用研究。

表 1 供试土壤成土环境及有机质和氧化铁含量

Table 1 Soil-forming environment, organic matter and ferric oxide content of chestnut soil

点号 No.	采样深度(cm) Depth	有机质含量(g/kg) Organic matter	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	植被状况 Vegetation	土壤类型 Soil type
Q1	0~10	0.25	14.66	无 None	流动风沙土 Flowing aeolian sandy soil
	10~20	0.41	13.05		
	20~40	0.36	10.23		
Q2	0~6	0.67	9.27	柠条、沙米 <i>Caragana korshinskii</i> and <i>Agriophyllum squarrosum</i> (10%)	半固定风沙土 Semifixed aeolian sandy soil
	6~15	0.32	9.93		
	15~40	0.31	10.83		
	40~100	0.34	13.83		
Q3	0~15	32.2	42.87	草地 Grassland	暗栗钙土 Dark chestnut soil
	15~30	16.75	38.62		
	30~45	4.12	36.38		
Q4	0~20	28.49	55.86	草地 Grassland	暗栗钙土 Dark chestnut soil
	20~40	17.61	52.93		
	40~80	12.42	51.04		
Q5	80~120	5.60	44.66	草地 Grassland > 90%	暗栗钙土 Dark chestnut soil
	0~20	60.53	52.83		
	20~50	34.05	55.70		
	50~115	31.57	51.37		
Q6	115~130	3.05	43.85	草地 Grassland > 90%	暗栗钙土 Dark chestnut soil
	130~200	5.63	47.41		
	0~20	35.22	49.71		
Q7	20~45	21.90	46.72	草地 Grassland	暗栗钙土 Dark chestnut soil
	45~100	10.06	51.20		
	0~15	7.84	44.49		
Q8	15~25	3.31	35.34	乌柳、赖草 <i>Salix cheilophila</i> and <i>Gramineae</i> > 80%	淡栗钙土 Light chestnut soil
	25~50	3.25	36.53		
	50~73	4.08	35.27		
	73~100	0.60	30.4		
Q8	0~22	6.20	33.25	小麦、油菜 Wheat and rape > 80%	淡栗钙土 Light chestnut soil
	22~32	4.51	48.30		
	32~45	12.27	59.28		
	45~60	9.57	56.95		
	60~100	9.49	52.83		

是同一粒径土壤,不含可溶盐分,且均为风干土,波长范围在 350~1 075 nm 之间。所以,土壤水分、质地、矿物和盐分等对测得的光谱波形的影响不大,初步认为土壤有机质和氧化铁矿物是影响土壤光谱特征的主要因素。

### 2.1 土壤反射光谱总体特征分析

研究选取 4 种土壤类型表层土壤反射率绘制波谱曲线(如图 1 所示)。由图 1 可以看出,供试土壤有较为一致的反射光谱曲线。在可见光的短波段

反射率很低,都在 0.1 以下;随着波长增大,反射能力逐渐增强,红光波段发射率基本都在 0.2 以上;到了红外波段,发射率更是超过 0.3,反射光谱曲线表现为波长的单调上升曲线。不同土壤类型之间反射光谱特性表现出明显差异,风沙土的反射能力明显强于栗钙土,尤其在红外波段。其中流动风沙土和半固定风沙土的反射光谱曲线有极为相似的变化趋势,350~550 nm 处曲线急剧上升,750 nm 和 950 nm 附近出现小的峰值;在所有测定波长范围,流动风沙

土的反射率都大于半固定风沙土,400~600 nm 两者差异最大。暗栗钙土和淡栗钙土的反射光谱曲线有较大差异,波长小于 560 nm 的短波波段,淡栗钙土的反射状况与风沙土相似;此后随着波长加大,反射率有小幅度增加,950 nm 以后两种栗钙土的反射率差异变小。暗栗钙土的反射能力是供试土壤中最底的,与其它土壤类型的差异非常明显,特别是在可见光波段反射能力很弱,反射率不超过 0.1。

