

棉花枯萎病的光谱识别

田会东^{1,2}, 谢宝瑜^{1*}, 赵永超³, 耿修瑞³, 简桂良⁴, 于 凯⁵

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害国家重点实验室, 北京 100080; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国科学院遥感应用研究所, 遥感信息科学国家重点实验室, 北京 100101; 4. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094; 5. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要:采用“积分球—光谱仪”联用技术测量了健康棉叶和感染了枯萎病的棉叶的光谱反射率, 发现健康棉叶与感病棉叶在光谱曲线上有很高的可区分性。用健康棉叶的波谱带作为分类器分别对“健康—发病期”和“健康—潜病期”两组棉叶的波谱集合进行分类, 总体分类精度分别为 100% 和 92%。将测得的光谱数据转化为 Landsat TM 卫星多光谱数据, 同样用健康棉叶的光谱带对以上两组波谱集进行分类, 总体分类精度分别为 96% 和 92%。试验结果为遥感技术在监测棉花枯萎病上的应用提供了理论支持。

关键词:棉花; 枯萎病; 积分球; 光谱; 总体分类精度

中图分类号:S435.621 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2008)01-0051-05

Using Spectral Data to Distinguish Cotton *Fusarium* Wilt Disease

TIAN Hui-dong^{1,2}, XIE Bao-yu^{1*}, ZHAO Yong-chao³, GENG Xiu-rui³, JIAN Gui-liang⁴, YU Kai⁵

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, CAS, Beijing 100080, China; 2. Biology Department, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Remote Sensing Information Science State Key Laboratory, CAS, Beijing 100101, China; 4. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, CAAS, Beijing 100094, China; 5. School of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: *Fusarium* wilt of cotton is a widespread and destructive disease which is caused by the fungus pathogen *Fusarium oxysporium* f. sp. *vasinectum*. As a new technique, remote sensing can play a great role in precision agriculture, such as crop production evaluation, crop growth monitor, and so on. The purpose of this study is to evaluate the probability of using remote sensing technique to distinguish healthy cotton and cotton infected by *Fusarium* wilt disease based on the spectrum theory. The study was executed in the experimental field of the Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences on 10th June, 2005, when the cotton plants had about 5 to 7 leaves. The cotton variety were EJing 1, which were grouped in healthy and infected. The second and the third new fully opened leaves on the top of 13 healthy cotton plants and 24 infected cotton plants were selected to measure their spectrum reflectivity, respectively. For infected plants, their leaves were classified to damaged and not damaged categories according to their appearance. This study used spectroradiometer-integrating sphere to acquire reflective spectrum data. Using this technique, the shortcomings caused by natural light and timing can be avoided. The integrating sphere used in this study is LICOR 1800-12 external integrating sphere, and the spectroradiometer is ASD Fieldspec FR2500.

收稿日期:2006-12-04 **作者简介:**田会东(1981-), 男, 在读硕士, tienhuitung@163.com; * 通讯作者, xieby@ioz.ac.cn
基金项目:“十五”国家科技攻关项目(2001BA509B)

Though the spectral response ranges from 350 nm to 2500 nm, limited by the properties of the light quality of integrating sphere, only the data ranges from 400 nm to 950 nm were used to analyze. All the spectrum data were sorted to class A (healthy and damaged cotton leaves) and class B (healthy and infected but not damaged cotton leaves). Because the reflective spectrum of one object is not a curve but a strip, so we can assume that if some object's reflective spectra fall into the strip of another object then they are the same object; Otherwise, they are different. According to the figure of class A and class B, we can obviously find that the healthy cotton leaves' spectrum concentrate to a thin strip, so healthy cotton leaves' spectrum strip was used as a filter to distinguish class A and class B. The classification accuracy of class A and class B was 100% and 92%, respectively. Classification accuracy was defined as the ratio of samples correctly classified to total samples. In practical application, Landsat-5 TM remote sensing images multispectral data, which have four bands among 400 nm to 900 nm are mostly used, so we translated the hyperspectral data to landsat-5 multispectral data by averaging the value of each bands spectral range. Also using healthy cotton leaves' spectrum strip (Landsat-5) as filter to distinguish class A and class B, the classification accuracies were 96% and 92%, respectively. The results suggest the possibility of using multispectral remote sensing for the survey of cotton disease impacts and merit further study. However, because the high quality reflective spectral data acquired from spectral-radio-integrating sphere avoided the shortcomings caused by natural light and background noise, so in practical application, it is hard to acquire the data above, and the distinguishing accuracy will be lower.

