

土壤激光诱导荧光遥感研究初探

石晓日 徐彬彬 李德成 周斌

(中国科学院南京土壤研究所)

沈玉其

(中国科学院南京分院)

朱永豪 张崇静 吴荣 刘南英

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

摘 要

对我国不同土壤的激光诱导荧光光谱的研究表明,在可见光波段的荧光峰一般在450nm左右,其相对荧光强度与土壤有机质含量、粘粒含量、水分含量以及土壤的化学组成密切相关。还表明,测试环境的差异,并不改变土壤的荧光光谱特征,仅影响它的相对荧光强度;不同的植被覆盖度会明显引起土壤荧光光谱的相应变化。这些结果展示出了激光荧光遥感技术应用于土壤类型和某些性状探测的可能性。应用红光波段是识别植被和土壤的最佳荧光波段。

关键词 土壤 激光诱导荧光光谱 遥感

土壤既是一种重要的地表物质,又是植被赖以生长的基础。所以,土壤遥感不仅有其自身的意义,也是植被遥感必不可少的一部分。目前的土壤遥感,绝大部分以土壤反射光谱信息为基础,在许多方面不乏成功之例。然而,由于被动式遥感本身的缺陷和土壤表面反射特性的复杂性,给土壤遥感研究带来了一定的困难。近10年来,激光荧光主动遥感技术在几个发达国家的尝试应用较为活跃,有的已在海洋油污监测等方面取得一定进展^[1],也有人试图把这项技术应用到土壤遥感中,并进行过部分基础研究^[2-4]。本文的目的是研究我国土壤的激光诱导荧光光谱特性及其影响因素,并探讨其遥感应用的可能性,以为土壤某些性状的定量遥感提供依据。

一、试验设计

本研究主要测试了下列项目的激光诱导荧光光谱:(1)土壤样品。样品采自全国各地,它们的状态有3种:块状风干原状土、风干后经研磨并过20孔筛(<0.84mm)的粉碎状土样及新鲜的原状土;(2)土壤的主要组分化合物,如二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁等;(3)不同植被覆盖度的土壤。

测试仪器是由中国科学院安徽光学精密机械研究所研制组装的激光荧光遥感系统。



测试分别采用近距和远距两种方式。近距测试在室内进行，样品受激光照射后，由接收系统获得样品的荧光光谱。远距测试，则把样品置于室外 25m 远的样品台上。测试程序与近距测试相同。远距测试的样品主要为新鲜的原状土和不同植被覆盖度的土壤。测试时，不论近距或远距，激发光源均为 N₂ 激光器，波长 337nm，脉冲能量为 3—5mJ。所测荧光的波长范围一般为 400—700nm。

在测试粉碎状土样和化学组分时，把样品放入不产生荧光的样品盒（如铝盒）中，并注意表面的适当平整。原状土等则将土样直接置于样品台上，不再放入样品盒，但应使测试面的位置与用样品盒时保持一致，以免重新调试光路。无论是用样品盒或原状土样，测试的样品面必须大于激光束的光斑面积。近距测试时的光斑面积约 3 × 7cm²，远距测试时为 45 × 45cm²。

二、结果与讨论

(1) 土壤是一个复杂的无机有机复合体，因此，其荧光光谱也是由这些成分共同贡献的综合结果。根据已测的黄棕壤、水稻土等大多数土壤来看，在可见光范围内

(400—700nm) 的荧光光谱均为单峰平缓型。峰位一般在 450nm 附近，随后平缓下降，至 600nm 左右为最低谷，继后再逐步上升。本研究所用的激光荧光遥感系统的测试波段上限为 770nm，至此上限仍未见其它峰出现。图 1 为黄棕壤的激光诱导荧光光谱。其峰位在 455nm，峰与谷的强度比约为 1.4 左右。

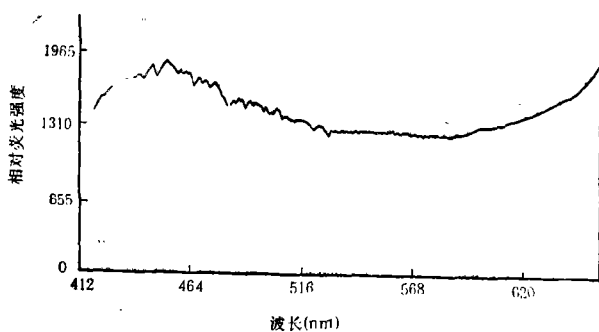


图 1 黄棕壤的激光诱导荧光光谱
Fig.1 Laser induced fluorescence spectra (LIFS) of yellow brown earth

