

作物植被覆盖度的高光谱遥感估算模型

朱蕾^{1,2}, 徐俊锋^{1,3}, 黄敬峰^{1,3}, 王福民^{1,3*}, 刘占宇^{1,2}, 王渊^{1,2}

1. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029
2. 环境修复与生态健康教育国家重点实验室, 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029
3. 浙江省农业遥感与信息技术重点研究实验室, 浙江 杭州 310029

摘要 通过大田试验, 使用 ASD 光谱仪测量了油菜、玉米、水稻三种作物不同覆盖度水平下的冠层光谱, 同时拍照获取植被图片并用计算机求算了植被覆盖度。利用三种作物光谱求算“红边”变量, 并对波段两两组合求算归一化植被指数(NDVI), 建立这些光谱变量与覆盖度之间的估算模型, 得到适用于三种作物的最优估算模型和最佳的 NDVI 波段组合。另外, 利用响应函数模拟了 TM 归一化植被指数, 同植被覆盖度进行了相关分析, 回归方程的 R^2 达到 0.80, 并通过了预留数据的检验, 为 TM 数据植被覆盖度估算进行了探索性的研究。

关键词 作物; 植被覆盖度; 归一化植被指数; “红边”变量; 高光谱估算模型

中图分类号: S127 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2008)08-1827-05

引言

植被覆盖度是指植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积之比, 即植土比^[1], 是定量描述植被冠层和土壤的相对参数。作为重要的生态气候参数, 植被覆盖率是许多全球及区域气候数值模型中所需的重要信息, 也是描述生态系统的重要基础参数^[2]。传统的植被覆盖度是通过样方实测完成, 对于大范围植被覆盖度的估算很不现实。

随着遥感学科的发展和遥感数据获取成本的不断降低, 利用遥感资料估算覆盖度, 监测覆盖度变化成为必然的趋势。高光谱遥感可以直接对地物进行微弱光谱差异的定量分析, 在植被覆盖度、生物量、叶面积指数以及生物化学参数估算研究与应用方面表现出强大优势^[3-8]。目前对植被覆盖度高光谱研究中, 主要通过建立植被覆盖度和光谱变量的关系来估算植被覆盖度, 研究以单一植被为主^[8-9]。进一步研究应该开展多种植被类型覆盖度光谱分析, 找出不同植被类型较为通用的估算模型。

本次研究选择油菜、水稻和玉米三种不同类型的作物, 首先比较分析单一作物样本数据和作物混合样本数据植被覆盖度和波段反射率相关关系, 确认混合样本数据进行植被覆盖度高光谱分析和估算的可行性; 然后对混合样本数据进行

分析, 根据与植被覆盖度相关系数较高的原则选择最优的归一化植被指数波段组合和波段范围, 分析植被覆盖度和高光谱特征变量、归一化植被指数的相关关系, 从而确定最优的植被覆盖度高光谱估算模型。最后, 利用高光谱数据模拟陆地卫星 TM₄ 和 TM₃ 波段计算归一化植被指数, 建立同植被覆盖度的估算方程。

1 材料和方法

1.1 试验设计

油菜、玉米、水稻试验地点设置在浙江大学试验场, 油菜光谱观测时间分别为 2003 年 3 月 2 日、3 月 7 日、3 月 21 日和 11 月 23 日, 共 132 个样本; 玉米光谱观测时间分别为 2002 年 6 月 1 日和 6 月 9 日、2003 年 4 月 22 日和 2004 年 7 月 1 日, 共 132 个样本; 水稻光谱观测时间分别为 2004 年 7 月 20 日、8 月 8 日和 8 月 28 日, 共 80 个样本。其中 194 个样本用于分析和建模, 150 个样本用于检验。

以上观测时间均天气状况良好, 无云无风。观测于每天 10:00~15:00 内完成, 光谱观测的同时进行了植被覆盖情况的拍摄。

1.2 测量方法

观测使用的仪器为美国 ASD(analytical spectral device)