Key words: cotton; *Fusarium* Wilt; integrating sphere; spectral; total classification accuracy

棉花枯萎病是一种由棉花枯萎镰孢菌(*Fusarium oxysporium* f. sp. *vasinfectum*)引起的,极具毁灭性的棉花病害,在环境条件有利于枯萎病发生的情况下可导致棉花大幅度减产^[1]。遥感技术的发展和应用于作物的长势监测、种植面积调查和产量估算提供了一个新的科学手段^[2-3]。高光谱遥感技术以其较高的光谱分辨率在植物生物物理参数的遥感定量研究和产量估计中已表现出巨大的应用潜力。利用高光谱遥感技术可以快速精确地获取作物生长状态和环境胁迫的各种信息,是未来精准农业和农业可持续发展的重要手段^[4]。

我国在棉花高光谱遥感上的研究多集中在棉花光谱反射率(或导数光谱反射率)与棉花的农学参数,生理参数和水、氮胁迫的相关性分析。唐延林等^[5-6]研究发现,随着发育期的推移,棉花冠层光谱反射率在可见光范围内降低,在近红外区域增高;叶面积指数,鲜叶重,干叶重和叶绿素含量等与红边的位置、幅值、面积均存在显著的相关性。王秀珍等^[7]指出应用导数光谱法研究棉花光谱特征可以有效地消除土壤背景的影响,在寻找特征波长方面具有广阔的应用潜力。黄春燕等^[8-9]研究发现,748 nm 波段处的一阶微分光谱值与棉花干物质积累量有较高的相关性;反射光

谱“红谷”区的数值积分面积和最低反射率与叶片光合速率呈显著的线性负相关,并指出用“绿峰”的偏移作为棉花功能衰退的指标是不可取的。柏军华等^[10]以棉花全生育期叶面积指数与棉花产量的关系和近地高光谱遥感参数模型监测的多时相叶面积指数,可以很好地预测棉花产量。王登伟等^[11]指出棉花一阶微分光谱值与棉叶叶绿素浓度有很高的正相关性,群体叶面积指数与NDVI呈很好的对数相关性,红边的积分面积与冠层叶片的全氮含量有很高的正相关性。冯先伟等^[12]发现可见光和近红外波段光谱反射率能够反映出棉花生长发育的动态特征,棉花的花龄期是高光谱遥感对棉花长势和生理参数定量诊断的最佳时期。

棉花枯萎病可以造成棉叶皱缩,失水,叶片紫红色或出现黄色网纹,使棉花的生理参数发生较大改变,这种变化必然会反映在棉叶的光谱曲线上。因此,可以通过分析健康棉叶和感病棉叶的光谱曲线来区分这两种类型的棉花。本文采用“积分球—光谱仪”联用技术测量了健康棉叶和感染了枯萎病棉叶的光谱反射率曲线,找出了合适的分类方法,为遥感技术在监测棉花病害上的应用提供了理论支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

测量工作于 2005 年 6 月 10 日在中国农业科学院植物保护研究所的实验田进行。所选棉花品种为鄂荆 1 号。测量时间为 10:45-14:25;测量对象分为两类:一类为健康棉株,一类为感染了枯萎病菌的棉株。测量时,各类棉株有 5~7 片真叶。

选取健康棉株 13 棵,测量其第二、第三片完全展开的顶叶,共得 26 个健康棉叶样本。选取感染了枯萎病菌的棉株 24 棵,测量其第二、第三片完全展开的顶叶,如果所测棉叶可用肉眼识别出已经感染了枯萎病,则将其划为“发病期”一类,如果肉眼不能判断其是否已经感染了枯萎病,则将其划为“潜病期”一类(因为此时枯萎病菌对该叶片的危害尚未表现出来)。如此,共得发病期棉叶 26 个样本,潜病期棉叶 22 个样本。

1.2 仪器与测量

采用“积分球—光谱仪”联用的技术来获取棉叶的光谱反射率曲线。本试验所用积分球为美国 LI-COR 公司的 1800-12 型外积分球。试验所用的光谱仪为美国 ASD Fieldspec 公司的 FR 2500 型野外便携式光谱仪。其光谱响应范围为 350~2500 nm,光谱分辨率在 350~1000 nm 区间为 3 nm,在 1000~2500 nm 区间为 10 nm。测量时取样间隔设为 1 nm,即每隔 1 nm 获得一个测量值。

