

土壤有机质光谱响应特性研究

沙晋明, 陈鹏程, 陈松林

(成都理工大学遥感所, 成都 610059)

摘要: 土壤有机质光谱响应特性研究是光学遥感定量化的基础性研究。研究利用 V F991 地物光谱测量仪对八个不同环境条件下形成的土壤样本剖面上的各个土层进行光谱测量, 得到各个土层的反射率光谱曲线, 并测出各个土层的有机质含量。通过研究土壤的有机质含量与土壤反射光谱间的相关性分析, 发现有机质含量与土壤光谱在紫外区的 376 795 nm 波段、可见光区的 616 506 nm 波段和近红外区的 724 0975 nm 波段附近有较好的负相关性。

关键词: 土壤光谱; 土壤有机质; 土壤有机碳; 特征吸收; 光谱响应

中图分类号: S153 621

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)02-0021-04

Characteristics Analysis of Soil Spectrum Response Resulted From Organic Material

SHA Jin-ming, CHEN Peng-cheng, CHEN Song-lin

(Institute of Remote Sensing, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: This study presents a characteristics analysis to the response of soil spectrum result from organic material. Eight kinds of soil samples were collected including variations in conditions. The reflectivity spectral line of each soil layer in soil samples were measured with the V F991 Ground-body Spectrograph in the 372 1 nm ~ 1059 75 nm range with approximately 1.35nm, and the content of organic material of each soil layer were measured using Qiu-ling technique. The study for soil spectrum and spectral characteristics is one of important basic methods in quantitative remote sensing. Spectrum data and the content of organic material are firstly analyzed using different techniques, and in the end the relationship was studied between the content of organic material and soil spectrum. Result shows that the content of organic material is strongly correlative with absorption features of soil spectrum in ultraviolet wave band (around 376 795 nm), visible radiation wave band (around 616 506 nm), and infra-red wave band (around 724 0975 nm).

Key words: soil spectrum; organic material of soil; organic charcoal of soil; characteristic absorption; spectrum response

1 引言

土壤是由矿物质、有机质、水分、空气等物质组成, 它们之间是相联系、相互转化、相互作用的有机整体。土壤有机质是土壤重要的组成物质。它虽然含量很少, 但对土壤形成过程以及土壤的物理、化学、生物学等性质影响很大。土壤有机质是植物和微生物生命活动所需的养分和能量的源泉, 土壤有机质含有丰富的植物所需要的营养元素, 如碳、氢、氧、磷、硫、钾、钙等, 还含有多种微量元素, 通过不断分解供植物吸收利用。土壤有机质具有离子代换作用、络合作用和缓冲作用, 几乎对所有的土壤物理性质都有良好的影响。由此可见, 土壤有机质对土壤肥力有着非常重要的作用, 土壤的有机质含量是衡量土壤肥力的一个重要指标。不同的土壤类型有机

质含量有很大的差异, 高者可达 200 g/kg 以上, 低者在 5 g/kg 以下。因此探测土壤的有机质含量是了解土壤肥力的重要途径^[1]。国内外有很多学者利用遥感探测技术成功地估算、评价叶片和林冠层生化成分含量^[2]; 大气污染气体 NO₂ 的含量^[3]; 微量元素在植物光谱中的响应研究^[2]。

在自然条件下, 土壤有机质含量、质地、含水量、氧化铁含量、土壤盐分、矿物成分及母质等因素对土壤光谱的影响很难截然分开, 在自然条件下测定的是各种因素的综合光谱特征, 在实验室可以测定不同类型土壤在不同条件下的光谱特征, 单独测定某一个因素对光谱特征的影响^[4]。因而可以根据不同有机质含量的土壤在不同生成环境和不同响应波段的光谱特征进行对比分析, 用来判定土壤有机质含量的影