收稿日期: 2007-03-28, 修订日期: 2007-06-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571115), 国家科技支撑计划项目(2006BAD10A09, 2006)和国家“863”课题项目(2006AA10Z203)资助
作者简介: 朱蕾, 女, 1979 年生, 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所博士研究生 e-mail: zhulei112@sohu.com

* 通讯联系人 e-mail: wfm@zju.edu.cn

公司的 ASD FieldSpec Pro FRTM 光谱仪, 波段值为 350~2 500 nm, 其中 350~1 000 nm 光谱采样间隔为 1.4 nm, 光谱分辨率为 3 nm; 1 000~2 500 nm 光谱采样间隔为 2 nm, 光谱分辨率为 10 nm。利用该仪器测定水稻、玉米、油菜的冠层光谱反射率, 测量时基本无云无风, 传感器探头垂直向下, 视场角为 2° , 距离冠层顶端约为 0.7 m。

植被覆盖通过数码相机拍摄获得, 为了保证植被覆盖度的准确性, 保证和光谱测量范围相对应, 在拍摄前放置一铝圈于植物周围, 铝圈大小尽量和光谱仪的视场角范围一致; 拍摄时相机垂直向下, 保证整个铝圈在拍摄范围内。植被覆盖度的求算在地理信息系统软件中, 通过数字化后计算面积比求得, 也可用其它计算机自动提取方法^[10], 本研究则选用 MATLAB 编制的绿色植物覆盖度计算软件来完成。

1.3 “红边”变量和归一化植被指数作自变量进行植被覆盖度估算

植被覆盖度估算主要选择“红边”变量和归一化植被指数两类光谱变量。

有研究表明, “红边”是鉴定叶绿素含量(浓度)的一重要光谱变量^[11], 用“红边”位移量探测低覆盖度植被亦有效^[8, 9, 12], 因此研究选取“红边”位置和面积变量来探讨和植被覆盖度的关系。其中, “红边”指“红边”内一阶微分光谱的最大值, 覆盖 680~780 nm; “红边”位置变量是一阶微分光谱最大值对应的波长位置(nm); “红边”面积变量为“红边”波长范围内一阶微分波段值总和。

归一化植被指数(NDVI)与叶面积系数、植被覆盖度、生物量、作物长势等植被参数密切相关, 但对于高光谱而言, NDVI 波段组合有很多, 需要确定较为有效的波段及其范围。波段选择方法主要包括: 逐步回归选择法、简单波段自相关选择法和主成分系数权重选择法等^[13, 14], 本研究进行的植被指数波段选择, 是通过比较所有波段两两组合求算的植被指数和植被覆盖度的相关系数大小, 来确定作物植被覆盖度估算较优的植被指数波段和波段范围。由于运算量较大, 运算通过 MATLAB 编程实现。

另外, 根据光谱响应函数可以模拟卫星传感器波段的反射率, 在对植被覆盖度和窄波段植被指数进行分析后, 利用高光谱数据模拟陆地卫星 TM₄ 和 TM₃ 波段计算归一化植被指数, 分析和植被覆盖度的关系。

2 结果与讨论

2.1 作物高光谱反射率特征及其与覆盖度的相关分析

图 1 为三种作物不同覆盖度水平下光谱反射率曲线图, 从图中可见, 随着覆盖度的增大, 可见光谱段内光谱反射率基本上表现为逐渐减小的趋势, 近红外波段内光谱反射率则逐渐增大, 并且其增大的幅度要比可见光波段减小幅度大。图 2 为不同谱段光谱反射率和植被覆盖度的相关关系图, 由图 2 可以看出, 无论是单独一种作物还是三种作物的混合数据, 在可见光谱段内, 只在“绿峰”(波长 540 nm 左右)处, 相关系数发生了明显的减少(油菜最明显), 蓝光波段(450 nm 为中心)和红光波段(670 nm 为中心)植被覆盖度和光谱反射

率均呈较好的负相关。在近红外(740~1 300 nm)谱段内, 不同作物的光谱反射率和植被覆盖度均呈较好的正相关, 相关系数差别不大。而短波红外的 1 350~1 550 nm 和 1 750~2 000 nm 谱段范围内, 各种作物的相关系数差异明显。

