

文章编号: 1001 - 9014 (2009) 05 - 0342 - 04

# 基于可见光 近红外光谱技术的倒伏水稻识别研究

刘占宇<sup>1,2</sup>, 王大成<sup>1</sup>, 李波<sup>1</sup>, 黄敬峰<sup>3\*</sup>

(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. 浙江大学 环境修复与生态健康教育部重点实验室, 浙江 杭州 310029;

3. 浙江省农业遥感与信息技术重点实验室, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 运用可见光 近红外光谱仪获取正常的和受稻飞虱、穗颈瘟危害而倒伏的水稻冠层光谱反射率, 采用主成分分析 (PCA) 方法对反射率光谱进行降维处理, 提取 2 个主分量光谱. 其中, 第一主分量 PC1 代表了水稻冠层的光谱特性, 第二主分量 PC2 反映了倒伏水稻的冠层光谱变化信息. 将前 2 个主分量作为支持向量分类机 (SVC) 的输入向量, 建立分类模型. 结果表明, 对受稻飞虱危害倒伏的水稻验证数据的识别精度为 100%, 对受穗颈瘟危害倒伏的水稻验证数据的识别精度为 90.9%. 研究表明可见光 近红外光谱可能是一种有效的倒伏水稻识别方法.

**关键词:** 稻飞虱; 穗颈瘟; 可见光 近红外光谱反射率; 主成分分析; 支持向量分类机

**中图分类号:** TP79, S43 **文献标识码:** A

## DISCRIMINATION OF LODGED RICE BASED ON VISIBLE/NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

LIU Zhan-Yu<sup>1,2</sup>, WANG Da-Cheng<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1</sup>, HUANG Jing-Feng<sup>3\*</sup>

(1. Institute of Agricultural Remote Sensing & Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2. Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecological Health,  
Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

3. Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing & Information System in Zhejiang Province, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** Hyperspectral reflectances of the healthy and lodged rice caused by rice planthopper and rice panicle blast were measured with visible/near-infrared (VIS/NIR) spectroradiometer at the canopy level. The principal component analysis (PCA) was used to obtain the principal components (PCs) and to reduce the spectral dimensions of hyperspectral reflectance. Two principal components were extracted. The first (PC1) and second (PC2) reveal the general feature of rice spectral reflectance and spectra change of lodged rice relative to healthy rice, respectively. The front two PCs entered the support vector classification (SVC) as the input vectors to build the discrimination model. The recognition accuracies of healthy and lodged rice are 100% and 90.9% for the rice planthopper and rice panicle blast stresses, respectively. The results demonstrate that visible/near-infrared spectroscopy technique may provide potential discrimination accuracy for lodged rice.

**Key words:** rice planthopper; rice panicle blast; visible/near infrared (VIS/NIR) spectral reflectance; principal component analysis (PCA); support vector classification (SVC)

## 引言

农作物病虫害是引起粮食减产和品质下降的最重要因素之一, 严重威胁粮食和食品安全. 为防控病虫害、降低危害损失, 需要投入大量农药, 不仅增加生产成本, 且危及生态环境和人体健康<sup>[1]</sup>. 穗颈瘟和

稻飞虱是水稻生产中最常见、危害最严重的两种病虫害, 严重时往往引起水稻倒伏, 造成稻谷减产和稻米品质降低. 对健康水稻和因病虫害危害倒伏水稻的识别, 是进行精确喷药的前提, 因而具有重要的研究意义.

目前, 对农作物病虫害的诊断主要是由有经验

收稿日期: 2008 - 12 - 21, 修回日期: 2009 - 06 - 18

Received date: 2008 - 12 - 21, revised date: 2009 - 06 - 18

基金项目: 国家 863 计划资助 (2006AA10Z203); 国家十一五科技支撑项目 (2006BAD10A01)

作者简介: 刘占宇 (1979-), 男, 河南南阳人, 浙江大学资源科学系助理研究员, 博士, 主要从事植被逆境生理遥感监测研究, E-mail: zdrsbond@zju.edu.cn

