

黄土偏振反射影响因子交互作用试验分析*

赵乃卓 张景奇 赵云升[†] 介冬梅 李应硕

(东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

QUANTITATIVE ANALYSIS OF INTERACTIONS BETWEEN FACTORS INFLUENCING POLARIZED REFLECTION OF LOESS

Zhao Naizhuo Zhang Jingqi Zhao Yunsheng[†] Jie Dongmei Li Yingshuo

(College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

关键词 含水量; 粒径; 致密程度; 偏振反射; 交互作用

中图分类号 S151.92 文献标识码 A

早期遥感土壤反射光谱的研究主要是将土壤样品表面看作郎伯体, 进行垂直对地观测采集数据。大量实验表明, 土壤含水量、有机物含量、氧化铁含量、机械组成以及土壤表面粗糙度均会对土壤的光谱反射率产生显著影响^[1]。随着遥感应用研究的深入, 在 20 世纪 70 年代末, Suits、Hapke、Strahler、李小文等大批学者对地物的二向反射做了定量研究, 从而使遥感进入了获取地物三维信息的崭新阶段^[2~5]。偏振反射是二向反射的孪生姊妹, 人们在对土壤的二向反射进行研究的同时也势必要对土壤的偏振反射进行一定的研究^[6]。已有的一些观测研究表明, 土壤含水量与土壤反射光偏振度之间存在着关系, 即含水量越大偏振度越高, 这可解释为液态水充满土壤空隙, 使界面变得光滑; 土壤颗粒尺度与偏振度之间存在关系, 尺度越小, 表面越光滑, 偏振度越大^[7~12]。这些研究结果表明, 土壤表面的光滑程度直接影响着土壤的偏振度。据此, 当土壤的致密程度改变时, 土壤表面的光滑程度也会随之发生变化, 从而影响土壤的偏振度。然而, 以上的研究并没有考虑各影响因素的交互作用。影响因素的交互作用在自然界中是普遍存在的。在医药学、农学、化工等领域, 交互因素均是被重点研究的对象。那么, 在影响土壤偏振反射的各因素之间, 是否也存在着

交互作用呢? 本研究以黄土为例, 对影响土壤偏振反射的土壤含水量、粒径及致密程度进行综合的比较研究, 并验证这三个影响因素之间存在着对偏振反射的交互影响作用。

1 材料与方法

1.1 样品采集

土样采集于辽宁十三里堡土垄岗, 15~20 cm 土层, 土壤类型为黄土, 经烘箱 50℃ 恒温烘至恒重, 筛选不同的粒级, 本实验选用 0.125~0.25 mm 和小于 0.065 mm 两种粒径的土样。

1.2 试验设计

试验设置四个因素, 分别为土壤含水量(A)、粒径(B)、致密程度(C)和入射天顶角(D)。其中, 不同含水量的土壤样品是通过向烘至恒重的土壤样品中添加不同质量的蒸馏水配制而成。不同致密程度的土样是向相同体积的样品盒中加入不同质量的黄土而得到的。因此, 在本研究中, 不同水平的致密程度用黄土的质量来表示。因素 A 有两个水平, 分别为 A1=10% 和 A2=20%; 因素 B 有两个水平, 分别为 B1(粒径小于 0.065 mm) 和 B2(粒径 0.125~0.25 mm); 因素 C 有两个水平, C1=31.5 g 和 C2=37.0

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-338-1) 和国家自然科学基金项目(49771057) 资助

[†] 通讯作者, E-mail: zhaoy975@nenu.edu.cn

作者简介: 赵乃卓(1981~), 男, 硕士研究生, 主要从事偏振光遥感研究

收稿日期: 2006-08-18; 收到修改稿日期: 2007-01-04

g; 因素 D 有两个水平, $D_1 = 10^\circ$ 和 $D_2 = 50^\circ$ 。各因素对偏振反射的影响用反射光的偏振度定量表示。偏振度由式(1)计算:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{I_0 - I_{90}}{I_0 + I_{90}} \quad (1)$$

式中, I_0 为偏振片透光轴与光线入射面成 0° 时的偏振反射比值, I_{90} 为偏振片透光轴与光线入射面成 90° 时的偏振反射比值^[13]。正交实验设计方案如表 1^[14]:

表 1 正交实验设计方案

列号	1	2	3	4	5	6	7
因素	A	B	A×B	C	A×C	B×C	D

该方案每个主效应和交互效应各占一列, 但在实验安排时只需要 A、B、C、D 所在的第一、第二、第四和第七列, 将该 4 列的水平换算成实际水平。

1.3 样品测定

土壤偏振反射值测量应用中国科学院长春光学精密机械研究所研制的二向反射光度计。该仪器主要由三大部分组成: 包括光源系统、二向反射光度计系统和控制系统。可从多个观测点全方位地测量地物反射辐射, 数据的快速采集与处理均有电子控制板与微机自动完成, 数据以表格或曲线等形式输出, 并可做各种统计分析。该光度计以镍钨灯作为光源, 有 A(630~690 nm)、B(760~1100 nm) 两个波段, 本文数据全部由 B 波段采集获得。在 $0^\circ \sim 70^\circ$ 范围内每隔 10° 为一个光源入射天顶角; 在探测架上设有 $0^\circ \sim 60^\circ$ 7 个探测头, 间隔为 10° 。光源与探测器之间从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 每隔 10° 为一个探测方位(180° 是镜面反射方向)。该设备还配有偏振镜头, 能够任意角度旋转。承载土壤样品的容器为直径 5.5 cm, 深 1.3 cm 的黑色硬塑料样品盒。