收稿日期: 2002-10-09

基金项目: 科技部国际科技合作项目“生态环境的遥感监测及规划建设”; 福建省教育厅项目“区域生态环境脆弱性遥感定量分析的研究”; 成都理工大学信息学资助。

作者简介: 沙晋明(1964-), 男, 成都理工大学信息学资助, 广东梅州人, 研究生导师, 博士, 从事资源遥感及信息技术。

响情况。

在前人工作的基础上,本研究利用实验室测量土壤样本各土层的光谱数据,并结合土壤的有机质含量,分析了土壤的原始光谱波形、光谱壳特征和土壤有机质含量与光谱的相关性,发现有机质在土壤光谱中有很好的光谱响应空间,探索了有机质光谱响应特性,讨论了有机质在几个主要波段上影响土壤反射率变化的特征,这可应用于对土壤有机质含量进行估算,为确定区域遥感土壤类型和土壤肥力等级和判读多光谱遥感图像提供某种依据。

2 数据的采集及预处理

数据的采集及预处理包括土壤光谱曲线和土壤有机质含量两个方面。

2 1 数据的采集

本研究选择 8 个土样(土壤性状信息请参见附表)作为研究的对象,选择的样区位于漳浦沿海一带,气候为半湿润、干湿季明显的南亚热带季风气候,样区干燥度在 1.1 与 1.3 之间,属半湿润地区。年平均气温 21℃,降水量为 900 mm 左右。降水的季节分布不均,干湿季节十分明显。表 1 是各土样的成土环境。

选择在天气晴朗的中午 11:00~12:00 期间,利用 VF991 地物光谱辐射计测量 8 个土样剖面上各个土层在 372.1~1 059.75 nm 波长范围的光谱,光谱分辨率约为 1.35 nm。

表 1 土样的成土环境

剖面号	海拔/m	地貌部位	母岩、母质	植被
F10	160	丘陵近顶部,坡度近 17°	红色致密状玄武岩坡残积物	次生疏林、草类
F11	100	低丘缓坡,坡度 10°	红色致密状玄武岩坡残积物	次生灌木、草类
F13	140	低丘顶部,坡度 20°	暗黑色气孔状玄武岩坡残积物	次生灌木、草类
F14	143	低丘鞍部	红色致密状玄武岩坡残积物	大豆、地瓜等旱作
F15	35	台地缓坡,坡度 5°	暗黑色气孔状玄武岩坡残积物	高粱、大豆等旱作
F16	76	低丘中部,坡度 5°	红色致密状玄武岩坡残积物	次生疏林
F17	137	低丘中部,坡度 15°	黑云母花岗岩坡残积物	次生疏林、草类
F18	104	低丘下部,坡度 12°	黑云母花岗岩坡残积物	次生疏林、草类

* 资料由黄金良提供。

为了减少误差,提高测量精度,必须对标准板光谱反射率 $\rho_s(\lambda)$ 的值进行修订,本次研究采用反射比因子(指定方向上的反射通量与该方向上理想朗伯体反射通量之比)测量方法修订,根据实际情况,漫反射标准参照板(28151-99-50)反射比因子数据取 15 的值进行修订。

同时,由于自然环境下的物体表面大多数不是完全漫反射面,因此它将受辐照条件、太阳高度角和观测角的影响,在实验过程中,选择最佳测量时段,在 11:00-12:00 期间能见度好,太阳光照强烈,太阳天顶角小于 50°;同时,尽量做到动

作规范,尽可能排除周围环境的干扰,探头尽量与土样表面垂直,即仪器观测角小于 30°;被测面不能有大于 30°的倾斜,仪器方位角应满足:

$$\varphi_+ - 45^\circ < \varphi_i < \varphi_+ + 135^\circ$$
$$\text{或 } \varphi_- - 45^\circ > \varphi_i > \varphi_- + 135^\circ$$

式中: φ_i ——太阳方位角, φ_r ——仪器方位角。

本次研究采用丘林法测定土样剖面上各土层的有机碳含量。

表 2 土样剖面上各土层的有机碳含量

土样	F10		F13		F15				F17			
发生层	A	B	A	B	A	B1	B2	BC	A	B1	B2	C
有机碳/(g·kg ⁻¹)	17.11	5.34	19.87	9.73	10.58	9.99	5.5	4.38	9.98	8.64	6.56	2.84
土样	F11		F14		F16		F18					
发生层	A	Bt	C	A	B	BC	C	A	A	B1	B2	C
有机碳/g·kg ⁻¹	32.4	7.3	4.6	9.21	4.57	2.89	1.74	23.17	9.59	2.97	1.91	2.47