从已测的各类土壤看，不同土壤的荧光光谱差异，主要表现在 450nm 左右的峰的强弱变化。这是由于不同土壤中，各种发光物质的含量、发光强弱以及相互作用的差异而引起的。如富含有机质的东北三江平原的泥炭土，荧光峰位与黄棕壤相近，但强度要超过后者 3 倍（图 2）。

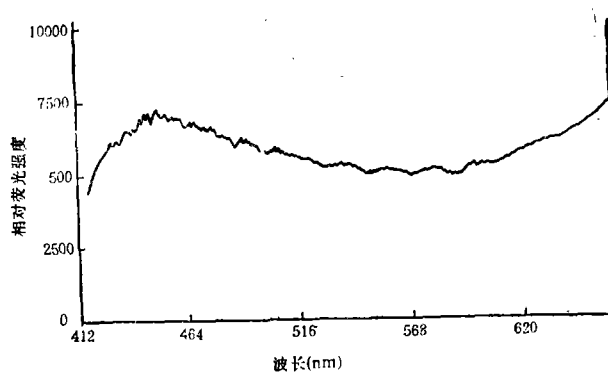


图 2 泥炭土的激光诱导荧光光谱
Fig. 2 LIFS of peat soil

根据已测的各种风干土样在 450nm 左右峰强的高低，大致可划分成如下 4 类：

第一类，如泥炭土等有机质含量高的土壤，荧光最强；

第二类，粘粒含量较高的土壤，如红色粘土、水稻土等，则次之。其荧光强度约为第一类的 50% 左右；

第三类，为一般土壤，如黄棕壤、黑垆土等均属此类，其荧光强度比第二类还要低，大约只及第一类的 1/3 左右；

第四类，各种土壤的底土，荧光最弱，其强度只及第一类的 20% 左右。

(2) 从上述土壤荧光强度的大致分类基本上可以看出，已研究的各类土壤中，有机质含量和粘粒含量是影响土壤荧光强度的主要因素，而且两者均与土壤荧光强度成正向相关。这一点，国外已有报道 [2]。实质上，土壤中粘粒含量与有机质含量本身就具有较高的相关性。所以，上述两者的影响应该是一致的。本文有意将其分开的原因是，有一部分富含有机质的土壤，如上述提到的泥炭土，其有机质含量可达 60% 左右，但粘粒含量仅与一般水稻土的含量 (20% 左右) 相当 [6]。然而，由于这类土壤中有相当一部分未腐解的叶屑草根，这些物质富含木质素和纤维素，会在 430nm 左右产生荧光，导致荧光强度剧增 [3]。所以本文将上述两个影响因素分开，以示区别。

腐殖质是土壤有机质的主体。一般认为，腐殖质的荧光是由束缚于芳香环的电子给体官能团所引起 [7]。

(3) 由于上述结果均来自风干土样，因此排除了水分的影响。实际上，从新鲜土样的测试结果看，水分含量对土壤的荧光强度也有较大的影响。研究表明，在一定含水量范围内，土壤荧光强度随含水量的增加而升高，如耕种黄棕壤，湿润样品的荧光强度要比性状相似的干样大 1.4 倍左右。再如，湿塘泥的荧光强度比干塘泥高出 1 倍左右 (图

