

## 常见黄瓜病害的多光谱诊断

冯洁<sup>1,2</sup>, 廖宁放<sup>1\*</sup>, 赵波<sup>2</sup>, 罗永道<sup>1</sup>, 李宝聚<sup>3\*</sup>

1. 北京理工大学颜色科学与工程国家重点专业实验室, 北京 100081

2. 云南师范大学物理与电子信息学院, 云南昆明 650092

3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081

**摘要** 为了实现可靠的植物病虫害诊断, 文章提出把光谱分析技术和多光谱成像技术相结合的方法用于常见的红粉、黑星、白粉、褐斑和霜霉五种黄瓜病害的识别研究。实验采用窄带多光谱成像技术在标准观测环境下获取患病黄瓜叶面的14个可见光通道和近红外通道、全色通道的多光谱图像。利用距离法、光谱角度匹配法和相关系数法对病斑样本的光谱信息进行学习分类。对于实验提出的七种分类情况, 通过距离法和相关系数法组合筛选, 对红粉、白粉、黑星和白板的分类正确率达100%, 对霜霉及无病的分类正确率达80.00%和93.33%, 平均分类正确率为81.90%。实验结果表明, 光谱分析方法和多光谱成像技术结合能全面、快速、精确提取植物病害的信息, 实现分类, 为对植物病害进行快速、准确和非破坏性诊断提供技术支持。

**关键词** 多光谱成像技术; 光谱分析技术; 黄瓜病害

**中图分类号:** S642.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)02-0467-04

## 引言

根据植物病虫害学, 受病虫害侵袭的植物的病症的诊断多数是根据病株的外部症状进行。目前, 病害的诊断大量依赖植株颜色或彩色图像的信息<sup>[1,2]</sup>。彩色成像分析方法能从植物的颜色、形状、纹理上获得大量直观信息, 但要进行精确分析却存在一定的困难:

(1) 通过肉眼进行植株病虫害的识别, 观测者的变化会给识别的结果造成很大的差异。

(2) 基于数字技术的自动化专家诊断系统会因照明条件、成像系统的光谱响应影响彩色图像的成像质量。

(3) 人眼或RGB彩色相机, 只是记录被测物体可见光波段的光谱信息, 紫外、近红外和红外光谱信息就丢失了。

为了解决这个问题, 多光谱成像技术可以同时从光谱维和空间维获取被测目标的信息<sup>[3,4]</sup>。一幅多光谱图像是由一系列灰度图像组成的三维数据立方体, 二维图像记录了样本的形态信息, 三维坐标则记录光谱信息。随着多光谱成像技术、计算机技术的发展及其在农业生产中的应用, 光谱分析作为一种新型分析测试技术, 正越来越广泛地被应用在植物

病害的无损检测之中<sup>[5-7]</sup>。如何既能有效利用光谱的最大信息, 又能较快地处理光谱数据成为一个研究热点<sup>[8]</sup>。

本文以黄瓜叶面为研究对象, 采用16通道窄带多光谱成像系统, 获取患病黄瓜叶面的多光谱图像。利用光谱分析技术中针对非数值特性标定方法采用的距离法、光谱角度匹配法和相关系数法, 根据光谱间的类似程度对210个多光谱数据样本进行分组。探讨建立一个能有效识别黄瓜植株病害的光谱标定方法, 为采用多光谱信息进行植物病虫害识别提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 多光谱成像系统概述

实验采用多光谱成像系统进行实时无损的黄瓜叶面病害的多光谱图像采集。多光谱相机由一个分辨率为1280×1024的8位单色面阵CCD加上成像装置组成, 前面放置一个可控制的转盘<sup>[9]</sup>, 转盘上放置一系列干涉滤色片。滤色片半带宽为10nm, 中心波长分别是400, 434.8, 460, 490, 515.7, 530, 546, 589, 600, 620, 635, 650, 670, 700和850nm和全色通道。在实验中, 多光谱成像系统观测的几何条

