

植被光学遥感新方法

董国权 李正直

(杭州大学物理系,杭州 310028)

讨论了近年来最新发展的高分辨率微分光谱、偏振光、激光荧光光谱和远红外细分光谱等几种新型的植被光学遥感方法。这些方法目前均处于探索性研究阶段,预计具有较大的应用前景。从这些方法的物理基础出发,分析了利用高分辨微分光谱技术探测植被反射光谱的“红缘”,及冠层反射偏振度指数、植被冠层荧光指数等具体的遥感应用方法。

Abstract

Advances in optical remote sensing for vegetation canopies are described. Sensing methods include: high resolution derivative spectra, canopy reflectance polarization, laser induced fluorescence and very high resolution spectra. Although the above four methods are still under investigation, they appear to be the promising tools among the various remote sensing techniques. On the physical basis, leaf 'red edge' detected by high resolution derivative spectra technique is discussed; the reflectance polarization index and fluorescence index of canopies suitable for remote sensing purpose are also concerned.

遥感作为研究地球生态环境及其资源利用的有效手段,已在许多领域中得到了广泛的应用,并产生了巨大的经济效益。

遥感过程的物理实质是以电磁波为媒介来实现的。遥感的理论基础在于如何正确地理解电磁波与地物的作用,以及地物的反射、辐射信息如何经大气传输到遥感传感器,而植被光学遥感的基础则是植被的光学特性。目前常用的植被遥感方法主要是根据植被的反射光谱由各个工作波段的组合制定的。近年来,随着研究深入,人们对植被的光谱特性有了新的认识,相继提出了微分光谱、偏振光、激光荧光光谱、远红外细分光谱等新型的植被光学遥感方法。

一、高分辨微分光谱遥感方法

遥感卫星传感器所探测到的植被光谱反射资料均为植物与其下面的土壤共同作用的结果。在遥感应用中,许多研究者致力于研究如何从植被反射光谱中去掉地面背景反射的影响。目前常用植被指数的方法来减小地面背景的干扰^[1],然而在光谱分析研究中,早已采用了一系

列的微分光谱方法来抑制背景的低频噪声。因此,随着高分辨率的遥感传感器的出现,应用高分辨的微分光谱植被光学遥感已成为现实。

图1为典型的植被反射光谱与土壤反射光谱以及它们的一阶、二阶微分光谱^[2]。由于植被的反射光谱约在 $0.7\mu\text{m}$ 处反射率迅速上升,并在近红外区形成一平台,而土壤的光谱反射率基本上呈一直线,因此从一阶微分光谱即可看出土壤背景光谱反射信号有所抑制,而从二阶微分光谱看出,土壤背景光谱信号已完全得到抑制。因而,用二阶微分光谱方法即可从植被冠层与土壤系统的光谱反射中除去背景土壤的干扰,而用传统的宽波段植被指数方法难以达到如此理想的效果。

利用微分光谱还可方便地确定植被反射光谱的“红缘”,即 $0.67-0.8\mu\text{m}$ 间植被反射光谱斜率极大值所处的波长。现有的研究结果已表明^[3],随着植物叶子叶绿素含量的增加,“红缘”向长波方向移动(红移),而叶绿素的含量则与植物的生长情况、供水情况、氮素含量以及作物产量等存在一定的关系,因而可以用微分光谱

