

利用光谱数据快速检测土壤含水量的方法研究

宋 韬, 鲍一丹*, 何 勇

浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029

摘要 应用美国 ASD 公司的 FieldSpec HandHeld 型可见/近红外光谱仪获得了 52 份不同含水量土壤的可见/近红外漫反射光谱数据, 并通过实验测定了各土壤样本的含水量值, 运用相关系数法寻找出了光谱对于土壤水分的敏感波段, 然后利用单一敏感波段处的光谱数据建立了一元回归模型, 并检测了土壤含水量。实验结果表明, 该模型对土壤水分的检测效果比较好, 模型的预测相关系数 r 为 0.966 5, 预测均方根误差 RMSEP 为 0.012 1, 为快速、准确检测土壤含水量提供了一条新的途径。

关键词 可见/近红外光谱; 土壤含水量; 敏感波段; 一元回归模型

中图分类号: S123, TH744.1 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)03-0675-03

引言

水分是土壤的重要组成部分, 是影响植物生长和发育的重要因素, 同时也是评价土壤质量的一个关键指标。土壤水分信息的获取一直是农业工作者、地理和环境专家们关注的问题。然而, 一些传统的土壤水分测定方法, 如烘干称重法^[1]等, 其测量周期较长, 过程复杂, 费时费力。因此, 研究一种简单、快速的检测土壤水分信息的方法很有必要。

现代光谱分析技术综合应用了光谱学、计算机科学和化学计量学等学科的成果, 特点是分析速度快、效率高、成本低, 目前已经被越来越多的领域用来作定性或定量分析, 如药品行业^[2-5], 木材行业^[6-9], 石油行业^[10], 食品行业^[11-15]等。

本研究应用可见/近红外光谱技术, 寻找出光谱对于土壤水分的敏感波段, 建立了基于单个敏感波段的数学模型, 以反演土壤含水量, 其目的是寻找一种快速准确地检测土壤水分含量的方法。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

实验使用美国 ASD (analytical spectral device) 公司生产的 FieldSpec HandHeld 型光谱仪, 其光谱测定范围为 325 ~

1 075 nm, 采样间隔为 1.5 nm, 光谱分辨率为 3.5 nm, 探头视场角为 20°。光源采用与光谱仪配套的 14.5 V 卤素灯。分析软件采用 ASD View Spec Pro, Unscrambler V9.5 和 DPS (data procession system for practical statistics)。

1.2 样本采集与制备

实验土壤采自浙江大学华家池校区实验农场。将土样自然风干后适当磨细, 过 2 mm 孔径筛, 然后分成 52 份样本。向各样本中添加不同量的清水, 搅拌均匀后将每份样本分为 A 和 B 两组, 放置于密封袋中。A 组送土壤化学实验室测定含水量, B 组送光谱实验室测定光谱。

1.3 烘干称重法土壤含水量

采用经典的土壤烘干称重法测定土壤含水量, 测量结果的统计参数如表 1 所示。

1.4 土壤光谱测量

从 B 组取出样本迅速放入培养皿中, 培养皿底面半径约 5 cm, 深约 1 cm。光谱仪探头距土壤表面约 5 cm, 每个样本扫描 30 次, 为保证光谱数据具有代表性, 计算其平均值作为土壤样本最终的光谱反射率数据。

1.5 光谱数据预处理

为了降低基线漂移、光散射、高频随机噪声等影响, 先将光谱反射率数据 (用 R_e 表示) 进行 $\log(1/R_e)$ 变换, 然后采用 Savitzky-Golay 卷积平滑法处理, 选用平滑窗口为 3, 此时能够较好滤除各种高频噪声。所有预处理过程在 Unscrambler V9.5 软件中进行。为了得到更高的信噪比, 去除

收稿日期: 2007-11-22, 修订日期: 2008-03-02

基金项目: 国家科技支撑项目 (2006BAD10A0902), 浙江省重大科技攻关项目 (2005C12029), 宁波市重大科技攻关项目 (2007C10034), 浙江省自然科学基金项目 (Y307119) 和浙江省三农五方项目 (SN200504) 资助