收稿日期: 2008-03-06, 修订日期: 2008-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(60678052, 60768002)和科技部“863”计划项目(2006AA10Z210)

作者简介: 冯洁, 女, 1975年生, 北京理工大学颜色科学与工程国家重点专业实验室博士研究生 e-mail: fengjie\_ynnu@yahoo.com.cn

\* 通讯联系人 e-mail: liaonf@bit.edu.cn; libj@mail.caas.net.cn

件采用 CIE1931 年正式推荐的  $d/0$ (漫反射/垂直)照明和观测条件<sup>[10]</sup>。积分球选用发光特性接近 A 光源的卤钨灯照明, 保证在 850 nm 的近红外探测有足够光能量。

## 1.2 研究方法

利用光谱分析对样品的品种、可加工性等非数值特性进行分类, 常用的有监督分类和非监督分类两种。本文利用监督分类方法, 从光谱数据入手分析黄瓜 5 中病害之间的相似性, 在分析的基础上进行分组。描述这种关系的方法通常有距离法、光谱角度匹配法、相关系数法<sup>[11]</sup>。三种方法的选择是一个复杂、带主观性的问题, 其表示关系如下。

设  $X_i, X_j$  为两个容量为  $n$  的样本, 每个样本点为  $p$  维空间的向量:

$$\begin{aligned} X_i &= (x_{ik})_{n \times p} = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \\ X_j &= (x_{jk})_{n \times p} = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp}) \\ &(i, j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

### (1) 距离法

假定  $X_i, X_j$  两个向量之间相互独立, 用  $d_{ij}$  表它们的距离, 则常用的欧氏距离为

$$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$d_{ij}$  越小, 说明  $X_i$  和  $X_j$  越相似。

### (2) 光谱角度匹配法

设  $\alpha_{ij}$  为  $X_i, X_j$  两个向量的夹角, 则夹角余弦为

$$\cos\alpha_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}}{\sqrt{\left( \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 \right) \left( \sum_{k=1}^p x_{jk}^2 \right)}} \quad (2)$$

如果  $X_i$  与  $X_j$  比较相似, 则  $X_i$  与  $X_j$  的夹角接近于 0, 从而  $\cos\alpha_{ij}$  接近于 1。

### (3) 相关系数法

设  $r_{ij}$  为向量  $X_i$  与  $X_j$  之间的相关系数, 则

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^p (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (3)$$

$r_{ij}$  越大,  $X_i$  与  $X_j$  之间越相似。

## 1.3 数据制备

实验选取患有红粉病害(*Trichothecium roseum*)、白粉病害(*Sphaerotheca fuliginea*)、黑星病害(*Cladosporium cucumerinum*)、褐斑病害(*Corynespora cassiicola*)、霜霉病害(*Pseudoperonospora cubensis*)的黄瓜叶面和无病的健康黄瓜叶面及参考白板进行分析。黄瓜的菌株来源于中国农业科学院综合防治课题组。从 4 °C 冰箱取出, 在 PDA 上活化后, 把病菌株转至 PDA 上培养一定的时间, 大量产孢后将孢子刷下, 配成浓度为  $2 \times 10^6$  个  $\cdot \text{mL}^{-1}$  的孢子悬浮液, 采用喷雾接种方法将孢子悬浮液接种于健壮的黄瓜叶部, 保湿 24 h 后正常管理, 直至显示出明显典型症状。然后将具有典型病症的黄瓜叶片快速放置在多光谱设备中分别采集其多光谱图像。