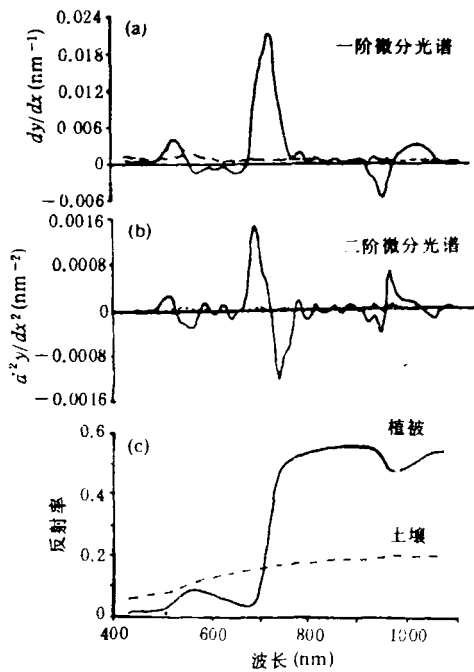


图1 植被与土壤的反射光谱以及它们的一阶、二阶微分光谱

透感方法来监测作物的长势、估算作物产量等。同时,植物的“红缘”也与植物受各种金属元素的胁迫有关,而植物叶子的金属元素胁迫则预示着植被下土壤中含有相应的矿藏。

植被对其生活的环境变化非常敏感,当植物受到某些环境因子,如水分,过量的重金属元素胁迫,大气中 SO_2 , HF 气体等污染时,植被的光谱反射特性与正常生长的植物相比要发生变化,污染越严重,这种变化越显著。采用微分光谱法,突出了污染和正常植物的光谱特性差异。因而,用遥感方法监测各种污染,微分光谱方法是一种行之有效的办法。

二、偏振光遥感方法

植被反射光谱的偏振特性可用线偏振度 P 表示。植被反射光谱的偏振是由太阳光经植物叶子表面的镜向反射引起。通过分析我们可以把叶子反射光谱分成表面镜向反射和叶子内部体散射两部分,而表面反射遵循斯涅耳反射定律,体散射则更接近于朗伯反射,且该部分反射光偏振度几乎为零。反射光的偏振度由太阳光的入射角、叶子表面蜡质层折射率及植被冠层

的几何结构所决定的。因而,反射光的偏振特性包含了植被冠层的几何结构与冠层内叶子表面反射的许多信息。冠层几何结构信息目前虽然可以用各种反演方法,从遥感数据中取得,特别是叶面积指数,可以取得较高的精度,但对叶倾角分布遥测,其精度则要差得多。因而,有可能用偏振光遥感方法来获得冠层的结构特性,特别是叶倾角分布。叶子表面的反射由叶子表面的蜡质层的特性决定,而蜡质层的折射率随着植物种类,生长期以及所处的环境不同而有所变化。

图2为波长为 $2.2\mu m$ 的植物叶子反射光

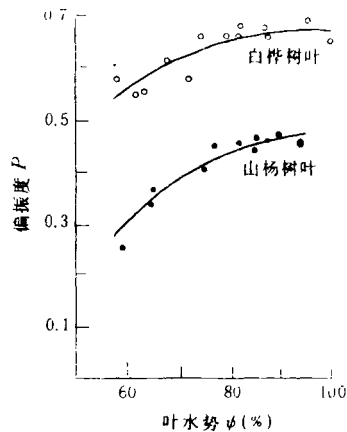


图2 不同植物叶子反射光的偏振度随叶水势的变化

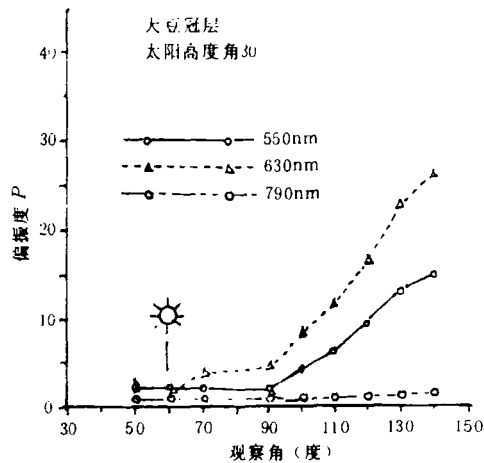


图3 不同波长下植被冠层反射辐射偏振度随观察角度的变化

偏振度随叶子水势的变化^[4],随着叶子水势的减小,偏振度也随之减小。因此,在遥感应用中,

我们可用反射光谱的偏振特性来监测植被的供水情况。

图 3 为不同波长下大豆冠层反射辐射偏振度随观察角的变化^[5]。从图 3 看出,不同波长,不同的观察角度,偏振度均有变化。这是由于偏振度决定于植被冠层的几何结构、太阳高度角与探测器之间的相对位置。