测量过程可分为两步:第一步为采集棉叶样本,并记录其性状(每次采 2 片叶子)。第二步为测量棉叶的光谱反射率,具体的方法是:每次测量棉叶之前首先测量积分球参考板的反射能 I_r ,然后马上测量棉叶的反射能 I_s 。参考板的反射率 R_r 为已知,所以棉叶的光谱反射率 R_s 可以通过公式(1)求得。

$$R_s = (I_s / I_r) \times R_r \quad (1)$$

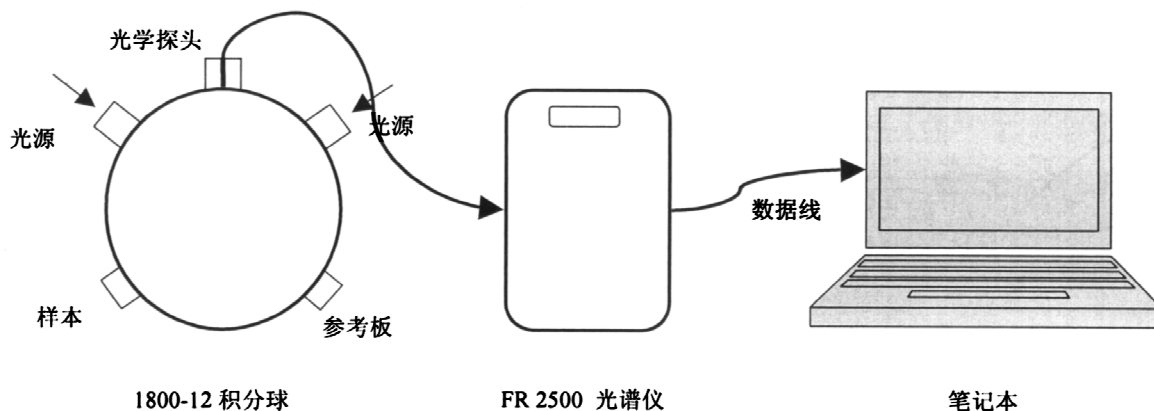


图 1 测量设备示意图

Fig. 1 The sketch for measuring equipment

采用“积分球—光谱仪”联用技术测量棉叶的光谱反射率有两大优点:首先,使用野外便携式光谱仪(如 ASD Fieldspec FR 2500)测量棉花的光谱反射率时,需要选一晴朗无云之日,且测量时间一般为上午 10:10 到下午 14:00,测量活动受天气、时间的制约大。而积分球的光源为人工照明设备,由稳压电源供电,光照稳定,可以在任何时间进行测量活动,不受天气、时间的制约。其次,使用积分球测量反射率时,只对棉叶固定大小的圆斑进行测量,这样测得的反射率结果更为准确。而使用便携式光谱仪测量时,则可能同时测量了土壤、杂草或其它叶片的反射光,其结果存在背景噪声。

2 数据分析

受积分球光源性能的限制,本次测量所得的所有光谱曲线在小于 400 nm 和大于 950 nm 的区域均有较明显的锯齿现象,故将这部分的测量结果舍去,只对 400~950 nm 之间的区域进行分析。将所测结果分为两组:A 组为“发病期与健康棉叶”的光谱反射率曲线,共 52 条,如图 2 所示;B 组为“潜病期与健康棉叶”的光谱反射率曲线,共 48 条,如图 3 所示。

用波段阈值法分析各组数据的可分离性,其方法是在某一波段选取一阈值,大于此阈值的被分为一类,小于此阈值的被分为另一类,使得总体分类精度最高。总体分类精度被定义为:被正确分类的样本数与总样本数之比。以 A 组为例,在

550 nm 处选一阈值 0.15, 大于该阈值的发病期棉叶光谱曲线有 20 条, 小于该阈值的健康棉叶光谱曲线有 25 条, 则总体分类精度为 $(20+25)/52 = 86.5\%$ 。图 2、图 3 中的蓝线分别显示了 A 组、B 组的最高总体分类精度, 黑线为所选的波段阈值。可以看出, 单是用某一波段的阈值来对各组进行分类识别就可以达到很高的分类精度。

由于“同物异谱”现象的存在, 同种地物的特征光谱不是“一条曲线”, 而是具有一定宽度的一条“光谱带”。因此, 可以认为凡是光谱曲线落在

某一地物的光谱带之内的便属于这类地物, 否则就属于其它类别的地物(这种分类方法类似于平行管道分类法)。由图 2、图 3 可以看出: 健康棉叶的光谱曲线比较集中, 光谱带宽比较窄, 故用健康棉叶的光谱曲线带对 A 组、B 组进行分类, 参与分类的波段为 400~950 nm 的所有波段。分类的结果为: 对 A 组的分类精度为 100%, B 组的分类精度为 92%, 即 A 组中发病期棉叶光谱与健康棉叶光谱可以完全区分开来, B 组中有 4 条潜病期的棉叶光谱落在了健康棉叶的波谱带中。