从采集到的多光谱图像中取出指定象素区域的灰度值做

平均, 得到指定区域的多光谱信息值。其中, 每种病害取单个病斑区域内象素点的光谱灰度平均值作为一个病斑样本, 健康叶面分别从叶根、叶中部和叶尖 3 个部分, 取 20 个象素的平均值作为一个样本, 参考白板则在任意位置随机取 20 个象素的均值为一个样本。每种样品取 30 个数据集, 共得 210 个数据。然后从每种样品中随机抽取 15 个样本组成参考数据集, 用标记量 Class 把它们分为红粉、白粉、黑星、褐斑、霜霉、无病和白板七种类型。剩余 105 个样本用作需要确定所属类别的测试数据。

## 2 实验与分析

### 2.1 实验

为了验证多光谱采集系统对实际黄瓜病害识别的可行性, 实验分别以距离, 角度和相关系数为判别依据, 以已知分类的数据为参考, 从多光谱数据入手分析测试数据与参考数据之间的相似性, 在分析的基础上对测试数据进行分类。

在分类的过程中, 将测试数据 16 通道的多光谱图像灰度值作为光谱信息, 根据(1)~(3)式计算每一个测试数据与所有参考数据的距离、角度和相关系数, 然后分别根据最短距离、最小角度和最大相关系数把测试数据分类。三种方法的分类结果见表 1, 其中三种方法出现误判的结果见表 2。

Table 1 The correct discrimination of 3 methods/%

分类方法	红粉	黑星	白粉	褐斑	霜霉	无病	白板
距离	100	100	100	0	0	0	100
光谱角度匹配	100	93.33	100	0	0	0	100
相关系数	0	100	100	0	80.00	93.33	100

Table 2 The incorrect discrimination of 3 methods

分类方法	识别结果						
	红粉	黑星	白粉	褐斑	霜霉	无病	白板
距离	红粉	黑星	白粉	白板	白板	白粉	白板
光谱角度匹配	红粉	黑星 (93.33%)	白粉	白板	白板	白粉	白板
相关系数	霜霉	黑星	白粉	白板	霜霉 (80.00%)	无病 (93.33%)	白板

为了能更好理解分类出现误判结果的原因, 实验把参考数据和验证数据合并在一起构成工作数据, 图 1 描述了七种分类的 16 通道多光谱信息, 其中图 1(a)~(g)中每种分类共有 30 个样本数据, 图 2 则是每种分类 30 个数据的平均多光谱信息值。

### 2.2 结果分析

(1)由表 1 可以看出, 对于实验提出的七种分类情况, 单独采用一种分类方法均不能实现较好的分类。但是, 通过距离法和相关系数法组合筛选, 对红粉、白粉、黑星和白板的分类正确率达 100%, 对霜霉及无病的分类正确率达 80.00%和 93.33%。对所提取的 105 个参考数据, 平均分类正确率为 81.90%。