植被反射光谱的偏振信息可以作为目前多光谱遥感方法的补充,得到其他遥感方法所无法得到的信息。

三、激光荧光光谱遥感方法

不同于一般的多光谱遥感方法,激光荧光遥感方法采用主动式的脉冲激光,探测激光在植物叶子上产生的激光荧光光谱。目前常用的激发光源为氮分子、氩离子和 Nd-YAG 激光器。绿色植物叶子的激光荧光可分为蓝色荧光带和红色荧光带。蓝色荧光带的中心波长约为 440nm,主要由叶子中的 β 胡萝卜素,维生素 K₁、维生素 K₂ 和 NADPH 等综合产生。红色荧光带则由植物叶子中的叶绿素 a 与叶绿素 b 产生,大部分来自叶绿体光系统 II (PS II) 的天线色素蛋白复合体中的叶绿素 a 分子。采用不同的激发波长,荧光峰的中心波长略有改变,但一般总在 690nm 与 730nm 处,分别对应于叶绿素 a 与 b 的激光荧光峰。

图 4 为大豆叶子和水稻叶子的激光荧光光谱^[6],激发波长为 337nm。从图 4 可以看出,红色荧光带与蓝色荧光带均可明显地分辨出。对不同的作物类型、植物供水情况、植物叶子氮素含量等不同,植物叶子的荧光光谱均不相同。在遥感应用中,为定量研究激光荧光光谱的特性,根据植物对体内叶绿素的两个荧光峰中 F_{690} 比 F_{730} 的荧光吸收更强烈,可以用这两个荧光峰的比值 (F_{690}/F_{730}) 作为专一遥测陆上植物数量的指标。根据植物受环境胁迫后总是普遍引起叶绿素合成和积累的下降及叶绿素含量的下降,从而均减少荧光的自吸收和造成 F_{690}/F_{730} 比值的增加,因而可以用 F_{690}/F_{730} 作为植物对环境胁迫反应的指标。分析冠层结构对荧光信

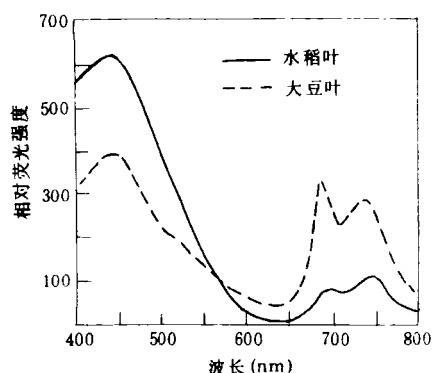


图 4 大豆叶子和水稻叶子的激光荧光光谱(激发波长 337nm)

号的影响可以发现,当冠层叶面积指数 (LAI) 较小时,荧光信号随 LAI 的增加迅速增加,而随 LAI 的进一步增加,荧光信号不再变化,趋于常数,同时冠层叶倾角分布对荧光信号也略有影响。图 5 为植物叶子中叶绿素含量与 F_{690}/F_{730} 的关系^[7]。蓝带荧光产生的物理机制目前还不十分清楚,但一系列的实验已证实,蓝带荧光与各种微量元素的缺乏、水分胁迫、酸雨及各种重金属元素的胁迫有关。特别是蓝带荧光与植物种类密切相关,因而可用蓝荧光与红荧光之比 (F_{440}/F_{690}) 来区分植被种类。

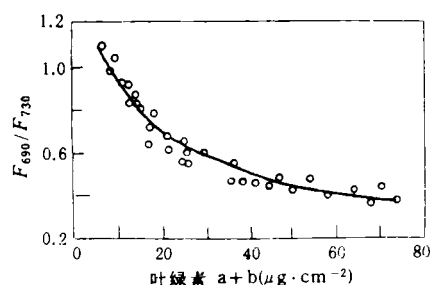


图 5 植物叶子中叶绿素含量与指标 F_{690}/F_{730} 的关系

至今,美国、德国、法国等已有各种机载激光雷达系统,并成功地用 F_{690}/F_{730} 作为森林健康状况指标对森林植被进行航空遥测。同时,还开展了作物水分胁迫激光荧光遥感等专项试验。机载激光荧光遥感系统是一种以激光作为激发光源的主动遥感,与常规的被动地以太阳光辐射为光源的被动遥感相比,它不受太阳和天气条件的限制,即可昼夜地工作。并且由于荧光遥感系统的专一性,专门探测的是叶绿素的荧

