

亢菊侠,赵家奇,吴雅茹,等. 设施黄瓜霜霉病高光谱特征选择及预测模型[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):117-119.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.028

# 设施黄瓜霜霉病高光谱特征选择及预测模型

亢菊侠<sup>1</sup>, 赵家奇<sup>2</sup>, 吴雅茹<sup>2</sup>, 胡祖庆<sup>2</sup>

(1. 杨凌职业技术学院生物工程分院,陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学植物保护学院,陕西杨凌 712100)

**摘要:**为构建基于高光谱参数的设施黄瓜霜霉病发生级别预测模型,使用手持光谱仪 ASD FieldSpec HandHeld 检测不同黄瓜霜霉病为害下黄瓜叶片高光谱反射率,并分析 400~900 nm 波段内的光谱反射率参数与黄瓜霜霉病发生级别的相关关系和回归关系。结果表明,在 400~718 nm 波段范围内,随着霜霉病级别的增加,黄瓜光谱反射率均有明显上升,并在 568~687 nm 波段范围内达到极显著相关水平;在 825~900 nm 波段范围内,随着霜霉病级别的增加,黄瓜光谱反射率均有明显下降,在 837~895 nm 波段范围内达到极显著相关水平。利用可见光区特征波长点 679 nm、近红外区特征波长点 861 nm 的光谱反射率以及归一化植被指数 (NDVI)、系统比值植被指数 (RVI) 构建黄瓜霜霉病发生级别监测预警方程,其中前 3 个预测模型均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。因此,可以利用高光谱信息数据来预测设施黄瓜霜霉病发生的级别。

**关键词:**设施黄瓜;霜霉病;光谱测量;预测模型

**中图分类号:**S127;S436.421.1<sup>+</sup>1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2019)17-0117-03

设施黄瓜在生长过程中,由于受到寡照、低温、高湿等不良生态环境的影响,容易发生病害。黄瓜霜霉病是设施黄瓜生产中发生最广泛、为害最严重的病害,病原为鞭毛菌亚门假霜霉属古巴假霜霉菌 (*Pseudoperonospora cubensis*)<sup>[1]</sup>。黄瓜霜霉病主要为害叶片。黄瓜苗期感染此病害后,子叶首先呈褪绿斑,慢慢发展成黄色斑,如果湿度大,子叶背面出现黑色霉层,随后子叶逐渐全部变黄并干枯。黄瓜成株期感染此病害后,首先叶片上出现绿色水浸斑,慢慢变成黄绿色、淡褐色,并呈多角形,最后病斑合在一起,使得整个叶片干枯,并向上卷缩,如果湿度大,叶片背面呈灰黑色霉层,容易导致整个叶片枯死<sup>[2]</sup>。传统黄瓜霜霉病诊断和预测预报方法是病理分析或经验判断,该方法不仅费时、费力,且效果差。随着科技进步,逐渐发展出高光谱技术来监测农业病虫害的危害程度,原理为作物受到为害时,叶片细胞的活性、含水量、叶绿素含量等生理特性发生变化,表现为作物冠层光波反射特性发生变化,尤其是可见光波段和短波红外波段的光波特征变化。因此,可以通过受害作物某些特征波长的光波特性与正常作物光波特性的区别,来监测作物病虫害危害级别<sup>[3-4]</sup>。因此,高光谱技术为快速、方便、准确地进行设施黄瓜霜霉病的监测和预测预报提供了可能。

国内外相关文献已报道了高光谱遥感技术对重要病害发生程度的监测。黄木易等测定了小麦感染条锈病后冠层光波反射率,结果发现,光波反射率与条锈病的发生级别显著相关,据此用光谱反射率参数构建条锈病病情指数的预测预报

模型,从而为条锈病的适时、适量防治提供依据<sup>[5]</sup>。陈兵等在棉花各个生育期条件下,对感染黄萎病棉花叶片的光波反射率与叶绿素含量进行相关分析,并同时分析光波反射率的一阶微分方程与叶绿素含量的相关关系,在此基础上构建黄萎病侵染条件下,棉花叶片叶绿素含量的预测预报模型<sup>[6]</sup>。Franke 等采用手持式光谱仪分析了冬小麦受到白粉病、条锈病危害后的光谱反射率,其结果表明,采用光谱技术能监测、预警白粉病和条锈病的发生情况<sup>[7]</sup>。

当光照射在植物上时,近红外波段的光大部分被植物反射回来,红光波段的光则大部分被植物吸收,通过近红外波段和红光波段反射率的线性或非线性组合,可以消除土地光谱的影响,得到的特征指数被称为植被指数。植被指数的种类很多,其中比值植被指数 (RVI) 和归一化植被指数 (NDVI)<sup>[8-9]</sup>是目前应用广泛的 2 种植被指数。乔红波对田间不同程度麦蚜为害初期的冬小麦品种郑州 891 冠层反射光谱特征进行分析,结果表明,麦蚜为害后小麦冠层的光谱反射率在近红外区产生显著变化,且随着危害程度的加重其值逐步下降,并构建了 NDVI 与小麦百株蚜量回归预测方程<sup>[10]</sup>。杨可明等采用高光谱影像技术分析了条锈病侵染条件下的小麦冠层光谱,构建了条锈病的预测预报模型,并提出新的植被指数 MI-NDVI,该指数可消除作物不同生育阶段的影响<sup>[11]</sup>。