* 资料由黄金良提供。

2 2 数据预处理

2 2 1 光谱数据的处理 光谱数据处理的第一步是整理数据的过程,包括对原始数据重新编码输入数据库,测量所得

的数据有灰板反射光产生的信号值 $V_s(\lambda)$ 、土壤反射光产生的信号值 $V_g(\lambda)$,令 $\rho_g(\lambda)$ 为地物的光谱反射率, $\rho_s(\lambda)$ 为标准板的光谱反射率(预先标定),则地物光谱反射率可以按下

式计算:

$$\rho_s(\lambda) = \frac{V_p(\lambda)}{V_s(\lambda)}$$

2.2.2 有机质数据的处理 丘林法测量土壤有机质的原理是用重铬酸钾-硫酸溶液,在加热的条件下氧化土壤有机质中的碳,多余的重铬酸钾以邻啡罗啉或二苯胺作指示剂,用硫酸铁溶液进行滴定,以耗去重铬酸钾的量计算出有机碳的含量。有机质中含碳量一般比较稳定,约为58%,所以用有机碳的分析结果乘以1.724,即可换算出土壤中有有机质的含量^[5]。

3 分析方法及结果

3.1 光谱波形的分析

土壤有机质含量、土壤质地、土壤含水量、氧化铁含量、土壤盐分、矿物成分等种因素反映到某类土壤上,综合地表现为一种光谱曲线,土壤的光谱特征取决于土壤的有机质含量、质地、含水量及氧化铁含量等特征,通常情况下,有机质含量高、湿度大、质地细的土壤对光的吸收较强,反之,反射

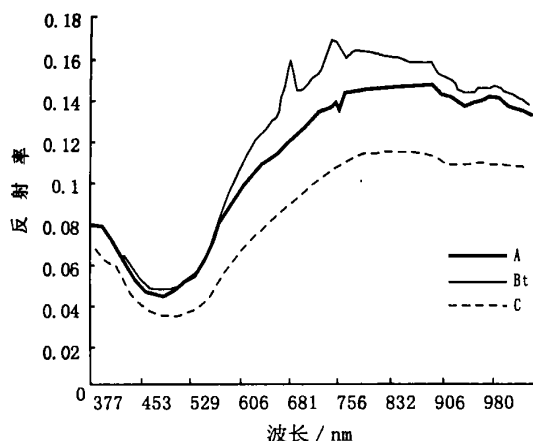


图1 F11剖面上各土层反射光谱曲线

我们选择两个比较有代表性的土样F11和F17,以其土壤剖面上各土层在372.01~1059.75nm的波长范围内的反射光谱作一般解释,如图1、图2。

土样F11和F17是不同的母质在相似的成土环境下形成的,因此它们的光谱具有较强的可比性。土壤的母质很大程度影响土壤的质地及矿物组成,一般来说,母质越易风化和风化程度越高,则土壤的质地越细,F11的母岩是红色致密状玄武岩属于贫硅、富钛铁的基性岩类,易被风化;F17的母岩是黑云母花岗岩属于硅含量较高的酸性岩类,抗风化能力较强,土壤中含有较多的石英,这使得从整体上看F17剖面的反射率要比F11的偏高;如图2虽然A层有机质含量比B1层的高,但其反射率反而更高这主要是A层含有较多的石英所致。

由图1、图2可以看出,同一土壤剖面的不同土层的反射光谱曲线形态大体是一致的,这反映出土壤的母质很大程度影响土壤的光谱特征;从波形特征变化来看,在紫外波段(372.01~400nm)、可见光波段(400~700nm),共同表现出土壤强烈吸收带,具有显著的峰谷结构,反射率较低;而