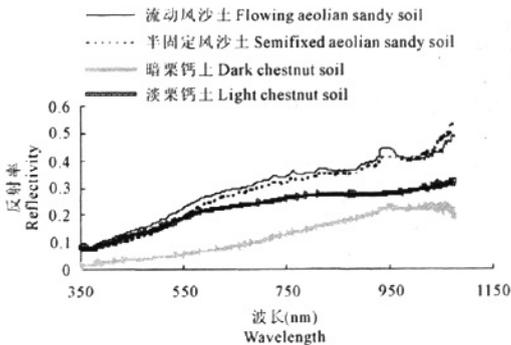


图 1 不同土壤类型表层反射光谱曲线

Fig.1 Spectral curves of top soil for different samples

## 2.2 反射率在各个波长上的方差分析

为了讨论有机质含量和氧化铁矿物与反射率的关系,首先要了解它们在各个波长上产生综合影响的大体趋势,于是计算了土壤反射率在各个波长上的方差(见图 2)。计算得出的方差主要反映出影响土壤反射率的两个主要因素(有机质和氧化铁)对光谱曲线的影响情况,在方差分析中,方差越大,对有机质和氧化铁矿物在土壤光谱中的差异贡献越大。由方差曲线可见,在 350 nm 波段,方差最小,而后随着波长的增加,方差逐渐增大,在 580 nm 附近达到较大值,直到 800 nm 保持在较高水平;但在 820~1 020 nm 之间略有降低,1 030 nm 以上明显升高。说明有机质和氧化铁矿物对光谱变化的影响随波长增加越来越强,有机质和氧化铁矿物引起土壤反射率差异在可见光的短波波段较小,在可见光的较长波段和近红外波段较为明显,该波段是有机质和氧化铁矿物对光谱的敏感波段。

由于 690~930 nm 波段是铁的氧化矿物对光谱的主要吸收区<sup>[7]</sup>,因此该波段是有机质和氧化铁对土壤反射光谱影响的复合区,受有机质和氧化铁的差异而产生复杂的波形差异;在 840~930 nm 所表现出的峰谷吸收结构主要是残余在土壤中的少量水分以及空气中的水汽吸收引起的。

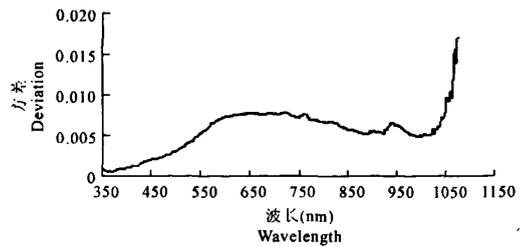


图 2 反射率在各个波长上的方差

Fig.2 Deviation of reflectivity in different wavelength

## 2.3 土壤有机质、氧化铁含量与反射率的相关分析

在光谱波形分析和波长方差分析的基础上,为了找出光谱与土壤有机质和氧化铁含量的关联,将光谱变量与各土样各土层有机质含量和氧化铁含量进行相关分析。选取 375、475、575、675、775、875、975 nm 特征波段,相关系数见表 2。相关性分析过程中,有机质含量和氧化铁含量与反射率的相关系数的显著性水平远远小于 0.01,表明有机质含量和氧化铁含量均与反射率呈极显著相关关系。

表 2 反射率与有机质和氧化铁含量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of soil reflectivity and organic matter and ferric oxide of chestnut soil

波长 (nm) Band	相关系数 Correlation coefficient	
	有机质 Organic matter	氧化铁 Ferric oxide
375	-0.838	-0.384
475	-0.799	-0.343
575	-0.825	-0.399
675	-0.830	-0.438
775	-0.803	-0.438
875	-0.754	-0.454
975	-0.720	-0.581

由表中可以发现相关系数变化特征与前面的波形分析和方差分析具有较好的一致性。土壤有机质和氧化铁与反射率在可见光和近红外波段均呈负相关,在 375、575、775 nm 波段附近,有机质与反射率负相关性较高。从光谱波形分析知道,这 3 个波段正好位于土壤光谱的紫外波段、可见光波段和近红外波段。氧化铁负相关性在 875、975 nm 处较强,分别为 -0.454, -0.581。由此可见,氧化铁在 900 nm 附近负相关性最强,与前人研究结果一致<sup>[8]</sup>,因此可以根据三价铁离子在 900 nm 附近的吸收带可以判定土壤中是否存在氧化铁。表 2 显示,土壤有机质对反射率的影响远大于氧化铁对反射率的影响,因此在有机质和氧化铁的复合波段,有机质对土壤氧