\* 通讯联系人: E-mail: hjf@zju.edu.cn

的生产者或植保专家基于一定的诊断标准,在田间通过肉眼观察.这种方法费时费力,且在大范围内难以实施,具有诸多局限性<sup>[2]</sup>.可见光 近红外光谱技术具有简单准确、无破坏性等优点,在农作物面积提取、遥感估产和生长状况监测中发挥了重要的作用,该技术使从田块到区域尺度上识别健康的和倒伏的水稻成为可能<sup>[3]</sup>.刘良云等人<sup>[4]</sup>研究认为因大风而倒伏的冬小麦当层光谱反射率随倒伏角度的增加而增加,利用倒伏前后 Landsat ETM影像 NDV I值的变化,成功监测了小麦倒伏的发生程度.刘占宇<sup>[5]</sup>运用聚类分析、神经网络和支持向量机等方法,对稻胡麻斑病、稻纵卷叶螟、稻干尖线虫病、穗颈瘟和稻飞虱等进行识别,得到了较高的分类精度.刘燕德等人<sup>[6]</sup>运用可见光 近红外漫反射光谱对梨表面色泽进行无损检测,相对预测偏差小于 4%.迄今为止,将不同病虫害胁迫综合考虑进行研究的报道尚不多见.

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)是多元统计中一种重要的数据压缩处理技术,在不丢失主要光谱信息的前提下,选择数目较少的新变量替代原来较多的变量,解决了高光谱波段过多、谱带重叠的分析难题<sup>[7]</sup>.支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)是最近 20年来兴起的新兴数据挖掘技术,是对结构风险最小化归纳原则的一种实现,被广泛应用于模式识别和函数逼近等领域<sup>[8]</sup>.支持向量分类机 (Support Vector Classification, SVC)是 SVM最主要的组成部分,C-SVC(非线性软间隔分类机)是 SVC中最常用的分类方法,它通过调整惩罚系数 C来实现分类<sup>[8]</sup>.

本研究以受穗颈瘟和稻飞虱危害而倒伏的水稻冠层光谱为研究对象,分析主分量光谱的生物学意义,利用支持向量分类机对正常和倒伏水稻予以分类识别,旨在促进可见光 近红外光谱技术在农作物病虫害监测、灾害评估和遥感估测中的应用.

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备

观测仪器为美国 ASD (Analytical Spectral Device)公司生产的 ASD FieldSpec Pro FR<sup>TM</sup>高光谱辐射仪,波段范围为 350 ~ 2500 nm,其中 350 ~ 1000 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 1.4nm,光谱分辨率为 3nm;1000 ~ 2500 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 2nm,光谱分辨率为 10nm.

### 1.2 试验地点

本研究涉及两个观测点,观测点 1位于浙江省

桐庐县植物保护与检疫站的病虫害监测观测圃内,地理坐标为东经 119°37'1.4",北纬 29°48'15.6".该点地处北亚热带南缘,属亚热带季风性气候,年均气温 16.5℃,1月平均气温为 4.3℃,7月平均气温为 28.8℃.年均降水量 1453mm,年均日照时数 1936h,无霜期为 254d.

观测点 2位于黑龙江省友谊农场,地理坐标为东经 120°43'31.3",北纬 46°39'19".该点属中温带大陆性季风气候,年平均气温 2.5℃,最低气温一月份,月平均气温零下 20℃;最高气温八月份,月平均气温 22℃.年平均降水量 500mm,年均日照时数 2730h,无霜期 120 ~ 130d.

### 1.3 试验材料

观测点 1的水稻品种为杂交稻 718,2007年 5月 23日播种,6月 5日移栽(机插).观测圃内以褐飞虱为主的稻飞虱危害严重,出现大面积倒伏,生育期为黄熟期.

观测点 2的水稻品种为穗京 4号,易感稻瘟病.2007年 4月 10日播种,5月 12日移栽(机插),稻穗颈瘟为自然发病较重,引起水稻植株倒伏,光谱观测时处于黄熟期.