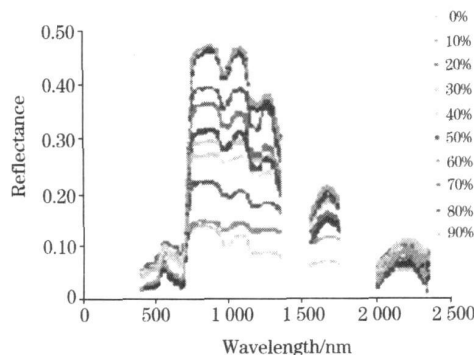


Fig. 1 Original spectrum of three crop at different vegetation coverage level

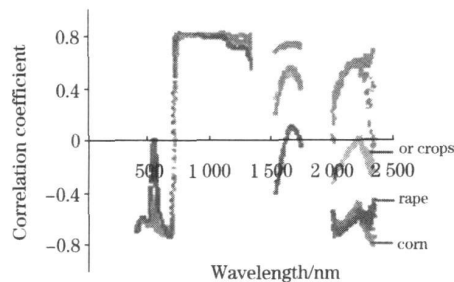


Fig. 2 Correlogram of natural spectra to vegetation coverage percentage

以上分析表明在红光、蓝光和近红外谱段, 三种作物单独样本和混合样本数据植被覆盖度和光谱反射率的相关系数表现相似, 并不因不同作物类别而有很大差别, 因此在这些谱段范围内可考虑建立对三种作物有一定通用性的植被覆盖度估算模型。

2.2 植被覆盖度同红边变量的关系

对三作物混合数据的光谱进行一阶微分变换得到有关的“红边”变量, 分析光谱变量和植被覆盖度的关系, 得到如下相关关系图, 如图 3。

由图 3 可以看出, 无论哪个“红边”变量和植被覆盖度都有一定的相关性的, 而且都呈一次线性相关。其中, “红边”位置的出现是不连续的, 虽然 r^2 达到 0.65, 但并不能量化估算植被覆盖度, “红边”面积 r^2 最高, 达到 0.72, 可以用来估算植被覆盖度。

2.3 植被覆盖度窄波段植被指数波段选择

对可见光的蓝光、红光谱段和近红外谱段内波段两两组合计算 NDVI, 并求算这些植被指数和植被覆盖度的相关系数得到相关系数矩阵。观察矩阵可以看出, 和植被覆盖度相关系数较高的 NDVI 组合为 350~590 nm 谱段内波段同 710~1 150 nm 谱段内波段组合以及 590~710 nm 谱段内波段同 710~1 300 nm 谱段内波段的组合, 相关系数均达 0.80 以

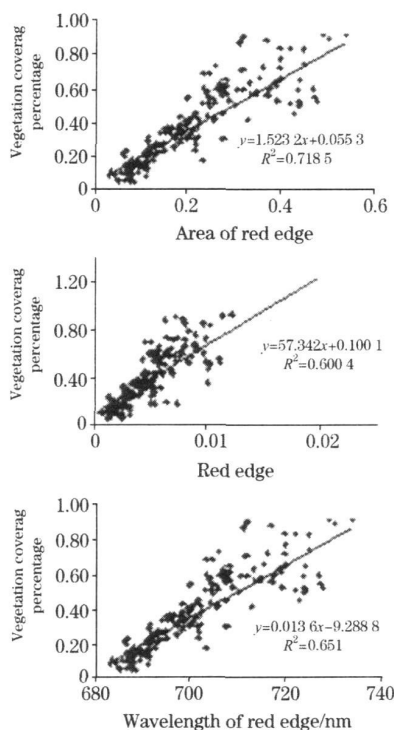


Fig. 3 Estimated model of vegetation coverage percentage using red edge variables as independent variable