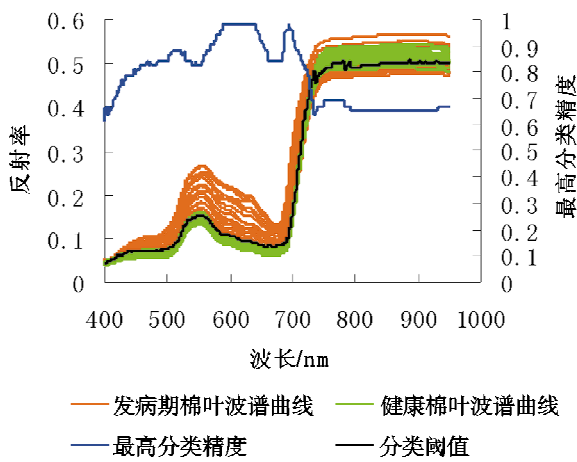


图 2 A 组: 发病期与健康棉叶的光谱曲线

Fig. 2 Class A: Spectrum of healthy and damaged by *Fusarium* Wilt disease cotton leaves

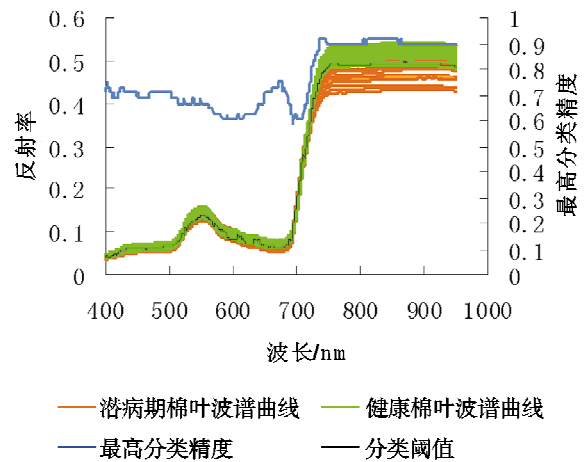


图 3 B 组: 潜病期与健康棉叶的光谱曲线

Fig. 3 Class B: Spectrum of healthy and infected but not damaged by *Fusarium* Wilt disease cotton leaves

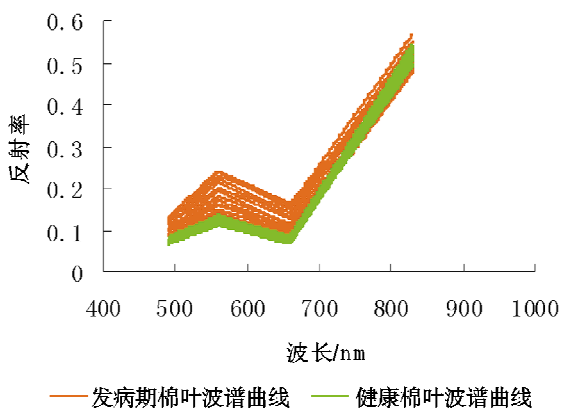


图 4 健康和发病期棉叶光谱的等效 Landat TM 折线图

Fig. 4 The equivalent Landat TM graph of healthy and damaged by *Fusarium* wilt disease cotton leaves

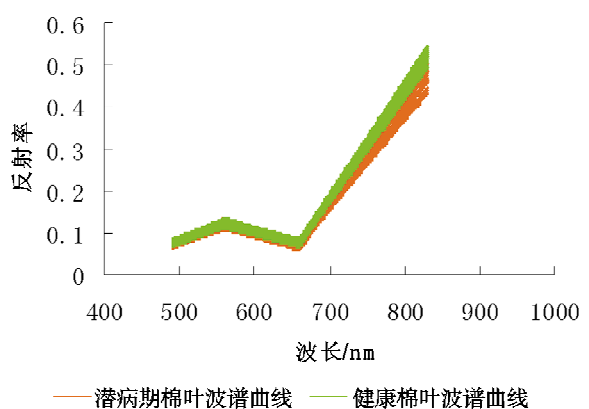


图 5 健康和潜病期棉叶光谱的等效 Landat TM 折线图

Fig. 5 The equivalent Landat TM graph of healthy and infected but not damaged by *Fusarium* wilt disease cotton leaves