按照实验方案得到的土壤样品均匀地填满样品盒, 并用毛玻璃轻压与盖口相平, 再用毛玻璃进一步将土壤表面刮匀、刮平后测量土壤偏振反射值, 每个最终输出的地物反射光谱值都是光度计对某位置 30 次测量值的平均值。这 30 次测量是按照光度计设计的电脑程序自动连续测量完成的。每个土样测完反射值后立即测白板值, 得二者之比值作为该土样的偏振反射比值。在本研究中, 所有数据的相对探测方位角都是 180° , 数据的探测天顶角等于入射天顶角。也就是说, 当入射天顶角为 10° 时, 探测天顶角为 10° ; 当入射天顶角为 50° 时, 探测天顶角为

50° 。另外, 需要说明的是, 尽管土壤中各组分的硬度和结构不同, 所以不同粒径的土壤颗粒其物质组成也会有所不同, 而成分不同势必导致反射率的差异。但是, 由于本研究所用的波段较宽, 所以这种成分不同所导致的反射率的差异是可以忽略的。

2 结果与分析

2.1 黄土偏振反射度及其影响因素

按实验设计方案, 测量了各种因素不同水平组合下的偏振反射值, 再与白板比较后得偏振反射比值。由式(1)计算得到相应的偏振度值(表 2)。其中 M_1 、 M_2 为各因素不同水平的均值, R 为极差, “1”和“2”分别代表各因素的水平。虽然 A×B、A×C 和 B×C 三列中的“1”和“2”没有实际意义, 但其计算的极差 R 是有统计意义的^[15]。极差越大则该因素对偏振反射的影响就越大。由表 2 得 4 个因素与其交互作用的主次关系如下:

主 $\xrightarrow{\text{A D A×B A×C C B B×C}}$ 次

对这 4 个因素和它们交互作用因素进行方差分析, 为计算简便对偏振度数据同时乘以 100。参照文献[15], 一个因素(或交互作用)的 F 值, 如大于 1% F 表上的数值, 该因素影响极显著, 记做“**”; 如介于 5% F 和 1% F 表上值之间, 该因素影响显著, 记做“*”; 如介于 20% F 和 5% F 表上值之间, 该因素对偏振反射有一定的影响, 记做“(*)”; 如小于 20% F 表上值, 可认为该因素对偏振反射没有多大影响。方差分析结果见表 3。由表 3 可知, 黄土的含水量对其偏振反射影响最大, 其次是入射角度的影响, 而粒径、致密程度对偏振反射的影响明显没有它们与含水量结合后的交互影响作用显著。

2.2 含水量对黄土偏振反射影响的验证

以上实验中黄土含水量对其偏振反射起到了首要的影响作用, 但在实验中含水量仅取了两个水平, 为此我们又进行了两个追加实验。分别取含水量为 0% 和 30% 两种水平的黄土进行实验。在含水量为 0% 时, 尽管不同水平的粒径、致密程度以及入射角度会对黄土的二向性反射比值造成影响, 但根据测量, 由式(1)计算得到的在不同水平的粒径、致密程度和入射角度情况下的反射光的偏振度均为 0.000。因此, 在含水量极低的情况下, 粒径、致密程度以及入射角度是不会对黄土的偏振反射造成影响。在含水量为 30%, 入射天顶角、探测天顶角同

表2 不同入射天顶角、含水量、粒径及致密程度的黄土偏振反射度

试验号	A	B	A×B	C	A×C	B×C	D	偏振度
1	1	1	1	1	1	1	1	0.000
2	1	1	1	2	2	2	1	0.000
3	1	2	2	1	1	2	1	0.000
4	1	2	2	2	2	1	1	0.000
5	2	1	2	1	2	1	1	0.038
6	2	1	2	2	1	2	1	0.037
7	2	2	1	1	2	2	1	0.044
8	2	2	1	2	1	1	1	0.042
9	1	1	1	1	1	1	2	0.000
10	1	1	1	2	2	2	2	0.057
11	1	2	2	1	1	2	2	0.000
12	1	2	2	2	2	1	2	0.017
13	2	1	2	1	2	1	2	0.147
14	2	1	2	2	1	2	2	0.143
15	2	2	1	1	2	2	2	0.182
16	2	2	1	2	1	1	2	0.179
M ₁	0.008 0	0.052 8	0.063 0	0.051 4	0.050 1	0.052 9	0.020 1	
M ₂	0.102 8	0.058 0	0.047 8	0.059 4	0.060 6	0.057 9	0.090 6	
R	0.094 8	0.005 2	0.015 2	0.008 0	0.010 5	0.005 0	0.070 5	