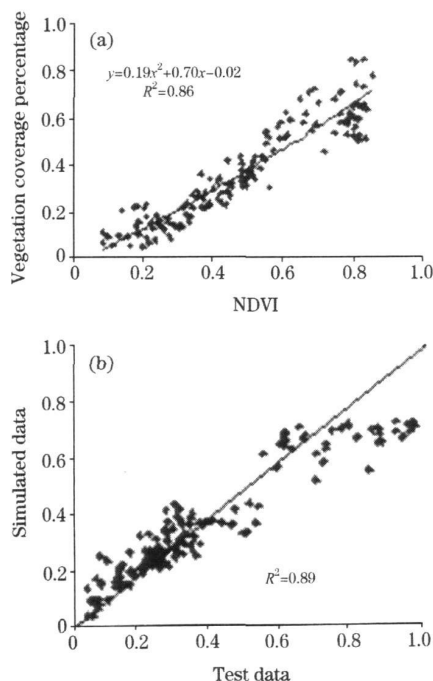


Fig. 4 Best hyperspectral model for vegetation coverage percentage estimation using NDVI as independent variables

(a): Scatter map of NDVI and vegetation cover percentage; (b): Scatter map of test data and simulated data

上, 1 120~1 350 nm 波段内的波段和其他波段组合、350~430 nm 波段内波段和 525~560 nm 波段内波段组合、530~

560 nm 波段内波段和 450~540 nm 波段内波段组合, 相关系数也在 0.7 以上。波段 921 和 696 nm 组合的植被覆盖度估算模型相关系数最高, R^2 为 0.86, 估算方程为: $0.19NDVI_{696-921}^2 + 0.70NDVI_{696-921} - 0.02$, 并通过了预留的 150 个地面观测数据的检验(图 4), 均方根误差为 9.37%。

另外, 相关系数矩阵显示对应于 Landsat4, 5, 7 的 TM_3 (630~690 nm) 和 TM_4 (760/775~900 nm) 内的波段组合计算的 NDVI 和植被覆盖度的相关关系也均在 0.8 以上, 这更好的证明 TM 的 3 和 4 波段 NDVI 是可以用来并已经被用来反演植被覆盖状况。为进一步研究, 根据 TM 光谱响应函数, 利用测得的高光谱数据模拟 TM_3 和 TM_4 波段, 并计算归一化植被指数, 同植被覆盖度进行回归分析。结果显示, 无论对油菜、玉米、水稻样本数据还是三种作物的混合样本数据进行建模, 都以一元二次模型为最好。而用混合样本数据, 求算植被覆盖度 NDVI 估算方程为 $0.75NDVI_{TM_4, 3}^2 + 0.05NDVI_{TM_4, 3} + 0.05$, R^2 为 0.80。利用预留的 150 个地面观测数据进行检验, 真实数据和模拟数据相关性较强, 如图 5, 均方根误差为 9.23%。

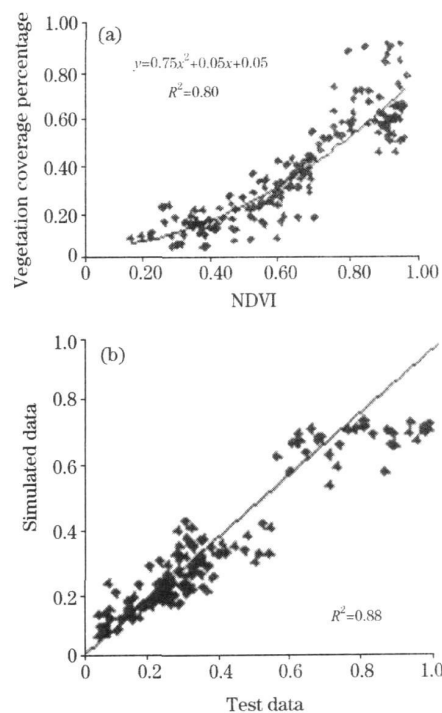


Fig 5 Hyperspectral estimation model of vegetation coverage percentage using NDVI of simulated TM_4 and TM_3

(a): Scatter map of NDVI and vegetation cover percentage; (b): Scatter map of test data and simulated data