较强^[4]。

由于各种土壤所处的自然环境不同,哪些因素起主要作用,哪些因素起次要作用,要视具体情况而定。

样区成土的气候为为半湿润、干湿季明显的南亚热带季风气候,年平均气温21℃,降水量为900mm左右,降水的季节分布不均,干湿季节十分明显。成土过程包括两个过程:富铝化过程、生物富集过程,最后形成红壤。在高温多雨的条件下,具有充足的能量和动力使土体中原生矿物遭受深刻风化,硅酸盐类矿物强烈分解,硅酸和盐基流动性大的矿物淋溶流失多,而铁、铝氧化物因流动性小而相对积累起来。由于水汽的吸收带主要分布在1300~1900nm波段^[12],而本次研究只在372.01~1059.75nm的波长范围内,且土样在测量光谱前已基本烘干,所以,水汽对测得的光谱波形的影响不大。加上土壤的质地一般只影响土壤的反射率,但不影响其波形。因此,根据样区的实际情况,我们认为土壤的有机质和氧化铁矿物是影响土壤光谱特征的主要因素。

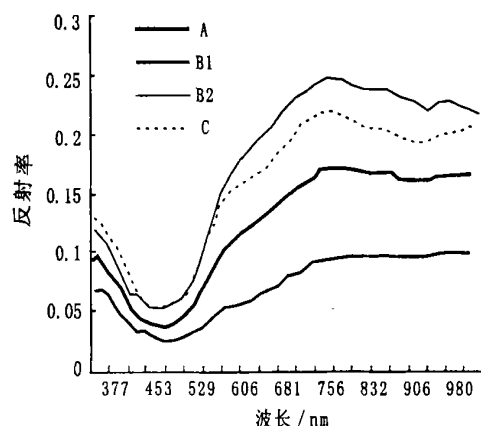


图2 F17剖面上各土层反射光谱曲线

后,土壤的反射率显著上升,在(910.61~1059.75nm)也出现一些峰谷结构,反射率有所降低。

3.2 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3)。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400~590nm波段,方差较小,方差先降低后升高,而后随着波长的增加,方差也增大;这反映出由有机质和氧化铁矿物引起土壤反射率差异在400~590nm波段较小,可以认为,该波段是有机质和氧化铁矿物对光谱的非敏感波段;而后,随着波长的增加而增大,这说明有机质和氧化铁矿物对光谱变化的影响越来越强。

由于690nm~930nm波段是铁的氧化矿物的对光谱的主要吸收区^[6],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(910 61~ 1 059 75 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。因此,我们必须将研究的重点放在有机质对土壤

反射光谱影响较强烈且氧化铁因素影响较弱的紫外波段(372 01~ 400 nm)和可见光波段的(590~ 700 nm)附近。

表 3 土样的主要性状

剖面号	分类所属	诊断组合	主要性状
F10 和坑系	黏质高岭石型高热普通黏化干润富铁土	淡薄表层、黏化层、低活性富铁层	淡薄表层 15 cm 左右;颜色 5YR3/4,有机碳 7 g/kg 左右,pH 值为 4.9~ 5.6,黏质;B 层黏质,棱柱状、块状结构
F11 佛昙系	黏质高岭石型高热普通黏化干润富铁土	淡薄表层、黏化层、低活性富铁层	淡薄表层 20 cm 左右;颜色 5YR3/3,有机碳 32~ 35 g/kg,pH 值为 6.2~ 6.3,黏质;B 层黏粒含量高、黏膜明显,中棱柱状结构
F13 复船山系	黏质蒙脱石混合型高热简育干润锥形土	淡薄表层、锥形层	淡薄表层 12 cm 左右;颜色偏暗(10YR3/4),有机碳 19.9 g/kg 左右,pH 值 6.2 左右,黏质;B 块状结构
F14 白竹湖系	黏质高岭石混合型高热简育干润锥形土	淡薄表层、锥形层	淡薄表层 15 cm 左右;颜色较红 5YR3/4,有机碳 9.2 g/kg 左右,pH 值 6.3,黏质;B 层中等块状结构
F15 前亭系	黏质蒙脱石混合型高热简育干润变性土	淡薄表层、黏化层	淡薄表层 13 cm 左右;颜色 7.5YR3/2,有机碳 10~ 15 g/kg,pH 值 6.7 左右,黏质;B 块状结构
F16 鱼鳞石系	黏质蒙脱石型高热简育干润正常新成土	淡薄表层	淡薄表层 10 cm 左右;颜色(10YR3/4),有机碳 19.9 g/kg 左右,pH 值 6.2 左右,黏质;B 黏质、块状结构,常有锈斑;表层及其以下多裂隙,大小不一
F17 梧岭系	黏质高岭石型高热普通黏化干润富铁土	淡薄表层、黏化层、低活性富铁层	淡薄表层 13cm 左右;颜色 5YR4/6,有机碳 9~ 10 g/kg,pH 值为 5.2~ 5.3,黏质;B 层黏质,中棱柱状、块状结构;C 层黏重,整块状,蜡黄色
F18 后窟系	黏质高岭石型高热普通黏化干润富铁土	淡薄表层、黏化层、低活性富铁层	淡薄表层 15 cm 左右;颜色 10YR5/3,有机碳 9~ 10g/kg,pH 值 6.0 左右,黏壤质;心土尚未发育