(2)由表 2 和图 1(c), (f)可以看出, 由于白粉病害在多光谱特征信息上与无病症状相似, 导致距离法和光谱角度匹

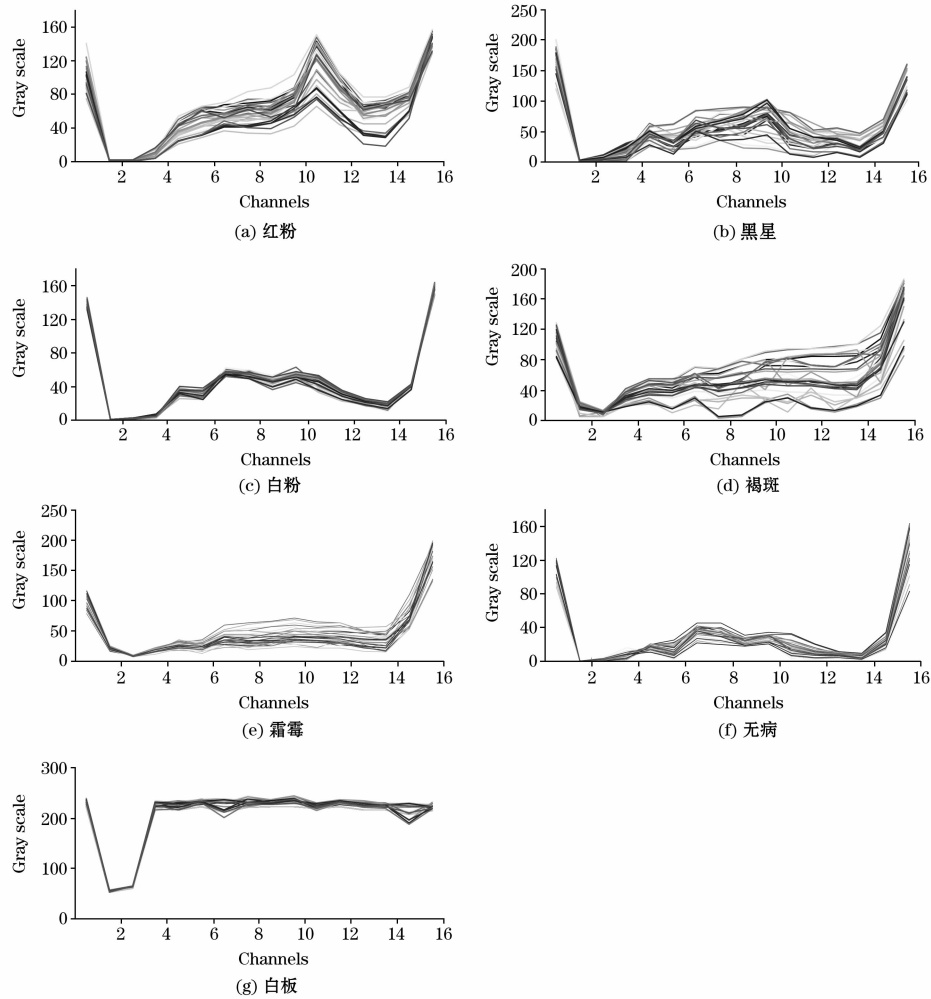


Fig. 1 16 channels gray scales of 7 classified results

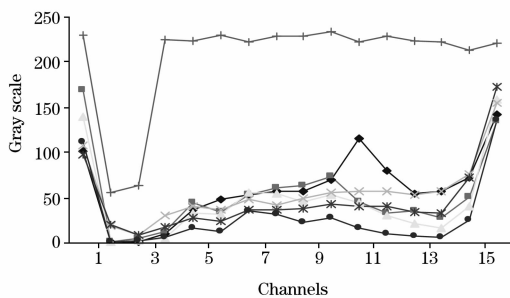


Fig. 2 16 channels gray scales of 7 mean classified results

配法无法正确识别这两种病害。同理，表 2 和图 1(d), (e), (f) 也显示褐斑病害和霜霉病害的多光谱特征信息与白板的

多光谱特征信息相似。  
(3) 由图 1 可知，红粉、白粉、黑星、霜霉和无病五种分类，每种分类的个体样本光谱特征信息重复性较好、信息特征明显，有利于分类的实施。而褐斑病害，图 1(d) 和图 2 显示这种病害的个体样本光谱特征信息复杂多变，总体光谱特征又与参考白板相似，所以三种分类方法均无法对其进行正

确分类。

### 3 结 论

本文提出了基于光谱分析技术的黄瓜病害多光谱信息诊断方法。用 16 通道窄带多光谱成像系统采集黄瓜叶面的五种常见病害的光谱信息值，与健康叶面和参考白板进行光谱数据非数值特征的标定。和传统诊断方法相比较，该方法除了保留植物的图像信息，还获取了目标的光谱信息，并且把诊断的范围从可见光波段扩展到近红外波段，为识别提供了更有价值的信息。实验证明，采用距离法和相关系数法结合对红粉、白粉、黑星和白板的分类正确率达 100%，对霜霉及无病的分类正确率达 80.00% 和 93.33%，平均分类正确率为 81.90%。光谱分析方法和多光谱成像技术结合能全面、快速、精确提取植物病害的信息，实现分类，为对植物病害进行快速、准确和非破坏性诊断提供技术支持。但是，在黄瓜叶面的病虫害诊断中，常见的病虫害有 20 多种。每种病害在不同的病变时期又会有不同的症状表现。如何结合多光谱采集系统建立全面有效的识别方法是下一步的研究工作。

