

不同湿度条件下黄棕壤光谱反射率的变化特征及其遥感意义

朱永豪 邓仁达

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

卢亚非 陈铭臻

(中国科学院遥感应用研究所) (中国煤炭科学院西安煤炭研究所)

土壤是地球表面最广泛出露的地物之一。土壤的光谱反射特征除了取决于它本身的物理化学性质、有机质含量及颗粒大小之外,湿度是影响土壤光谱反射率的一个活跃的重要因素。由于土壤中水份含量的多寡对热量平衡、土壤温度、农业墒情均有重要意义,所以,用可见、近红外、热红外以及微波等遥感手段探测土壤含水量的研究日益广泛深入。1965年 Bowers 和 Hanks^[9] 首先用光谱辐射计对土壤光谱反射率进行了研究,得到了光谱反射率随湿度和颗粒度变化的大体趋势。之后,许多研究者^[4,5,7,8] 用各种方法继续对土壤的光谱反射率进行研究,并在实验室条件下建立了湿度与反射率之间的关系。近年来,Stoner 等^[9] 探讨了将实验室条件下测量的光谱反射率推广到野外的可能性。Peterson 等^[6] 研究了土壤湿度引起反射率变化,并讨论了这种变化的大体规律。Blanchord 等^[2] 研究了可见、近红外、热红外对土壤湿度的敏感程度。随着遥感技术的发展,近年来对土壤湿度的研究已逐步向热红外,微波波段发展。

本文试图通过对自然状况下不同湿度土壤的光谱反射率测量值,与同时采样制备的烘干土壤样品的实验室光谱反射率测量值建立起一个数量关系,从而有可能用实验室样品数据外推到野外。与此同时,我们还讨论了湿度在几个主要波段上影响土壤反射率变化的特征,它将为判读多光谱遥感图象提供某种依据。

一、方 法

1. 实验条件的选择 1982年4至5月在合肥地区选择了一块裸露的黄棕壤作为试验样区。测量点内土壤湿度比较均匀,湿度垂直变化较小。由于光谱辐射计的视场较小,故表面的颗粒直径一般选取3—4毫米以下。野外测量在晴朗无云的天气进行,测量时间选在上午10时至下午2点半之间。

2. 野外测量 在上面所选的样区内,用新天光学仪器公司制的 W101 型野外光谱辐射计测量不同湿度条件下的土壤光谱反射率。用作比较的漫反射标准板的反射率在30%左右。仪器的工作波段是400—1100毫微米(在下面计算中,只取比较可靠的410—1000毫微米的测量值)。由于自然状态下土壤湿度在测量时并不知道,只凭人为估计,因此,先后作了40多次测量,按湿度的大小选出39组作为正式数据。不同湿度土壤的光谱反射率曲线见图1。

3. 实验室测量 每次野外测量完,立即采取所测视场内的表层土样,样品一般取30克左右。湿度

的测量用称重法(烘干法)。测量湿度后的烘干样品,任意抽取6个,分别制成8—100目10种不同颗粒度的样品,即每种颗粒度有6个样品。把这些制备好的样品送到日立340型记录式分光光度计上测量其反射率,把同一颗粒度的6个样品反射率的平均值作为这个颗粒度的样品反射率。于是,得到了10种不同颗粒度样品的反射率。为了确定一种颗粒度作为室内的标准样品,并用它建立室内与野外反射率之间的关系,计算了不同颗粒度样品的反射率与野外不同湿度土壤(39个)反射率的相似系数($\cos\theta$)和相似距离(d)。计算结果表明,它们均有很高的相似性,其中16—20, 20—24, 24—30目为最好。考虑到16—20, 20—24目的土壤样品颗粒较粗,制备与测量条件不易控制稳定,最后确定用24—30目样品作为标准。