3 结论与讨论

通过上述实验结果与分析, 可以得到以下结论。

(1) 在蓝光、红光和近红外波段区, 光谱反射率和植被覆盖度相关性均很好, 而且并不因玉米、油菜和水稻作物类型不同而有明显差异。

(2) 植被覆盖度和“红边”变量呈一次线性相关, 以“红

边”面积相关系数最好,而“红边”位置则分布在 691~736 nm 之间。通过不同波段两两组合计算的植被指数和植被覆盖度进行相关分析,发现 350~590 nm 谱段内波段同 710~1150 nm 谱段内波段组合以及 590~710 nm 谱段内波段同 710~1300 nm 谱段内波段的组合,相关系数均在 0.8 以上,最好的波段组合为 696 和 921 nm,最终确定的植被覆盖度高光谱估算模型为 $0.19NDVI_{696-921}^2 + 0.70NDVI_{696-921} - 0.02$,拟合结果通过了极显著检验和预留数据检验,可以用来估算作物植被覆盖度。

(3) 植被覆盖度和高光谱模拟的 TM 归一化植被指数有

很强的相关性,得到的估算方程为: $0.75NDVI^2 + 0.05NDVI + 0.05$,通过了预留数据检验。因为研究数据为三种作物的样本混合,因此模型有一定的通用性,为地面试验数据向卫星遥感应用的推进做了探索性的研究。

另外,因为条件限制,研究只对三种作物进行了研究,在以后研究中应逐步扩展。虽然利用预留的小区试验数据检验了以模拟 TM 归一化植被指数作变量的植被覆盖度估算模型,但对模型的 TM 影像应用和精度检验未作更深入的探讨,有待深入。

参 考 文 献

- [1] ZHAO Ying shi(赵英时). Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications(高光谱遥感及其应用). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 2003. 391.
- [2] Sellers P J, Los S O, Tucker C J, et al. Journal of Climate, 1996, 9: 706.
- [3] Blackburn G A. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 273.
- [4] LI Jur xia, MIN Shur geng, ZHANG Hong liang, et al(李君霞, 闵顺耕, 张洪亮, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(5): 833.
- [5] WEI Liang-ming, JIANG Hai-ying, LI Jur hui, et al(魏良明, 姜海鹰, 李军会, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(9): 1404.
- [6] BAI Qi-lin, CHEN Sha-jing, DONG Xiao-lin, et al(白琪林, 陈绍江, 董晓玲, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(11): 1345.
- [7] Tang Y L, Wang R C, Huang J F. Pedosphere, 2004, 14(4): 467.
- [8] Liu Z Y, Huang J F, Wu X H, et al. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(3): 299.
- [9] LIU Zharr-yu, HUANG Jing-feng, WU Xir-hong, et al(刘占宇, 黄敬峰, 吴新宏, 等). Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报), 2006, 17(6): 955.
- [10] Zhou Q, Robson M. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22: 3457.
- [11] Curran P J, Windham W R, Gholz H L. Tree Physiology, 1995, 15: 203.
- [12] Elvidge C D, Chen Z, Groeneweld D P. Remote Sensing of Environment, 1993, 44: 271.
- [13] Huang Z, Turner B J, Dury S J. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 18.
- [14] Thenkabail P S, Enclona E A, Ashton M S, et al. Remote Sensing of Environment, 2004, 91: 354.

Study on Hyperspectral Estimation Model of Crop Vegetation Cover Percentage

ZHU Lei^{1, 2}, XU Jur feng^{1, 3}, HUANG Jing feng^{1, 3}, WANG Fu min^{1, 3*}, LIU Zharr-yu^{1, 2}, WANG Yuan^{1, 2}

1. Institute of Agriculture Remote Sensing and Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
2. Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecological Health, College of Natural Resources and Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
3. Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing & Information System, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract In order to boost the study and application of hyperspectral remote sensing for the estimation of crop vegetation coverage percentage, an ASD FieldSpec Pro FRTM spectroradiometer was used for canopy spectral measurements of rape, corn and rice at different vegetation cover levels and photos of individual plants were taken simultaneously in order to calculate the vegetation cover percentage in computer. Firstly, data of three crops respectively and the mixed data of them were used to make correlation analysis between vegetation coverage percentage and reflectance spectra. There was a high correlation between them and no obvious difference in correlation coefficient among different types of crop in the region of blue, red and near infrared band. This indicated that it was feasible to make correlation analysis and build estimation model using mixed data. Secondly, mixed data