光,不受水体、土壤背景的影响,因而可获得较高的信噪比。

四、远红外细分光谱技术

在远红外波段,一般遥感传感器探测波段较宽,如 TM,波段 7, 10.4—12.5 μm , Landsat2, 波段 5, 10.4—12.6 μm ,因而得到的仅是该波段内的平均辐射通量。根据玻耳兹曼辐射定律,辐射通量与地物的辐射率及辐射温度有关。从辐射通量反演得到地物的辐射温度,必须准确知道地物的辐射率。由于极大部分地物的辐射率均大于 0.9,以往的多光谱遥感中不太注意地物的远红外光谱性质。目前的一些研究结果表明,植物在远红外区的反射率,即,1—辐射率,存在着显著差异,并且不同种类的植物其反射光谱各不相同。如图 6 为樱桃树叶、山胡桃树叶和枫树叶远红外区的反射光谱^[8]。从图 6 看出,一般宽波段的热红外遥感得到的仅是该波段内的平均辐射温度,如进一步把远红外区波段进行细分,那么就可以得到更进一步的有关植被辐射信息。

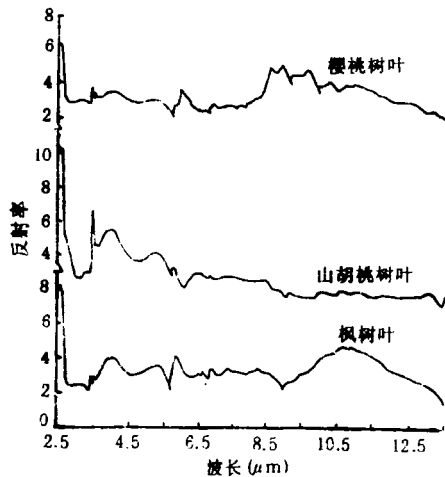


图 6 不同种类树叶远红外区的反射光谱

1983 年美国国家宇航局首次研制成功机载热红外多波段扫描仪(TIMS),在 8—12 μm 内含有六个通道,我国中国科学院上海技术物理研究所正在积极研制多波段红外光谱仪,并

在地质研究中,已成功地应用多波段细分光谱区分了各种岩性。但对植被,由于光谱辐射率的差异较小,利用热红外波段细分光谱技术对植被进行分类、监测等目前还有一定的难度,但理论研究已表明^[8],利用 TIMS 多光谱扫描仪有可能从其他植被类型中区分出宽叶林,因为宽叶林的叶面积指数较高,并且叶子往往为水平分布。

我们也发现^[9],植被冠层辐射率不仅与其组分(叶子、杆等),下垫面土壤的辐射率有关,而且还与冠层的几何结构有关。冠层叶面积指数越高,则其辐射率越大。当叶面积指数较小时,冠层辐射率随 LAI 增加迅速增加,随 LAI 进一步增加,冠层表现辐射率则趋于常数。对叶面积指数相同,叶倾角分布为水平与垂直冠层,其辐射率相差可达 1.3%。因此,随着红外多波段扫描仪灵敏度的进一步提高,有可能可以利用红外细分光谱来进行植被分类,遥测冠层的结构特性,得到丰富的植被热辐射信息。

上述这些新的植被光学遥感方法,目前虽然还没有得到实际广泛的应用,还处在研究试验阶段,但这些新方法可以得到关于植被与电磁波相互作用更广泛、更深入的信息,而常规的遥感手段则是无法做到的。

- [1] A. R. Huete, *Remote Sens. Environ.*, **25**(1983),295.
- [2] Demetriades-Shah, T. H. et al., *Remote Sens. Environ.*, **33**(1990),55.
- [3] D. N. H. Horlor et al., *Int. J. Remote Sensing*, **1-2**(1980),121.
- [4] V. I. Kharuk et al., *Remote Sens. Environ.*, **33**(1990),35.
- [5] Genevieve Rongeaux et al., *Remote Sens. Environ.*, **38**(1991),63.
- [6] E. W. Chapple et al., *Appl. Opt.*, **23-1**(1984),134.
- [7] H. K. Lichtenthaler et al., *IGARSS'90*, Washington D. C., (1990),1913.
- [8] J. W. Salisbury et al., *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*, **54**(1988),1361.
- [9] Dong Guoquan et al., *Int. J. Remote Sens.*, **14**(1993),183.