作者简介: 宋 韬, 1983 年生, 浙江大学生物系统工程与食品科学学院硕士生

*通讯联系人 ydbao@zju.edu.cn

了部分噪声数据,保留 420 ~ 1 019 nm 波段的数据进行分析。

Table 1 Statistic parameters of the soil moisture content

	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
土壤质量含水量	52	0.012 2	0.177 1	0.064 2	0.047 1	0.733 8

2 试验结果与分析

2.1 土壤含水量的敏感波段

计算各波段光谱数据与土壤含水量的相关系数,如图 1 所示,880 nm 附近,901 ~ 903 nm,924 ~ 929 nm 为较敏感的波段,其相关系数均达到了 0.98 以上。其中,928 nm 处相关系数最大,为 0.981 2,故选用该处光谱数据建立土壤水分检测模型。

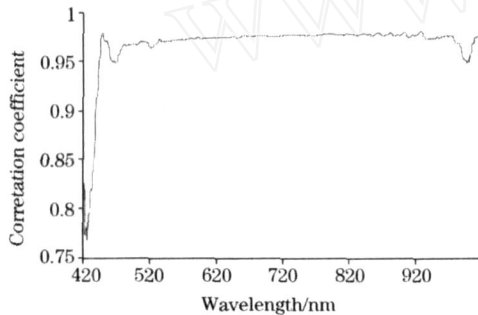


Fig 1 Correlation coefficient between spectral data of different bands and soil moisture content

2.2 一元回归模型的建立

为了把握光谱数据与土壤含水量之间的函数关系,先将敏感波段处的光谱数据作为横坐标,与之对应的土壤含水量数据作为纵坐标,在该坐标系下描出各个点,如图 2 所示。可以发现处理后的光谱数据与土壤含水量数据呈指数函数关系。

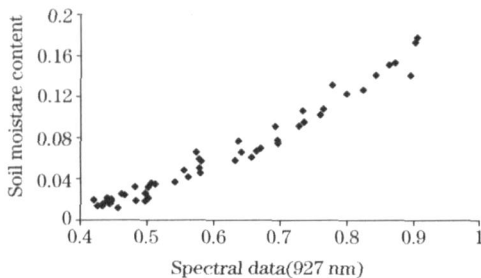


Fig 2 Relations between spectral data and soil moisture content

利用样本集中 32 个样本数据,经过不断修正,最终建立的指数模型为

$$Y = 0.004 98e^{3.9304 X_{927}} \quad (1)$$

式中 X_{927} 代表 927 nm 处经过预处理后的光谱反射率数据, Y 代表土壤含水量。

2.3 模型检验

为了检验一元回归模型的显著性,对模型进行了 F 检验,并且对模型参数进行了 t 检验,数据见表 2。各项检验参数都远远大于检验临界值,因此该模型在所列显著水平上高度显著。

Table 2 Significance testing parameters of the model

检验类型	检验参数值	显著水平
模型的 F 检验	893.403 6	0.001
系数 0.004 98 的 t 检验	7.729 2	0.000 5
系数 3.930 4 的 t 检验	24.689 8	0.000 5

为了检验模型的预测效果,将样本集中未参与建模的 20 个样本的光谱数据代入模型中,然后将模型预测值与实测值做相关分析,求出二者的拟和回归方程。模型的预测精度主要通过预测相关系数 r 和预测均方根误差 RMSEP 两个参数来检验,计算公式如下

$$r = \frac{\text{Cov}(y_p, y)}{y_p y} \quad (2)$$

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{\sum (y_p - y)^2}{n_p}} \quad (3)$$

式中: y_p 为模型预测值, y 为实测值, n_p 代表预测样本的数量。

图 3 显示了模型的预测检验结果,可以看出模型的预测相关系数 r 达到了 0.966 5,而预测均方根误差 RMSEP 仅为 0.012 1,因此模型的预测效果比较理想。