were used as unique analytical data to calculate red edge variables and pair combination of bands in the region of blue, red and near infrared band was used to calculate normal difference vegetation index (NDVI). Hyperspectral estimation models with NDVI and red edge variable as independent variable were built individually. The correlation coefficient of the former was larger than the latter, which indicated that NDVI was most effective for the estimation of vegetation coverage percentage. Effective wavelength combinations of NDVI for vegetation cover percentage estimation were determined based on the principle of higher correlation coefficient. NDVI combined with bands in the regions from 350 to 590 nm and from 710 to 1 150 nm or bands in the regions from 590 to 710 nm and from 710 to 1 300 nm are most effective for vegetation coverage percentage estimation. The best estimation model is simple quadratic equation using $NDVI_{66-921}$ as independent variable. The correlation coefficient matrix shows that most of the correlation coefficients of vegetation coverage percentage and NDVI combined with bands in the regions from 630 to 690 nm and from 760 to 900 nm are larger than 0.8. These two band regions correspond to TM_3 and TM_4 of landsat 4,5,7. It proves that $NDVI_{TM_3-TM_4}$ can be used to and has been used to simulate vegetation coverage percentage. In order to further the study, TM_3 and TM_4 of Landsat5 was modeled according to spectral response function to calculate NDVI. Correlation analysis was made with NDVI and corresponding vegetation coverage percentage. The correlation coefficient of them was 0.80 and the regression equation was verified by experimental data. This is exploratory research for the calculation of vegetation coverage percentage using TM data in large area.

Keywords Crop; Vegetation cover percentage; Normalized difference vegetation index; Red edge variable; Hyperspectral estimation model

* Corresponding author

(Received Mar. 28, 2007; accepted Jun. 29, 2007)

(上接 1818 页)

②字体要求: 标题(黑体标准三号居中); 作者姓名(黑体标准五号居中); 工作单位(宋体标准五号居中, 含城市名称, 邮政编码和 e-mail 地址并用逗号分开); 摘要和关键词(宋体标准五号); 正文(宋体标准小四号); 图表(宋体标准五号)。用 A4 纸中文 Office Word 97 以上版本软件录入(生成 .doc 文件)。

③图表要求: 图表设计简明扼要, 大小适中, 字体为宋体标准五号。表中不要竖边框线, 统一用“三线表”。图表中均不要有英文出现。

④参考文献要求: (示例)

专著: 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术. 北京: 中国石化出版社, 2000. 125

期刊: 褚小立, 袁洪福, 陆婉珍. 近红外分析中光谱预处理及波长选择方法进展与应用, 化学进展, 2004, 16(4): 528-542

专利: 王艳斌, 罗爱兰, 陆婉珍, 等. 沥青中蜡含量的测定方法. 中国专利, 00105684.0. 2000-04-18

学位论文: 田高友. 小波变换用于柴油近红外光谱分析: [学位论文]. 北京: 石油化工科学研究院, 2004

会议论文: 许育鹏, 袁洪福, 陆婉珍. 拓朴结合近红外光谱测定汽油性质的初步探索. 第六届石油和石油化工系统光谱分析技术报告会, 北京, 2002

五、重要时间

征文截稿日期: 2008 年 7 月 25 日

第三轮通知(论文录用通知): 2008 年 8 月 15 日

第四轮通知(会议通知): 2008 年 9 月 20 日

参展厂商报名截止日期: 2008 年 10 月 20 日

会议召开日期: 2008 年 11 月 20~22 日(暂定, 以第四轮会议通知为准)

六、联系方式

联系人: 易伦朝 王 兵 范 伟 张志敏 电 话: 0731-8830824

电子邮件: nir2008@sina.com, nir2008@126.com(建议向 2 个邮箱同时发送)

通讯地址: 湖南长沙中南大学主校区化学化工学院 邮 编: 410083

会议信息可见官方网站: <http://www.nir2008.com> 光谱学与光谱分析网站: <http://www.gpxygpfx.com/>

中国仪器仪表学会近红外光谱分会主办

中南大学、湖南大学承办

《光谱学与光谱分析》协办

2008 年 4 月 20 日