* 资料由黄金良提供。

3.3 土壤有机质含量与反射率相关分析

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的关联,将光谱变量与各土样各土层有机质含量进行相关分析。经预处理后,每个光谱数据有 512 个原始波段,波段宽度约为 1.35 nm。然后按相邻 8 个波段求算术平均值缩减 512 个原始波段到 64 个波段,波段宽度扩张到 10.8 nm 左右,进行波段压缩可以减少因波段宽度小导致相关性分析时产生偶然性的可能性。最后在原始光谱及一阶

微分光谱与土壤有机质含量之间计算相关系数及相关系数的平方(图 3),由图可以发现相关系数曲线特征与前面的波形分析和方差分析具有较好的一致性。在土壤有机质含量与原始光谱的相关性分析中,在 376 795 nm 波段、616 506 nm 波段和 724 0975 nm 波段附近两者相关性较高,R² 分别达到 0.40,0.42,0.41,相关系数为- 0.63,- 0.64,- 0.64。从光谱波形分析知道,这三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。

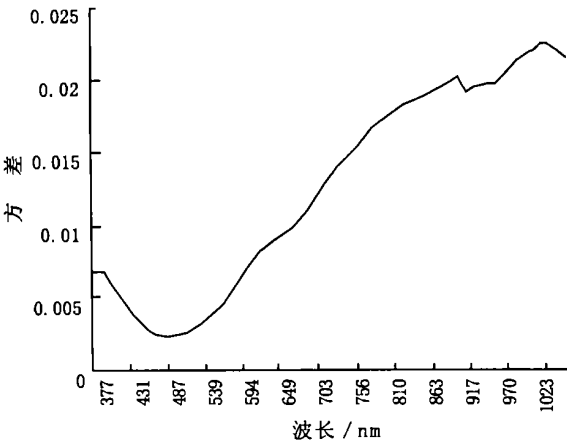


图 3 反射率在各个波长上的方差

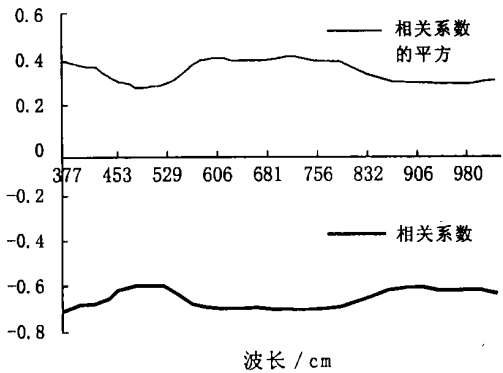


图 4 一阶微分光谱与土壤有机质含量之间
计算相关系数及相关系数的平方

(下转第 54 页)