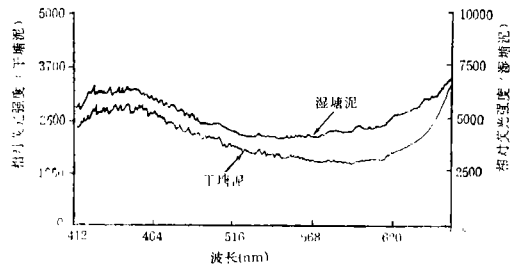


图 3 塘泥的激光诱导荧光光谱
Fig.3 LIFS of pond earth

3)。产生这种变化的原因，可否理解为在一定含水量范围内，随着含水量的增加，土壤中发光分子的自由性增大，降低了荧光猝灭作用，相应增加了荧光强度。

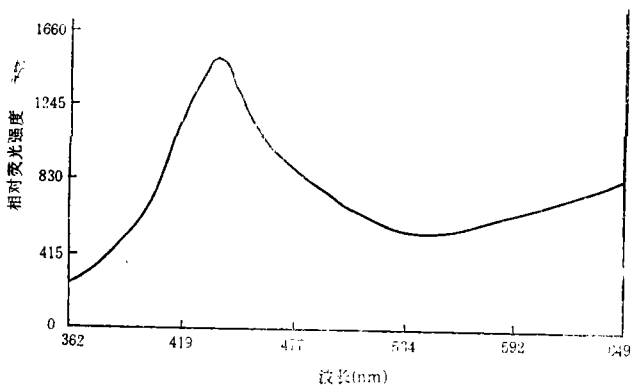


图 4 二氧化硅的激光诱导荧光光谱
Fig.4 LIFS of SiO₂

(4) 土壤的化学组分主要有二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁等，这些成分一般要占全部组成的 80—90%。因此，土壤的荧光强弱与这些成分的发光性能相关。

图 4 是土壤中含量最高的二氧化硅 (粉末状，光谱纯) 的激光诱导荧光光谱。由图可见，二氧化硅的荧光峰位与土壤相近 (440nm)，其相对荧光

强度也与一般的土壤相似,大致属上述强度分类中的第三类。所以,可否认为一般土壤的荧光特征,主要来自于它的主要组分二氧化硅。

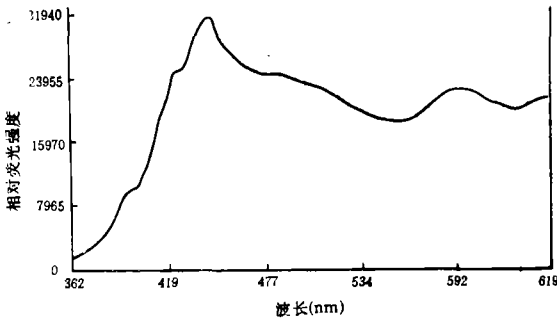


图5 三氧化二铝的激光诱导荧光光谱
Fig.5 LIFS of Al₂O₃

三氧化二铝(粉末状)的荧光响应较强(图5)。其相对荧光强度可达一般土壤的10倍,峰位稍偏向长波10nm左右。在我国南方地区的热带、亚热带湿润气候条件下,土体中的铝硅酸盐矿物彻底分解,钾、钠、钙、镁、硅等成分不断流失,而铁、铝、锰、钛等相对富集,其中铝的富集最为突出,所以土壤学上把这类土壤称为富铝土^[6]。

可能正由于此,所以在前述的分类中,红色粘土虽与水稻土同分在第二类,但它的荧光强度仍在水稻土之上。再如,富含铝硅酸盐的白色网纹层(粘土矿物,以高岭土为主)的荧光强度与泥炭土相近(图6),峰位偏向长波方向,与Al₂O₃一致。

由荧光分光光度计测试的结果表明,三氧化二铁的荧光响应较弱,且其最大荧光峰在571nm,与土壤荧光光谱的峰位不甚一致。故可以认为它对土壤荧光的贡献甚小。当然,应注意到土壤组分的实际状况与纯化合物有许多差别,因此上述的讨论是不够充分的。