### 1.4 冠层光谱测定

2007年 9月 28日上午 10:30 ~ 12:30,在观测点 1处进行稻飞虱危害倒伏水稻的冠层光谱测定,当日天气晴朗,微风无云.光谱仪视场角为 25°;探头距离冠层 1m,视域范围约 0.15m<sup>2</sup>.测量步骤:测量之前先开启光谱仪预热一段时间,再次测量前都先进行光谱仪的优化,然后对白板进行标定,而后测量水稻冠层光谱.每个样点采集光谱 1次,每次测定 10条光谱曲线,以其平均值作为该样点的光谱反射值,每次测量前后进行标准白板校正.在观测点 1处测定正常和倒伏水稻冠层光谱的样点各 35个.

2007年 8月 24日上午 10:00 ~ 11:00,在观测点 2处进行穗颈瘟危害倒伏水稻的冠层光谱测定.在每个样点周围采集光谱 3次,每次测定 10条光谱曲线,以其平均值作为该样点的光谱反射值.其它观测条件同观测点 1.在观测点 2处测定正常水稻光谱样点 12个,穗颈瘟危害倒伏水稻样点 10个.

### 1.5 数据预处理

为了减低光谱数据中的仪器和环境噪声,在光谱分析软件 View Spec Pro 2.14中,采用五步滑动平均法进行光谱平滑处理.因为系统误差的存在,样本光谱曲线在首尾两端有较大噪声,所以光谱分析时仅选取 400 ~ 1800nm 波段间光谱,且去除水汽吸收

带 1341 ~ 1450nm 间的光谱. 对光谱数据的主成分分析在 Matlab 7. 0 中编程实现.

健康与倒伏水稻的识别软件为 LBSVM 2. 83, 它是由台湾大学林智仁开发设计的简单、易于使用和快速有效的 SVM 模式识别与回归分析的软件包.

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻田间冠层光谱特征分析

水稻植株受稻飞虱或穗颈瘟危害而倒伏, 改变了原有的群体结构, 致使植株受光条件和各组分(如茎秆、叶片、稻穗等)对冠层光谱的贡献比例都发生变化, 从而引起冠层光谱反射率发生变化<sup>[5]</sup>. 图 1 为黄熟期正常水稻和受稻飞虱危害倒伏水稻的冠层光谱. 由图 1 可知, 与正常水稻的冠层光谱相比, 在可见光/近红外(400 ~ 1800nm)的谱段内, 倒伏的水稻的反射率光谱有不同程度的增加, 在可见光(400 ~ 690nm)内提高了 2 ~ 10%, 在近红外区间(690 ~ 1800nm)提高了 10 ~ 18%. 正常水稻和倒伏水稻在可见光/近红外谱段内的反射光谱差异明显, 表明可以利用冠层光谱对正常和倒伏这两种不同生长状态的水稻进行识别.

### 2.2 主分量光谱提取与分析

由于相邻光谱波段之间具有较大的自相关性, 因而将 400 ~ 1800nm 之间的光谱以 10nm 为间隔进行重采样, 去除水汽吸收波段后进行主成分分析, 并阐释各主分量光谱的生物学意义. 表 1 分别列出了受稻飞虱和穗颈瘟危害倒伏水稻冠层反射率光谱的前 3 个主成分所能解释的光谱变异百分比, 即方差贡献率. 由表 1 可见, 稻飞虱和穗颈瘟危害倒伏水稻的冠层光谱反射率的前 2 个主分量的累积方差贡献率分别高达 99. 3% 和 98. 1%, 保留了原有冠层光谱的绝大部分信息.