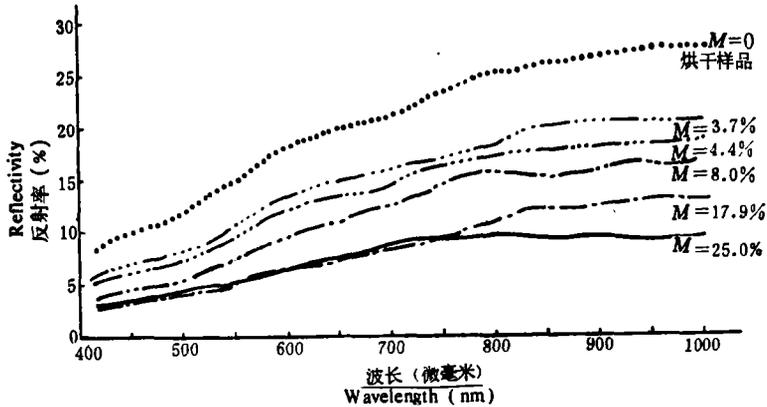


图1 野外不同湿度土壤反射率曲线(部分)和24-30目标准烘干样品反射率曲线
Fig. 1 The curve of reflectivity of different field soil humidities and the oven-dried soil sample (through 0.8mm screen)

二、测量数据的处理与分析

1. 建立实验室样品反射率测量值与野外反射率测量值的回归方程

为了定量分析不同湿度土壤野外光谱反射率测量值与室内测量值之间的数量关系,采用了回归分析的方法。用室内样品反射率值作为自变量,野外反射率值为应变量,则其函数关系为:

$$R_f = f(R_l) \quad (1)$$

式中 R_f 表示野外反射率, R_l 表示室内样品反射率。

从测量数据点出的 R_f-R_l 分布图中可以看到,它们存在着线性关系。以土壤湿度为9.5%的反射率数据为例作回归,每隔10毫微米间隔取一个反射率值,则在410—1000毫微米波段内共有60个值。用一次回归计算时得回归方程、拟合优度和F检验值为:

$$\hat{R}_f = -2.40294 + 0.64929R_l$$

$$R^2 = 0.9746$$

$$F = 2271.5$$

再用同样的数据计算二次回归,其结果为:

$$\hat{R}_f = -3.24656 + 0.753473R_l - 2.8363 \times 10^{-3}R_l^2$$

表 1 野外反射率 R_f 和标准样品反射率 R_s 的回归方程系数、 R^2 、 F 值

Table 1 The coefficient values of the regression equation for the field soil reflectivities and those of standard samples and the values of R^2 and F

样品编号	湿度(%)	零次项	一次项	R^2 值	F 值
25	3.7	-1.36811	0.801372	0.98466	3813.78
30	4.2	-3.40681	0.832356	0.974783	2242.00
2	4.6	-3.26200	0.868695	0.995327	12353.4
22	5.2	-3.19823	0.861727	0.949204	1083.82
4	5.8	-2.38918	0.753358	0.995848	13905.9
28	6.4	-0.932703	0.670074	0.988140	4832.38
36	7.2	-1.84976	0.605216	0.969367	1835.38
6	8.0	-3.24761	0.729629	0.986025	4171.04
5	8.6	-2.30030	0.680770	0.992999	8226.30
27	9.0	-1.74044	0.721990	0.978416	2629.18
9	9.5	-2.40294	0.649429	0.974684	2271.50
16	10.1	-1.38168	0.533388	0.966097	1681.56
32	10.6	-3.51821	0.689331	0.945878	1013.65
31	12.2	-3.50036	0.544233	0.934909	833.07
7	13.3	-1.37947	0.446470	0.982155	3247.18
33	14.2	-1.02379	0.446793	0.967386	1720.34
12	15.6	-1.64028	0.482141	0.992393	7702.50
18	17.9	-2.16404	0.519418	0.937559	885.890
20	20.8	-1.42145	0.548445	0.981086	3060.30
13	25.0	0.801521	0.323189	0.967647	1764.80