## 参 考 文 献

- [1] TIAN You-wen, LI Cheng-hua(田有文, 李成华). Journal of Agricultural Mechanization Research(农机化研究), 2006, (2): 151.
- [2] LI Zhi-gang, FU Ze-tian, LI Li-qin(李志刚, 傅泽田, 李丽勤). Transaction of the Chinese Society of Agricultural Machinery(农业机械学报), 2005, 36(8): 143.
- [3] Levenson R M, Clifford C Hoyt. American Laboratory, 2000, 32: 26.
- [4] Masahiro Yamaguchi, Taishi Teraji. Proc. SPIE, 2002, 4663: 15.
- [5] XU Guang-tong, YUAN Hong-fu, LU Wan-zhen(徐广通, 袁洪福, 陆婉珍). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2001, 21(4): 459.
- [6] FANG Lei, FANG Hui, ZHOU Wei-jun, et al(冯雷, 方慧, 周伟军, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(9): 1749.
- [7] LIU Yan-de, YING Yi-bin(刘燕德, 应义斌). Opto-Electronic Engineering(光电工程), 2004, 31(2): 51.
- [8] Nakariyakul S, Casasent D. Hyperspectral Ratio Feature Selection: Agricultural Product Insection Example(OL). <http://www.google.com>.
- [9] Masahiro Yamaguchi, Ryo Iwama, Yuri Ohya, et al. Proc. SPIE, 1997, 3031: 482.
- [10] Berns R. Color Technique Theory(颜色技术原理). Translated by LI Xiao-mei(李小梅, 译). Beijing: Chemistry Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2002. 50.
- [11] LI Min-zan, HAN Dong-hai, WANG Xiu(李民赞, 韩东海, 王秀). Spectroscopy Analysis Technique and Application(光谱分析技术及其应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006. 112.

## Cucumber Diseases Diagnosis Using Multispectral Imaging Technique

FENG Jie<sup>1,2</sup>, LIAO Ning-fang<sup>1\*</sup>, ZHAO Bo<sup>2</sup>, LUO Yong-dao<sup>2</sup>, LI Bao-ju<sup>3\*</sup>

1. National Laboratory of Colour Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. Department of Physics and Electronics, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China

3. Institute of Vegetable and Flower, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract** For a reliable diagnosis of plant diseases and insect pests, spectroscopy analysis technique and multispectral imaging technique are proposed to diagnose five cucumber diseases, namely *Trichothecium roseum*, *Sphaerotheca fuliginea*, *Cladosporium cucumerinum*, *Corynespora cassicola* and *Pseudoperonospora cubensis*. In the experiment, the cucumbers' multispectral images of 14 visible lights channels, near infrared channel and panchromatic channel were captured using narrow-band multispectral imaging system under standard observation environment. And the 5 cucumber diseases, healthy leaves and reference white were classified using their multispectral information, the distance, angle and relativity. The discrimination of *Trichothecium roseum*, *Sphaerotheca fuliginea*, *Cladosporium cucumerinum*, and reference white was 100%, and that of *Pseudoperonospora cubensis* and healthy leaves was 80% and 93.33% respectively. The mean correct discrimination of diseases was 81.90% when the distance and relativity were used together. The result shows that the method realized good accuracy in the cucumber diseases diagnosis.

**Keywords** Multispectral imaging technique; Spectroscopy analysis technique; Cucumber diseases

(Received Mar. 6, 2008; accepted Jun. 8, 2008)

\* Corresponding author