表3 入射天顶角、黄土含水量、粒径及致密程度对其偏振反射影响的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
A	359.102 5	1	359.102 5	492.866 4	**
D	198.81	1	198.81	272.865 8	**
A×B	9.302 5	1	9.302 5	12.767 6	**
A×C	4.410 0	1	4.410 0	6.052 7	*
C	2.560 0	1	2.560 0	3.513 6	(*)
B	1.102 5	1	1.102 5	1.513 2	
B×C	1.000 0	1	1.000 0	1.372 5	
误差	5.830 0	8	0.728 6		
总和	1072.740 0	15			

为 50° , 相对探测方位角为 180° 时, 粒径小于 0.065 mm 的黄土的反射光的偏振度为 0.251 , 粒径为 $0.125\sim 0.25\text{ mm}$ 的黄土的反射光的偏振度为 0.249 。经 t 检验, 当显著水平为 $p_{0.2}$ 时, 差异不显著。在入射天顶角、探测天顶角同为 10° 时, 两种粒径水平的黄土的反射光的偏振度均为 0.142 。可以认为此时无论选取何种水平的粒径, 在入射角相同的情况下, 反射光偏振度都不会发生改变; 而且此时

黄土吸水已达饱和, 土样密度极大, 已经无法在保持体积不变的情况下通过改变黄土质量来改变其致密程度了。因此, 在含水量极高的情况下, 粒径、致密程度是不会对黄土的偏振反射造成影响。通过追加实验, 进一步证明了含水量对黄土偏振反射起着首要的影响作用, 而粒径、致密程度两个因素是需要与含水量因素相结合, 通过交互作用来影响黄土的偏振反射。在含水量极小或极大时, 粒径、致密程度及其与含水量的交互作用均不能够对黄土的偏振反射起到显著性的作用。

3 结 论

本研究结果表明, 黄土含水量、粒径、致密程度对其偏振反射的影响具有以下特点: (1) 含水量、粒径、致密程度均可对黄土的偏振反射产生影响, 且这些影响可以通过这三个因素之间的交互作用表现出来。(2) 含水量对偏振反射起着首要的作用, 含水量与粒径的交互作用、含水量与致密程度的交互作用也可对偏振反射产生较大的影响, 但这种影响是在一定的含水量区间范围之内起作用的。(3) 入射(探

测) 天顶角会对黄土偏振反射起到极大的影响。

依据本研究的结果, 建议在进行其他类别土壤的偏振反射及二向反射的研究时要注意以上几种因素的影响作用, 尤其是这些因素交互影响作用。孤立地考虑这些因素对土壤偏振反射的影响是不够全面的。

参考文献

- [1] Swain P H, Davis S M. 定量遥感方法. 北京: 科学出版社, 1984. 153~ 160
- [2] Su's G H. The calculation of the directional reflectance of a vegetation canopy. *Remote Sensing of Environment*, 1972, 2: 117~ 125
- [3] Su's G H. The cause of azimuthal variations in directional reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 1972, 2: 175~ 182
- [4] Li X W, Strahler A H. Geometric-optical bidirectional reflectance modeling of a coniferous forest canopy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1986, 24(6): 906~ 911
- [5] Hapke B. On the particle size distribution of lunar soil. *Planetary and Space Science*, 1968, 16: 101~ 110
- [6] 赵云升, 黄芳, 金伦. 植物单叶偏振反射特征研究. *遥感学报*, 2004, 4(2): 131~ 135
- [7] 徐希孺. 遥感物理. 北京: 北京大学出版社, 2005. 170~ 181
- [8] Maignan F, Breon F M, Lacaze R. Bidirectional reflectance of earth targets: Evaluation of analytical models using a large set of space borne measurements with emphasis on the hot spot. *Remote Sens. Environ.*, 2004, 90: 210~ 220
- [9] Luht W, Schaaf C B, Strahler A H. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2000, 38: 977~ 998
- [10] Pinty B, Verstraete M M, Dickson R E. A Physical model for predicting bidirectional reflectances over bare soil. *Remote Sens. Environ.*, 1989, 27: 273~ 288
- [11] Jacquemond S, Baret F, Hanocq J F. Modeling spectral and bidirectional soil reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 41: 123~ 132
- [12] Liang S, Townshend J R G. A modified hapke model for soil bidirectional reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 1996, 55: 1~ 10
- [13] 游璞, 于国平. 光学. 北京: 高等教育出版社, 2003. 165~ 166
- [14] Hedayat A S, Sloane N J A, Stufken J. *Orthogonal Array: Theory and Applications*. New York: Springer, 1999
- [15] 方开泰, 马长兴. 均匀实验与正交实验. 北京: 科学出版社, 2001. 35~ 77
- [16] 赵虎, 晏磊, 赵云升. 土壤的多角度偏振反射光谱研究. *土壤学报*, 2004, 41(3): 476~ 479
- [17] 赵云升, 金伦, 张洪波, 等. 土壤的偏振反射特征研究. *东北师范大学学报*, 2000, 32(4): 93~ 97