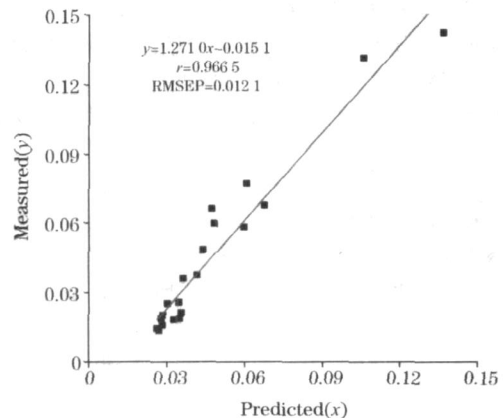


Fig 3 Prediction results of soil moisture content

3 结论

应用可见/近红外光谱技术,通过相关系数法找出光谱对于土壤水分的敏感波段,并通过单一敏感波段建立了一元回归模型检测土壤含水量。该模型的预测值与实测值之间的相关系数 r 达到了 0.966 5,预测均方根误差 RMSEP 仅为 0.012 1,水分检测结果令人满意。因此,利用可见/近红外光谱技术,通过建立基于单个敏感波段的一元回归模型,可以实现对土壤水分含量的快速准确检测。

参 考 文 献

- [1] BAO Shi-dan(鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis(Third Edition)(土壤农化分析,第3版). Beijing: China Agriculture Press(北京:中国农业出版社), 2000. 3.
- [2] ZHAO Chen, QU Hai-bin, CHENG Yi-yu(赵琛,瞿海斌,程翼宇). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(1): 50.
- [3] LIU Shu-hua, ZHANG Xue-gong, ZHOU Qun, et al(刘沐华,张学工,周群,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(4): 629.
- [4] LU Yong-jun, QU Yan-ling, FENG Zhi-qing, et al(芦永军,曲艳玲,冯志庆,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 490.
- [5] Shao Yongni, He Yong, Hu Xingyu. Applied Optics, 2007, 46(34): 8379.
- [6] JIANG Ze-hui, HUANG An-min, FEI Ben-hua, et al(江泽慧,黄安民,费本华,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(7): 1230.
- [7] JIANG Ze-hui, HUANG An-min(江泽慧,黄安民). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(8): 1464.
- [8] HUANG An-min, JIANG Ze-hui, LI Gai-yun(黄安民,江泽慧,李改云). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(7): 1328.
- [9] JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, YANG Zhong(江泽慧,费本华,杨忠). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 435.
- [10] BAO Feng-wei, LIU Jing-yan(鲍峰伟,刘景艳). Guizhou Chemical Industry(贵州化工), 2006, 31(6): 34.
- [11] HE Yong, LI Xiao-li(何勇,李晓丽). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2006, 25(3): 192.
- [12] Wu Di, He Yong, Feng Shuijuan, et al. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 124.
- [13] SHAO Yong-ni, HE Yong(邵咏妮,何勇). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2006, 25(6): 478.
- [14] QIU Zheng-jun, LU Jiang-feng, MAO Jing-yuan, et al(裘正军,陆江锋,毛静渊,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(8): 1543.
- [15] He Yong, Li Xiaoli, Deng Xunfei. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1238.

Research on the Method for Rapid Detection of Soil Moisture Content Using Spectral Data

SONG Tao, BAO Yi-dan*, HE Yong

College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract Spectroscopy technique is one of the qualitative and quantitative analytical techniques developed quickly in recent years. The spectral analysis is a fast and non-destructive method and has been used in many fields such as oil industry, food industry and so on. In the present paper, the spectral band sensitive to soil moisture content was found from the visible/ near infrared spectra and a monadic linear regression model based on the data of sensitive spectral band was applied to develop a method for rapid detection of soil moisture content. The spectral data of 52 soil samples were collected by using FieldSpec HandHeld spectroradiometer made by ASD (Analytical Spectral Device) company in the US, and the data of soil moisture content were obtained by experiment. The spectral band sensitive to soil moisture content was achieved by correlation coefficient method. Then, the data of sensitive spectral band were used to build monadic linear regression model of soil moisture content. Finally, the model was employed for the prediction of soil moisture content. Correlation coefficient (r) of prediction and root mean square error of prediction (RMSEP) were used as the evaluation standards. The results indicated that the r and RMSEP for the prediction of soil moisture content were 0.966 5 and 0.012 1 respectively. Thus, it is concluded that the method used in this paper is an available method for the rapid detection of soil moisture content based on the visible/ near-infrared spectra.

Keywords Visible/ near-infrared reflectance spectra; Soil moisture content; Sensitive band; Monadic linear regression model

*Corresponding author

(Received Nov. 22, 2007; accepted Mar. 2, 2008)