化铁的光谱特性有明显的干扰作用,有机质含量高可掩盖或减弱土壤氧化铁的光谱特性<sup>[9,10]</sup>。

### 3 结论与讨论

1) 不同土壤类型波谱特性存在显著差异,光谱反射率在测试波长范围内:流动风沙土 > 半固定风沙土 > 淡栗钙土 > 暗栗钙土,其中暗栗钙土在所有波段与其它土壤类型差异均较大,淡栗钙土与风沙土的差异红外波段最大,两类风沙土的敏感区分波段为 400 ~ 600 nm。

2) 在可见光和近红外波段,土壤有机质和氧化铁含量是影响土壤反射能力的主要因素,且与光谱反射率呈显著负相关关系。其中土壤有机质与反射率在紫光波段的 375 nm、绿光波段的 575 nm 和近红外波段的 775 nm 波段附近有较好的负相关性;氧化铁与反射率的负相关性在 875、975 nm 波段处较强。

本论文在前人研究的基础上,研究了有机质和氧化铁共同影响下土壤波谱特征的变化特征,由此可得,应用遥感技术进行土壤类型的分析解译是完全可行的,通过光谱数据对土壤有机质和氧化铁含量进行定量反演模拟存在一定可能性。由于本次研究受技术和设备的限制,实验所产生的误差可能还比较大,在实际应用中,可以通过扩大土壤采集的样本空间和光谱测量的波长范围;使用更先进的实

验技术和设备提高光谱仪分辨率减少实验误差。

#### 参考文献:

- [1] 沙晋明,陈鹏程,陈松林.土壤有机质光谱响应特性研究[J].水土保持研究,2003,10(2):21—25.
- [2] Baumgardner M F, Kristof S, Johannsen C J, et al. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils[J]. Proc Indiana A cad Sci, 1970, 79:413—422.
- [3] Galvao L S, Vitorello I. Role of Organic Matter in Obliterating the Effects of Iron on Spectral Reflectance and Colour of Brazilian Tropical Soils[J]. Int J Remote Sens, 1998, 19:1969—1979.
- [4] Henderson T L, Szilagyi A, Baumgardner M F, et al. Spectral Band Selection for Classification of Soil Organic Matter Content[J]. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53:1778—1784.
- [5] 吴昀昭,田庆久,季峻峰,等.土壤光学遥感的理论、方法及应用[J].遥感信息,2003,(1):40—47.
- [6] 何挺,王静,程焯,等.土壤氧化铁光谱特征研究[J].地理与地理信息科学,2006,22(2):30—34.
- [7] 刘庆生,王志刚,荆林海.岩石实验室光谱对应分析[J].遥感学报,2001,5(2):153.
- [8] HUNT G R. Near-infrared(1.3 ~ 2.4 μm) spectral of alteration minerals-potential for use in remote sensing[J]. Geophysics, 1979, 44(12):1974—1986.
- [9] 徐彬彬,戴昌达.新疆土壤光谱反射特性与有机质含量的相关分析[J].科学通报,1980,(6):282—284.
- [10] 朱永豪,邓仁达,卢亚非,等.不同湿度条件黄棕壤光谱反射率的变化特征及其遥感意义[J].土壤学报,1984,21(4):194—202.

## Spectral characteristics of soil in alpine areas of Qinghai

SUN Ning, CHANG Qing-ru

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The reflectivity of four kinds of soil samples in Qinghai alpine area was measured by ASD Hand Hold Spectroradiometer. The statistical analysis was made with organic matter content and ferric oxide content. The results show that the reflectivity of flowing aeolian sandy soil is greater than that of semifixed aeolian sandy soil, light chestnut soil and dark chestnut soil, and the content of organic matter is strongly correlative with absorption features of soil spectrum around 375 nm, 575 nm and 775 nm; Ferric oxide has a negative correlation with soil reflectance around 900 nm; The organic matter content has greater impact on soil reflectivity than ferric oxide.

**Keywords:** soil reflectance; soil organic matter; ferric oxide; correlation