
近红外光谱反射方法在土壤水分测量中的研究应用和前沿 问题调研

泥沙所 殷哲, 秦伟, 单志杰, 于洋

一、研究背景

作为水循环过程中最活跃的因素之一, 土壤含水率是最基本的水文状态变量, 在植物的生长、土壤生化作用、土壤侵蚀和干旱区土地管理中起重要作用, 被广泛地应用于农田灌溉管理、洪水预测、天气预测和大范围的水循环过程中。长期以来, 国内外学者和工程技术人员, 从不同的利用途径提出了大量的土壤含水率测定方法, 方法虽然很多, 但大致可以分为三类, 包括: 取样、定位和遥感。取样法包括物理法和化学法, 定位法中包括放射性法和非放射性法, 遥感监测又包括非接触式测量和远距离监测, 近红外反射法以其快速、无扰动、实时测量的优点被广泛应用于生产实践中。

二、理论体系

近红外光是指波长在 750 nm-2500 nm 范围内的电磁波, 习惯上又将近红外光划分为近红外短波 (750-1100 nm) 和长波 (1100-2500 nm) 两个区域。近红外光谱主要是由于分子振动的非谐性使分子振动从基态向高能级跃迁。近红外光谱记录的是分子中单个化学键的基频振动的倍频和合频信息, 分子振动可以用简谐振动模型来描述, 表达式如下:

$$E_v = (v + 1/2) \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (1)$$

式中: v 为振动量子数; h 为普朗克常数 ($6.63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg/s}$); k 为振动力常数; μ 为原子化学键减少的质量

只有连续能级之间 ($\Delta v = \pm 1$) 的跃迁是可能发生的, 它会引起分子偶极距的变化, 并引起中红外波段的吸收。

$$\Delta E_v = \Delta E_r = h\nu \quad (2)$$

式中: ΔE_r 是光的辐射能量; ν 化学键基频振动的频率

三、研究进展

国外土壤含水率与近红外光谱的研究始于 20 世纪 60 年代。国内利用近红外技术对土壤含水率的测量是在上世纪 90 年代发展起来的,主要是引进国外仪器,在实验室内进行建模并测量。

近红外光谱分析技术已广泛的应用于食品科学、医药卫生和农业生产等领域,但在土壤科学领域的应用起步较晚,发展缓慢,虽然它的应用潜力已经得到很多土壤科学家的认可。随着一些便携、灵活的近红外仪器的出现,通过掌握一些测量数据,可以实现对土壤参数的实时监测。

一般将近红外光谱分析技术分为三类(1)实验室测量;(2)近端感应测量;(3)遥感测量;后两种方法适合光谱数据的定点收集,因此常用于测量土壤特性光谱图。一些学者设计了近红外传感器,将其安装在牵引机上,作为行走式土壤含水率测量系统。近端感应测量技术包括手持式测量系统,能够实现现场快速检测土壤特性。Ben-Dor 等设计了一款近红外传感设备,能够现场收集土壤剖面的光谱信息,实现土壤特性参数的快速测量。

四、展望建议

4.1 模型发展

预测模型是基础,模型方法的建立和优化可以提高参数预测的准确性和精度,由于受多种条件和因素的影响,目前单一准确的土壤水分预测模型还很难实现,未来也是一个突破点和研究方向。

4.2 光谱数据库建设

为了更好的理解土壤光谱学中土壤可变性和复杂性,需要对土壤和光之间的相互作用关系有一个更加深刻的研究,揭示土壤反射和吸收的物理基础。未来,通过大量的数据收集和研究,建立全国土壤光谱数据库,进一步支撑我国土壤基础学科的发展。

4.3 先进仪器技术

目前的仪器只是在实验室内应用,而且价格昂贵。能够直接用在田间,针对性强,便携式的近端感应设备还比较少,因此,便携近红外土壤分析仪将是未来近红外光谱技术的发展方向。