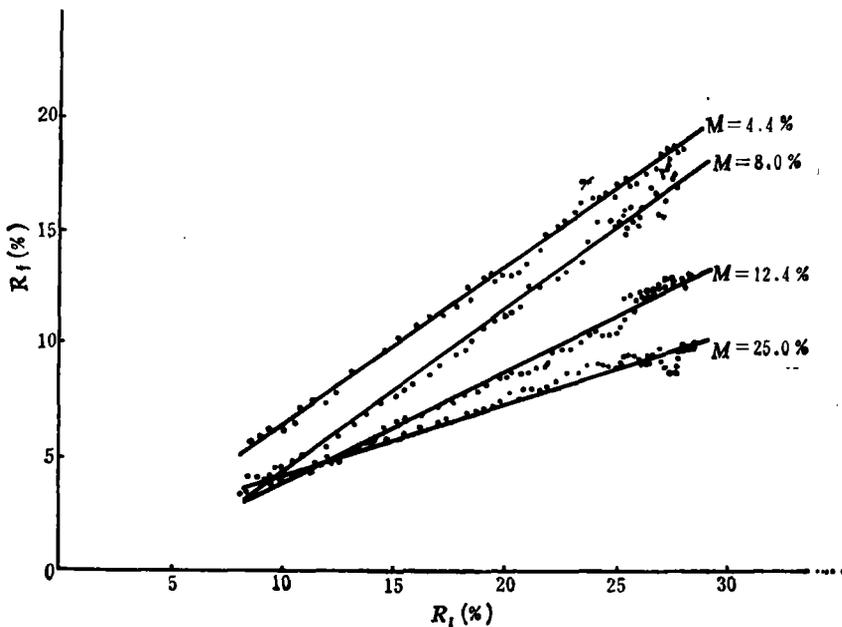


图 2 不同湿度的野外土壤光谱反射率与室内样品光谱反射率回归曲线
 Fig. 2 Regression curve of reflectivity of the soil with different humidities in the field and oven-dried soil samples

$$R^2 = 0.9751$$

$$F = 1135.5$$

比较计算结果, 可见, 拟合优度 R^2 二次回归虽比一次回归稍显提高, 但 F 值恰有明显下降, 再计算二次项系数的 F 值, 表明, 二次项系数已大大低于显著性水平, 实际上已是 10^{-3} 量级了。因此, 我们证明了室内样品反射率与野外反射率符合一次回归方程。

在 39 组野外反射率测量值中, 选出一套湿度从 4—25% 的数据 20 组, 以实验室样品反射率为变量, 计算出 20 个回归方程的系数及检验参数。计算结果见表 1 和图 2。一次回归方程计算的结果与野外实测曲线的符合程度见图 3。

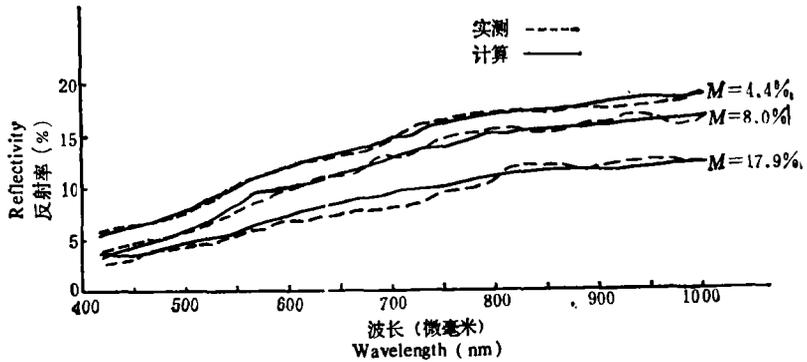


图 3 不同湿度下野外反射率的测量值和计算值

Fig. 3 Measured and calculated values of spectral reflectivity of soil with different humidities

2. 土壤湿度与反射率的关系

为了讨论土壤湿度与反射率的关系, 首先要了解湿度在各波长上产生影响的大体趋势, 于是计算了野外不同湿度下各条反射率曲线在各个波长上的方差(见图 4)。

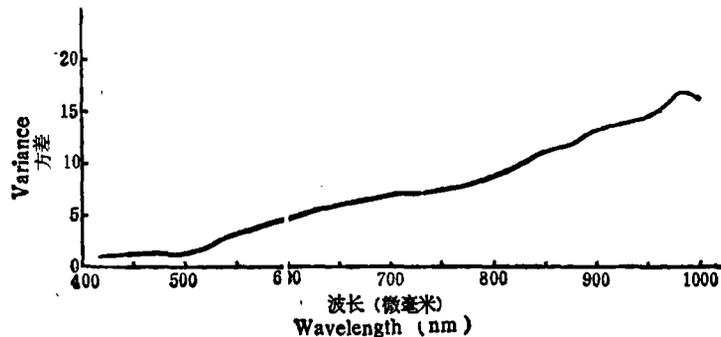


图 4 不同湿度反射率在各个波长上的方差

Fig. 4 The variance of reflectivity of soil with different humidities at various wavelengths