木基本良好,草本层也没有破坏。解放 50 多年来这里封山育林,生态得到保护和恢复演替,因此生态状况良好,如再继续严加保护,50 年后有可能恢复为原始林。因此,我国生物多样性保护行动计划把这里确定为具有国际意义的生物多样性关键地区之一。保护好这些难得的天然林,不但对保护生物多样性十分重要,而且对保持水土也起到了极为重要的作用。

4.3 积极退耕还林,营造人工林

由于北部山区大部地形陡峭,在 30° 以上,土壤层又比较薄,不适合耕种,应积极退耕还林,营造人工林。这里降水较多,又大部是花岗岩区,适合树木生长,特别是一些经济林木的生长。为此结合发展生产,应营造一些经济效益高且见效快的干鲜果树。例如这里板栗质优高产,是有名的名优特产;又如这里有开展柞蚕丝生产的传统,应大力发展;再加这里可生产许多中草药,也应大力发展。充分利用国家退耕还林

政策。结合农业产业结构调整,积极营造人工林,不但可以帮助农民提高收入,而且可以有效地保护水土,是一举两得的双赢措施,应尽快推行。

4.4 调整畜牧业结构,发展圈养

这里农民有放养山羊的习惯。山羊吃草,也啃咬树木,对保护植被、保持水土不利,因此应尽快调整,逐步禁止放养山羊,发展圈养,减少对山区植被的破坏,以保持水土。

4.5 旅游业要提倡生态旅游,严防生态破坏

北部山区的山海关长寿山、角山,青龙县的老岭都开展了大规模的旅游活动,这里应提倡生态旅游,提倡一日游,提倡山下住、山上游。山上不建或少建宾馆。山上的旅游活动要严加管理,严禁破坏生态,在天然林地区,应限制旅游活动的方式和规模,以保护天然林和野生动植物。这样做也可以防止和减少水土流失,保护生态。

参考文献:

- [1] 秦皇岛市志[M]. 天津人民出版社, 1994
- [2] 秦皇岛市水利志[M]. 天津人民出版社, 1993
- [3] 孔繁德. 城市生态环境建设与保护规划研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001
- [4] 秦皇岛市国土资源[M]. 北京: 海洋出版社, 1996
- [5] 孔繁德. 秦皇岛市青龙满族自治县在改善生态环境中的探索与实践[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 248- 252

(上接第 24 页)

图 4 是土壤有机质含量与特征吸收波段光谱的散点图,散点图可以更为直观地看出相关性,同时还可以反映出相关状态,即它们之间究竟存在的是正相关还是负相关^[2]。从图 4,我们可以看出,土壤有机质在其高相关性波段表现出较强的负相关,即随着土壤有机质含量的增大土壤在高相关性波段的反射率呈非线性下降。

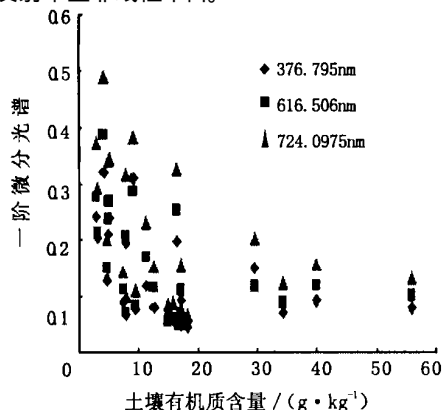


图 5 土壤有机质含量与特征吸收波段光谱散点图

4 结论

本文量化研究了土壤有机质含量与土壤光谱的反射率

参考文献:

- [1] 朱鹤健,何宜庚. 土壤地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 41- 42
- [2] 马超飞,马建文,韩秀珍. 微量元素在植物光谱中的响应机理研究[J]. 遥感学报, 2001, 9(5): 334
- [3] 魏合理,胡欢陵. 用太阳光谱遥测大气污染气体 NO₂ 的含量[A]. 全球变化与我国未来的生存环境[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 88- 94
- [4] 吕国楷,洪启旺,郝允充,等. 遥感概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 159- 165
- [5] 霍亚贞,李天杰. 土壤地理实验实习[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986: 19
- [6] 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