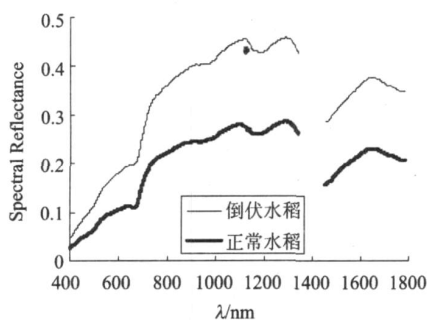


图 1 正常水稻和稻飞虱危害倒伏水稻的冠层光谱曲线  
Fig 1 Canopy spectra of healthy and lodged rice caused by rice planthopper

表 1 前 2 个主成分的累积贡献率

Table 1 Cumulate contribution of the first two PCs

主成分	危害类型		稻飞虱		穗颈瘟	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
贡献率 (%)	97. 7	1. 6	79. 5	18. 6		
累积贡献率 (%)	97. 7	99. 3	79. 5	98. 1		

以稻飞虱引起的水稻倒伏为例, 图 2 显示了前 2 个主分量所能携带的信息量. 由图 2 (a) 可知, 第一主分量 PC1 在可见光/短波红外各波段的特征值均为正, 与冠层反射率光谱具有很高的吻合度, 信息载荷量为 99. 6%, 表明 PC1 是反映原始光谱信息大小的综合指标, 代表水稻黄熟期时的冠层光谱总体特征. 由图 2 (b) 可知, 第二主成分 PC2 在可见光/短波红外谱段的特征值有正有负, 与倒伏/正常光谱反射率比值间相关系数为 0. 39, 达到了统计意义上 0. 001 的极显著性水平, 反映了水稻倒伏后的冠层光谱相对于正常水稻的变化信息.

综上所述, 前 2 个主分量基本可解释所有的原始光谱变异信息量, 且生物学意义明确, 因而将其作为 C 支持向量分类机 (C-SVC) 的输入向量, 对正常和倒伏两种不同生长状态的水稻予以区分.

### 2.3 C-SVC 对倒伏水稻的识别

本研究中, 首先从浙江桐庐观测点正常和受稻

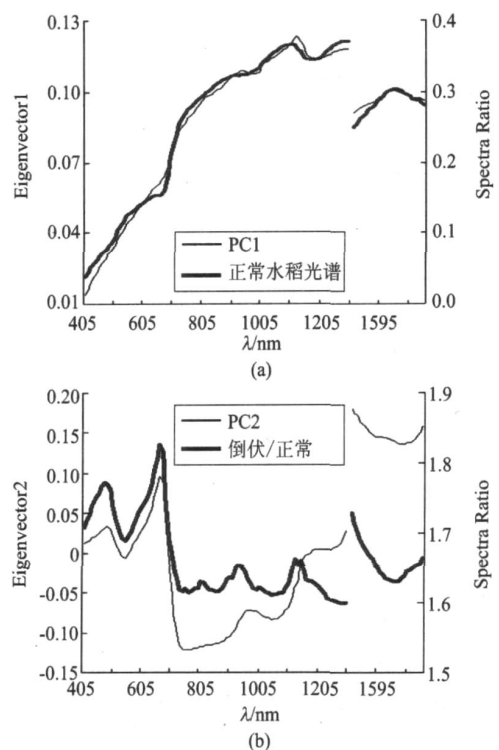


图 2 前二个主成分分量示意图  
Fig 2 Illustration of the first two principal components

飞虱危害倒伏的水稻共 70 个样本点中随机抽取 75% ( $n = 52$ ), 作为 C-支持向量分类机 (C-SVC) 的训练数据, 以前 2 个主分量光谱作为输入向量, 对正常和倒伏水稻进行分类。

由于支持向量机软件 LIBSVM 2.83 提供了很多的默认参数, 利用这些默认参数即可解决很多分类和回归问题, 而通常需要设定的参数主要为交互检验阶数和核函数类型, 它们分别影响模型运行的速度和精度。经多次测试发现, 当惩罚系数  $C$  采用默认值 1、交互检验阶数为 3、核函数采用径向基函数 RBF, 而其它参数保持不变时, 模型交叉检验的平均精度达到 100%, 可实现对训练数据中正常水稻和受稻飞虱危害的水稻的完全识别。

#### 2.4 C-SVC 验证

在 LIBSVM 2.83 中, 对于训练完成的网络, 其参数权值是固定的, 为了检验所构建模型分类性能的普适性, 利用浙江桐庐估测点的 25% 样本点 ( $n = 18$ ) 和黑龙江友谊农场观测点的 22 个样本点作为验证数据, 测试设定模型对水稻不同生长状态的分类识别效果, 结果见表 2。