Landsat 5 的 TM 数据是应用最为广泛的多光谱遥感数据, 这种数据在可见光、近红外区域共

有 4 个波段, 分别为: 蓝波段(450~530 nm)、绿波段(520~600 nm)、红波段(630~690 nm)和近

红外波段(760~900 nm)。用“积分球—光谱仪”测得的光谱数据模拟出 Landsat TM 获取的多光谱数据,其算法为:将光谱数据在某一波段区间上的平均值作为该波段区间的 TM 值,例如,TM 的蓝波段即为光谱数据在 450~530 nm 区间上的平均值。图 4、图 5 分别为 A 组、B 组的等效 TM 折线图。用健康棉叶的 TM 光谱带对 A 组、B 组的等效 TM 数据进行分类,得到的分类精度分别为 96% 和 92%。

3 讨论和结果

健康绿色植物的波谱特征主要取决于它的叶子。在可见光谱段内植物的光谱特性主要受叶子的各种色素的支配,其中叶绿素起着最重要的作用。由于叶绿素对蓝、红波段的强烈吸收作用,波谱曲线在这两个波段处成吸收谷,而对绿波段的吸收作用相对减少,形成绿反射峰^[13]。当棉花感染了枯萎病菌后,病菌对棉叶造成危害致使棉叶的叶绿素浓度降低,故在可见光谱段上对各波段的吸收减少,使该波段的光谱反射率升高。在近红外谱段内,植物的光谱特征取决于叶片内部的细胞结构。叶子的反射能和透射能相近,各占入射能的 45%~50%。对于感病的棉花,可以认为枯萎病菌破坏了棉叶的细胞结构,使其对近红外光的反射能力减弱或者透射能力增强,导致此波段的光谱反射率降低,但其内部机理尚需进一步的研究证实。

从数据分析的结果来看,无论是用“波段阈值法”还是用“波谱带法”对各组进行分类都获得了很高的分类精度,说明健康棉叶与发病期棉叶和潜病期棉叶都有很高的可区分性。将光谱数据转化为 Landsat TM 多光谱数据后,各组仍然有很高的分类精度(分别达 96% 和 92%),这就为遥感技术在棉花病害监测上的应用提供了理论支持。

本次试验所选的样本均属同一品种,这样做的目的在于消除因品种的不同而造成的光谱差异。但由于“同物异谱”现象的存在,其他品种的光谱是否也符合本次试验的结果,还需进一步的验证。此次试验获得的高光谱数据消除了背景噪

声和大气效应的影响,具有很高的可靠性,这样高质量的数据在实际的遥感实践中是难以获得的,故在实际的遥感监测中对棉花枯萎病的识别精度可能要低于本试验所得的结果。

参考文献:

- [1] 沈其益. 棉花病害基础研究与防治[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [2] 蒋桂英,李少昆,王登伟,等. 棉花遥感应用研究进展[J]. 新疆农业大学学报,2002, 25(3): 76-79.
- [3] 赵艳霞,秦军,周秀翼. 遥感信息与棉花模型结合反演模型初始值和参数的方法研究[J]. 棉花学报, 2005, 17(5): 280-284.
- [4] 陈永芳,蒋桂英,李鲁华,等. 高光谱分辨率遥感在新疆棉花上的应用前景[J]. 新疆农业大学学报,2002, 25(3): 80-82.
- [5] 唐延林,王秀珍,黄敬峰,等. 棉花高光谱及其红边特征(I)[J]. 棉花学报,2003, 15(3): 146-150.
- [6] 唐延林,王秀珍,李建龙,等. 棉花高光谱及其红边特征(II)[J]. 棉花学报,2003, 15(3): 215-220.
- [7] 王秀珍,李建龙,唐延林. 导数光谱在棉花农学参数测定中的作用[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2004, 25(2): 17-21.
- [8] 黄春燕,王登伟,陈冠文,等. 基于高光谱植被指数的棉花干物质积累估算模型研究[J]. 棉花学报,2006, 18(2): 115-119.
- [9] 黄春燕,马亚琴,肖华,等. 棉花品种叶片反射光谱吸收特征研究[J]. 新疆农业大学学报,2003, 26(3): 33-36.
- [10] 柏军华,李少昆,王克如,等. 棉花产量遥感预测的 L—Y 模型构建[J]. 作物学报,2006, 32(6): 840-844.
- [11] 王登伟,李少昆,田庆玖,等. 棉花主要栽培生理参数的高光谱估测研究[J]. 中国农业科学,2003, 36(7): 770-774.
- [12] 冯先伟,陈曦,包安明,等. 水分胁迫条件下棉花生理变化及其高光谱响应分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 250-255.
- [13] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003: 50-52. ●