由方差曲线可见, 随着波长的增加, 湿度引起的土壤反射率差异也就越大。

为了进一步讨论湿度对反射率影响的定量关系, 先用因子分析法找出湿度对反射率影响的几个代表性波段, 然后再找出这些代表性波段的湿度-反射率回归曲线。

采用了因子分析中 R 型分析法给出的数学模型^[4]编制了计算机程序, 对 410—1000 毫微米波段内的 60 个反射率值进行运算, 打印出因子系数矩阵及每个变量对主成分的累

计贡献率。由结果可以看出,前三个主成份的方差已占总方差的 98% 以上,基本上反映了所有成分所代表的全部信息。这就有可能在三维空间中讨论 60 个变量间的关系。为找出对主成份贡献程度相似的波段,分别以主成份 I—II, II—III, I—III 为坐标轴在平面上点点。结果表明,所有变量分五群聚集,见图 5(a. b. c)。

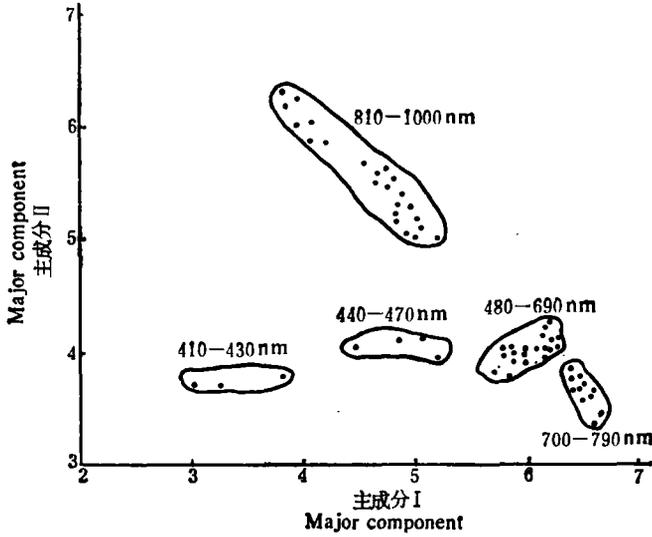


图 5-a 不同湿度下以主成份 I、II 为坐标的波长聚集图

Fig. 5 (a) Cluster distribution of the wavelength of different soil humidities, taking the major component I as abscissa and the major component II as ordinate

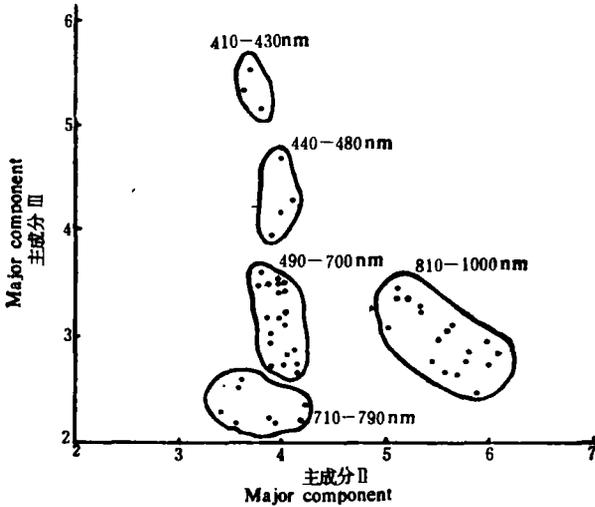


图 5-b 不同湿度下以主成份 II、III 为坐标的波长聚集图

Fig. 5 (b) Cluster distribution of the wavelength of different soil humidities, taking the major component II as avscissa and the major component III as ordinate

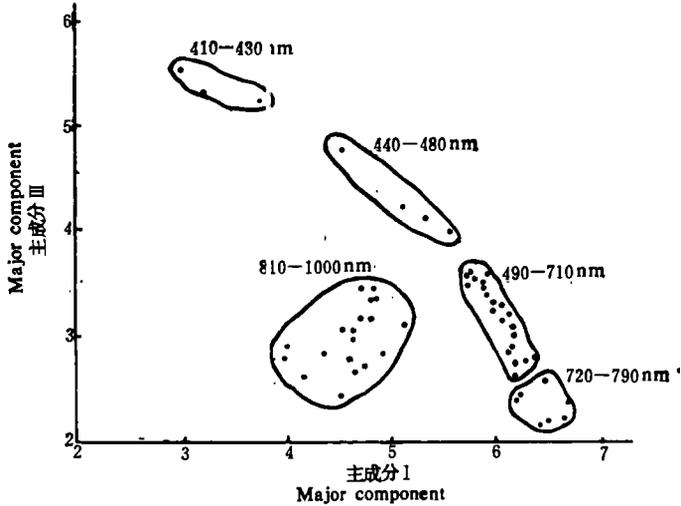


图 5-c 不同湿度下以主成分 I、III 为坐标的波长聚集图

Fig. 5 (c) Cluster distribution of the wavelength of different soil humidities, taking the major component I as abscissa and the major component III as ordinate