从表 2 中可以看出, 利用 C-SVC 对正常水稻和倒伏水稻两种生长状态进行识别时, 正常水稻没有被错分为倒伏, 反之亦然, 分类精度为 100%。在对黑龙江友谊农场观测点的验证数据进行识别时, 2 个正常水稻样本点被错分为倒伏, 而受穗颈瘟感染倒伏的 10 个样本点则全被正确识别, 总体分类精度达到了 90.9%, 具有良好的分类效果。

### 3 结论

倒伏改变水稻植株的群体结构形态, 引起冠层光谱反射率在可见光 近红外谱段内增加了 2% ~ 18%。采用 PCA 方法提取冠层光谱的主分量, 选择

生物学意义明确且能够代表植被冠层信息、病虫害胁迫信息的前 2 个主分量, 作为 C-SVC 的输入向量, 构建模型, 对受稻飞虱危害倒伏的水稻验证数据的识别精度为 100%, 对受穗颈瘟危害倒伏水稻验证数据的识别精度为 90.9%。研究表明: 运用可见光 近红外光谱技术, 采用 PCA 和 SVC 相结合的方法, 对两种病虫害引起的倒伏水稻进行识别, 具有很强的容错性和适应性。

本研究中两个观测点的水稻倒伏程度均为着地倒, 没有考虑不同倾斜倒伏角度的情况。此外, 本研究的光谱观测仅在地面进行, 没有航空或航天高光谱影像数据。因此, 本研究结果是否适合于不同倾斜倒伏程度和航空 航天研究, 仍需要验证。

#### REFERENCES

- [1] West J S, Bravo C, Oberit R, *et al*. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases[J]. *Ann Rev Phytopathol*, 2003, 41: 593—614.
- [2] Penuelas J, Filella L. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status [J]. *Trends Plant Sci*, 1998, 3: 151—155.
- [3] Verstraete M M, Pinty B, Myneni R B. Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing [J]. *Remote Sens Environ*, 1996, 58: 201—214.
- [4] LU Liang-Yun, WANG Ji-Hua, SONG Xiao-Yu, *et al*. The canopy spectral features and remote sensing of wheat lodging [J]. *J. Remote Sens* (刘良云, 王纪华, 宋晓宇, 等. 小麦倒伏的光谱特征及遥感监测. 遥感学报), 2005, 9: 323—327.
- [5] LU Zhan-Yu. *Monitoring the Rice Disease and Insect Stress with Remote Sensing* [D]. Dissertation of Doctor of Agriculture (刘占宇. 水稻主要病虫害胁迫遥感监测研究. 浙江大学博士学位论文), 2008, 6, 79—86.
- [6] LU Yan-De, CHEN Xing-Miao, OUYANG Ai-Gua. Non-destructive measurement of surface color of pear by visible/near-infrared diffuse reflectance spectra [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘燕德, 陈兴苗, 欧阳爱国. 梨表面色泽的可见 近红外漫反射光谱无损检测研究. 红外与毫米波学报), 2008, 27 (4): 266—268.
- [7] WANG Li, HE Yong, LU Fei, *et al*. Rapid detection of sugar content and pH in beer by using spectroscopy technique combined with support vector machines [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王莉, 何勇, 刘飞, 等. 应用光谱技术和支持向量机分析方法快速检测啤酒糖度和 pH 值. 红外与毫米波学报), 2008, 27 (1): 51—55.
- [8] Cristianini N, Shawe-Taylor J. *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods* [M]. Cambridge University Press: Cambridge 2000: 93—112.

表 2 基于 C-SVC 的测试样本分类结果

Table 2 Classification results of testing data set with C-SVC

实际 \ C-SVC	稻飞虱				穗颈瘟			
	正常	倒伏	合计	识别精度 (%)	正常	倒伏	合计	识别精度 (%)
正常	9	0	9	100	10	2	12	83.3
倒伏	0	9	9	100	0	10	10	100
合计	9	9	18	100	10	12	22	90.9