(5) 自然状态的土壤,一般情况下都有一定盖度的植被。本研究曾测试了不同覆盖度情

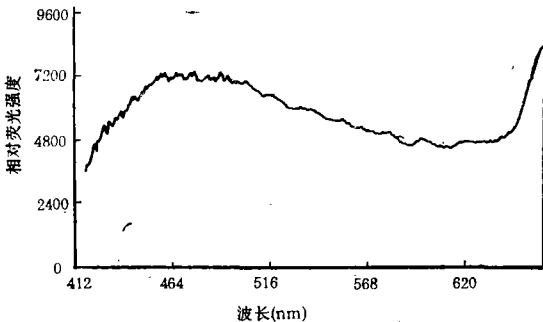


图6 白色网纹层的激光诱导荧光光谱
Fig. 6 LIFS of white plinthite layer

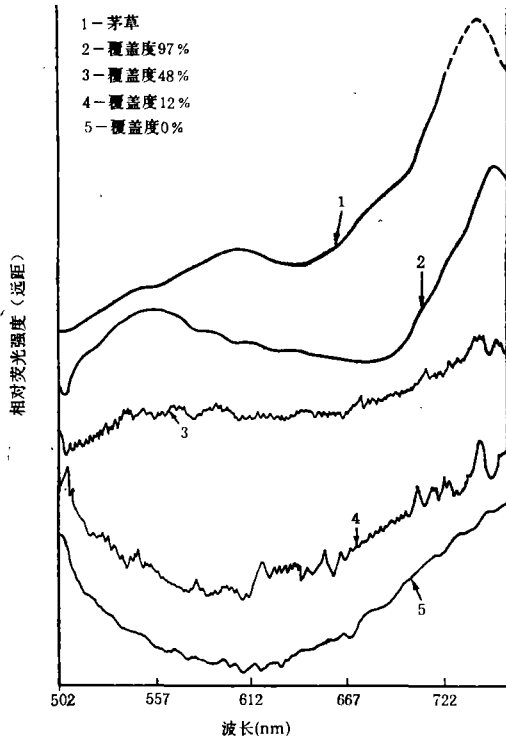


图7 不同植被覆盖度的土壤(黄棕壤)的激光诱导荧光光谱

Fig. 7 LIFS of yellow brown earth with different vegetation cover degrees

况下的土壤的荧光光谱。图7显示了同一土壤、不同覆盖度(茅草)时的激光诱导荧光光谱(室外远距测试)。由图可见,当茅草覆盖度为97%时,其荧光光谱基本上与纯

为茅草的谱形相近,可见其荧光贡献主要来自于茅草;当覆盖度为 48% 时,则在 97% 覆盖度时非常明显的两个荧光峰趋于消失,但仍一定程度上表现茅草的荧光特征,显然此时的荧光已不是全部由茅草所贡献;当覆盖度为 12% 时,荧光光谱已呈现出下垫土壤的谱形,但其强度要比无覆盖的下垫土壤高出 1 倍以上。由此可见,当覆盖度为 12% 时,植被就已经对土壤的荧光响应产生了一定的影响,反之亦然。这一点无论对土壤遥感,还是对植被遥感均极为重要。

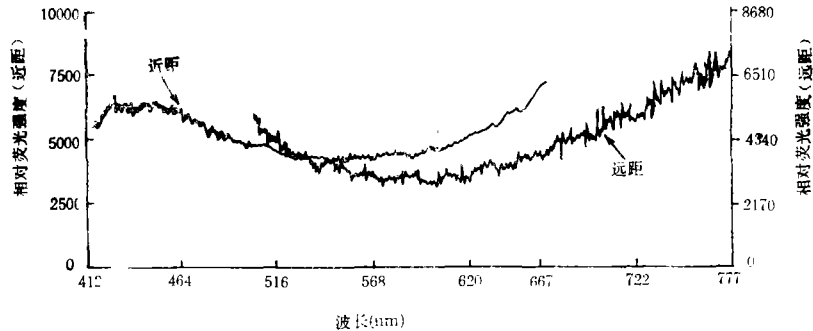


图 8 分别于近距和远距测试的塘泥的激光诱导荧光光谱

Fig. 8 LIFS of pond earth measured at close and far distances respectively

(6) 从遥感实用角度出发,本研究还进行了如下试验:即同样土壤分别在近距(室内)和远距(室外 25m)测试;白天和夜晚测试。测试结果如图 8 和图 9 所示。

由图 8 和图 9 可见,无论是白天,还是夜晚;也不论是远距,还是近距,测试所得的土壤荧光光谱特征是不变的,即荧光光谱的谱形是不变的,仅由于测试条件的变化(环境因素)导致了接收到的相对荧光强度也有所变化而已。当然,引起变化的原因可能很多,但其主要原因可否归结为两点:其一是白天和远距测试时,环境噪声相对较大;其二是在阳光下测试时,土样表面温度升高,使荧光强度相对下降。这一点在溶液的荧光强度变化上,也有相同的趋势^[8,9]。