考虑到变量在群中的位置,对土壤的敏感程度及实验中容易产生误差的波段等原因,选出 450、600、720、880 毫微米为代表点,找出这四个波长上的湿度和反射率的关系,是可以代表在整个波段范围(410—1000 毫微米)内湿度对反射率的基本变化规律的。

点出上述四个代表波长上湿度、反射率测量值,再配上一条回归曲线,用与前面类似的方法,我们可以验证湿度与反射率遵从二次回归曲线方程:

$$\hat{R}_l = a + bM + cM^2 \tag{5}$$

式中 a 、 b 、 c 分别为零次、一次、二次项系数, M 为土壤湿度。计算出 R^2 , F 的结果见表 2 和图 6(a,b)。

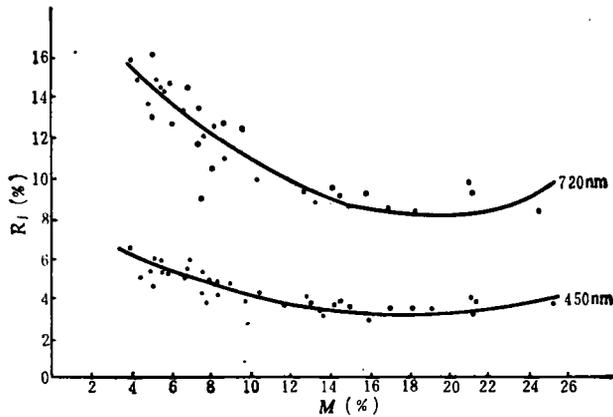


图 6-a 波长为 720 和 450 毫微米野外反射率 R_l 与湿度 M 的回归曲线

Fig. 6-a The regression curves for the field soil reflectivity R_l and soil humidity M at wavelength 720 nm and 450 nm

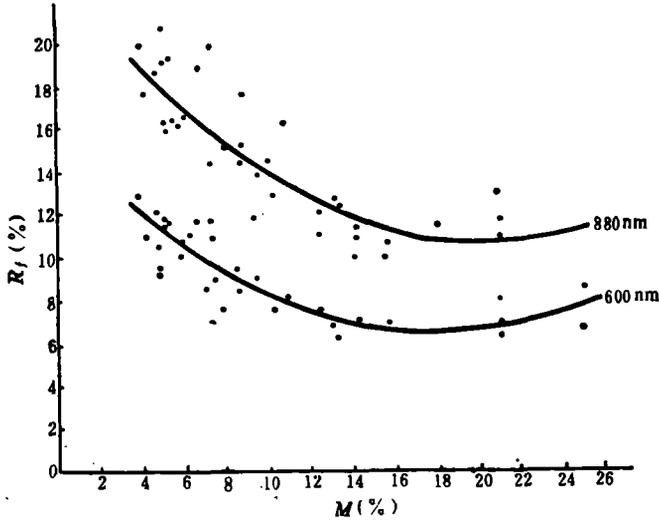


图 6-b 波长为 880 和 600 毫微米野外反射率 R_f 与湿度 M 的回归曲线

Fig. 6-b The regression curves for the field soil reflectivity R_f and soil humidity M at wavelength 880nm and 600nm

表 2 野外反射率 R_f 和湿度 M 的回归方程系数、 R^2 、 F 值

Table 2 The coefficient values of the regression equation for the field soil reflectivity and soil humidity and the values of R^2 and F

波段(毫微米)	方 程	R^2 值	F 值
450	$R_f = 7.7165 - 0.48005M + 0.013364M^2$	0.720414	43.8043
600	$R_f = 15.4741 - 0.982517M + 0.0267329M^2$	0.729468	45.8390
720	$R_f = 19.6038 - 1.2047M + 0.032421M^2$	0.792649	64.9867
880	$R_f = 24.0072 - 1.35068M + 0.0335167M^2$	0.711041	41.8319

三、结 论

通过对实验数据的处理和分析,我们可以得到如下结论:

1. 在可见和近红外(410—1000 毫微米)波段内表层土壤水份含量对土壤光谱反射率有明显影响。因此,利用陆地卫星的多光谱扫描仪(MSS)数据或陆地卫星-D,主题绘图仪(TM)的数据均可提供许多有关土壤湿度的信息。

2. 在 410—1000 毫微米波段内,长波比短波对湿度的反映灵敏。湿度小于 14% 时反射率变化明显,14—20% 湿度范围内反射率几乎不变,大于 20%,反射率还略有回升。反射率随湿度变化密切的波段为: 810—1000、480—690、700—790、440—470 和 410—430 毫微米。湿度与反射率的回归曲线是二次曲线。由上面的结果可见,在利用陆地卫星图象判读土壤湿度时,应该选择长波段,判别湿度小于 14% 的土壤是灵敏的,而当土壤湿度在 14—25% 时,在多光谱扫描(MSS)数据上是难以区分的。

3. 用烘干的标准土壤样品反射率和野外不同湿度的土壤反射率建立了一系列一次线

性回归方程,就有可能将野外采集的样品带回室内,用仪器测出湿度和反射率,再用已建立的回归方程计算出野外不同湿度下的土壤光谱反射率。

以上结果只是在黄棕壤一种土壤类型上得出的,对土壤本身的物理化学性质及有机质含量也没有作分析测定。所以,其他类型的土壤是否也有类似的规律,还需作进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质所编著, 1977: 数学地质引论。地质出版社。
- [2] Blanchard, M. B., Grealey, R., Goettelman, R., 1974: Use of visible, near-infrared, and thermal infrared remote sensing to study soil moisture, Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann. Arbor, Mich. Vol. 1, 693—900.
- [3] Bowers, S. A., Hanks, R. J., 1965: Reflectance of radiant energy from soils. Soil Sci., Vol. 100, (2), 130—138.
- [4] Coulson, K. L., Reynolds, D. W., 1971: The spectral reflectance of natural surfaces. Journal of Applied Meteorology, No. 10, 1285—1295.
- [5] Gold, A., Ben. A., 1976: Soil reflectance measurement using a photographic method. Journal of Soil Science Society of Am. Vol. 40(3) May—June, 337—341.
- [6] Peterson, J. B., Robison, B. F., Beck, R. H., 1979: Predictability of change in soil reflectance on wetting machine processing of remotely sensed data, Proc. Purdue Univ. West Lafayette Ind. 264—274.
- [7] Planet, W. G., 1970: Some comments on reflectance measurements of wet soils. Remote Sensing of Environment. Vol. 1., 127—129.
- [8] Sewell, J. I., Allen, W. H., 1973: Visible and infrared remote sensing in soil moisture determination. Remote Sensing of Earth Resources. (Technical Papers Selected from the Conference) Univ. of Tennessee, Vol. 2 698—702.
- [9] Stoner, E. R., Baumgardner, M. F., Weismiller, R. A., Biehl, L. L., Robinson, B. F., 1979: Extension of laboratory-measured soil spectra of field conditions. Machine Proc. of Remotely Sensed Data. Proc., Purdue Univ. West Lafayette Ind., 253—263.

VARYING CHARACTERISTICS OF SPECTRAL REFLECTIVITY IN DIFFERENT HUMIDITIES OF YELLOW-BROWN EARTH AND ITS SIGNIFICANCE IN REMOTE SENSING

Zhu Yonghao and Deng Renda

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Lu Yafei

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Chen Mingzhen

(Xian Institute of Coal, Chinese Academy of Coal)

Summary

An investigation was made on the relationship between the spectral reflectivity of different field soil humidities on yellow brown earth and the spectral reflectivity of oven-dried soil samples using the data in the waveband of 410—1000 nm. Experimental results showed that this relationship followed the first order regression equation. Meanwhile, the relationship between soil spectral reflectivities at four wavelengths and soil humidities was also studied, and it was showed that the relationship followed the second order regression equation. On the basis of the experiments their varying characteristics and the significance of its application in remote sensing are briefly discussed.