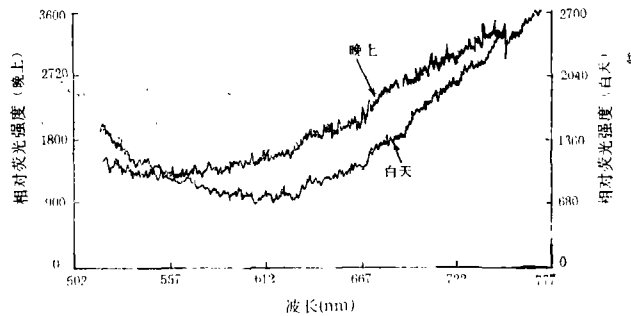


图 9 分别于白天和夜晚测试的黄棕壤的激光诱导荧光光谱

Fig. 9 LIFS of yellow brown earth measured at day and night respectively

三、结 语

综上所述,土壤的激光诱导荧光光谱在可见光波段呈现单峰平缓型,峰位一般在 450nm 左右。已测的结果表明,土壤荧光的强弱与它的有机质含量、粘粒含量和水分含量等密切相关;与它的化学组成也相关联,如三氧化二铝的含量等。当然由于土壤的组成较为复杂以及影响土壤荧光的这些因素之间存在一定的相关和制约,所以使土壤激光

荧光的机制,一时尚难完全搞清。然而,尽管研究结果是初步的,但仍阐明了土壤激光荧光光谱的一定的规律,并预示了应用激光荧光遥感技术探测土壤类型和某些组分的可能性。

同时,从上述研究可知,土壤与植被的荧光光谱特征,具有相当显著的差异。主要是荧光峰的数量和位置上的差别,尤其在红光波段(见图7)则更为明显。这些差异为土壤或植被的激光荧光遥感提供了良好的基础,比如在植被遥感时,当达到一定覆盖度之后,可以不考虑土壤背景;而在土壤遥感时,又必须选择地表裸露程度最大的时节,以避免植被信息的干扰。区分植被和土壤的最佳荧光波段是在红光波段,几乎正好是峰(植被)、谷(土壤)的对应位置。一般植被在680和740nm有两个显著的荧光峰,这两个峰正是反映植被各种特性的光系统I和光系统II的叶绿素a所发出的,对植被的监测极为有用。

参 考 文 献

- [1] Measures, R. M., *Laser Remote Sensing(Fundamentals and Application)*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [2] Mack, A.R., and Brach, E.J., *Laser fluorescence of sand and clay materials*, *Canadian Journal of Soil Science*, 1977, 57(1):1—8.
- [3] Morita, H. and Measures, R. M., *Some observations on the laser fluorescence spectroscopy of peats*, *Proceedings of International Symposium on Peat Utilization*, 1984, 391—403.
- [4] Lehmann, F., et al., *Laser remote sensing measurements of natural target reflectivities*, *IGARSS/84*, Vol.2, 793—796.
- [5] 刘南英等, 激光荧光雷达系统的测量方法与应用, 本期增刊。
- [6] 张俊民等, 中国土壤地理, 江苏科学技术出版社, 1990年。
- [7] Ghosh, K. and Schnitzer, M., *Fluorescence excitation spectra of humic substances*, *Can.J. Soil Sci.*, 1980, 60: 373—379.
- [8] 陈国珍, 荧光分析法, 科学出版社, 1975年。
- [9] 郭尧君, 荧光实验技术及其在分子生物学中的应用, 科学出版社, 1979年。

A Preliminary Research on Remote Sensing of Laser Induced Fluorescence of Soils

Shi Xiaori Xu Binbin Li Decheng Zhou Bin

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Shen Yuqi

(Nanjing Branch of Academia Sinica)

Zhu Yonghao Zhang Chongjing Wu Rong Liu Nanying

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

Abstract

The paper described the characteristics of laser induced fluorescence spectra (LIFS) of various soils in China. The results showed: 1) the peak in the visible wave band is at about the wavelength of 450 nm, and its relative intensity has close correlation with the contents of organic matter, clay or water as well as the chemical composition of soils, 2) environmental condition of measurement affects directly the relative fluorescence intensity of soil, but it does not change its features of LIFS, 3) vegetation cover degree influences LIFS significantly, It indicated the possibility that applying laser induced fluorescence technology of remote sensing to detect soil types and some properties of soil. The red wave band is the optimum band to differentiate vegetations and soils.

Key words Soil Laser induced fluorescence spectra Remotesensing