目前,利用高光谱遥感数据构建适用于设施黄瓜霜霉病为害监测模型的研究还鲜有报道。为此,本研究采用高光谱技术探讨黄瓜霜霉病为害后黄瓜反射光谱的变化规律,并选择特征波长点,同时计算植被指数,构建设施黄瓜霜霉病发生级别的预测方程,以期对设施黄瓜霜霉病为害的快速评估提供理论依据,进而为生产上及时有效地防治设施黄瓜霜霉病打下基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间与地点

试验于 2017 年在陕西省西安市杨陵区设施黄瓜基地

收稿日期:2018-06-11

基金项目:陕西省科学技术研究发展计划(编号:2014K01-07-03);杨凌示范区科技计划(编号:2016NY-07)。

作者简介:亢菊侠(1977—),女,陕西宝鸡人,博士,副教授,主要从事植物保护研究。E-mail:kangjuxia123@126.com。

通信作者:胡祖庆,博士,副教授,主要从事植物保护研究。E-mail:huzuqing@nwsuaf.edu.cn。

(34.31°N, 108.07°E) 进行。温室大棚长为 50 m, 宽为 6 m。

## 1.2 试验材料

供试黄瓜品种为目前陕西省关中地区主栽品种津春 4 号。

## 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 采用随机区组设计, 将温室大棚划分为 6 m × 3 m 的 15 个小区, 在黄瓜霜霉病发生的始盛期通过人工接种和喷洒杀菌剂的方法, 形成 5 个不同发病级别的小区: 0 级, 全株无病; 1 级, 全株 1/4 及以下的叶片有少量病斑; 2 级, 全株 1/2 及以下、1/4 以上的叶片有少量病斑或 1/4 及以下的叶片有较多的病斑; 3 级, 全株 3/4 及以下、1/2 以上的叶片发病或全株 1/4 及以下的叶片全部枯黄; 4 级, 全株 3/4 以上的叶片发病或全株 1/2 及以上的叶片枯黄到整株枯黄。每个处理重复 3 个小区。整个黄瓜生长期间无其他病虫害发生。

1.3.2 光谱测量 黄瓜光谱测量使用便携式野外光谱仪 ASD FieldSpec HandHeld(325 ~ 1 075 nm), 该光谱仪采样间隔为 1.0 nm。在黄瓜霜霉病发病盛期测量光波反射率, 测量时光谱仪传感器探头竖直朝下距黄瓜叶片 20 mm, 测量叶片前, 要先对参考板和太阳辐射光谱进行标定, 测定中间要用硫酸钡(BaSO<sub>4</sub>)板校正。每个样方测定 10 次。测量后立即调查全株病害发生程度。

1.3.3 数据处理 采用 ASD ViewSpec - pro 软件读取和分析源光谱数据, 将每个样方测定的 10 条光谱数据的平均值作为该样方光谱值, 并将原始光谱反射强度数据转化为反射率数据。从测量数据来看, 325 ~ 399 nm 和 901 ~ 1 075 nm 范围内的数据噪声较大, 因此只处理了 400 ~ 900 nm 范围内的光谱数据。利用 400 ~ 900 nm 波段光谱特征波长点的光谱反射率计算 RVI 和 NDVI<sup>[12]</sup>, 公式为

$$RVI(R_{NIR}, R_R) = \frac{R_{NIR}}{R_R}; \quad (1)$$

$$NDVI(R_{NIR}, R_R) = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} \quad (2)$$

式中:  $R_R$ 、 $R_{NIR}$  分别为 620 ~ 700 nm 红光波段、701 ~ 900 nm 近红外波段中与黄瓜霜霉病发生级别相关性最为显著的特征波长点的光谱反射率。

利用上述植被指数及最佳波长点的光波反射率数据作为预测预报模型参数, 同时采用 SPSS - Statistics 17.0 系统对霜霉病级别与 400 ~ 900 nm 范围内的光谱反射率进行相关和回归分析, 用 SigmaPlot 10.0 系统进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同级别病害光谱反射率分析

图 1 为不同级别黄瓜霜霉病为害后温室黄瓜光谱反射率曲线比较。健康植株与不同级别黄瓜霜霉病为害植株的光谱曲线在 400 ~ 718 nm 可见光波段的光谱反射率有明显差别。这是由于在可见光谱段内, 叶绿素的含量决定了作物的光谱特征, 叶绿素能够大量吸收可见光中蓝光区(450 nm 为中心)和红光区(670 nm 为中心)的辐射能, 从而在这 2 个区域表现为吸收谷; 在吸收谷中间波段吸收辐射能较少, 形成绿色反射峰而使植物呈现绿色。当黄瓜发生霜霉病时, 叶部出现黄褐

色病斑, 此病斑处叶绿素含量降低, 造成对蓝光区、红光区辐射能的吸收降低, 反射增强, 特别是红光波段的反射率提高。因此在 400 ~ 718 nm 可见光谱段范围内黄瓜霜霉病光谱反射强度比正常部分有明显提高, 且随着危害级别的升高, 光谱反射率也逐渐提高。另外在 825 ~ 900 nm 的近红外波段内, 健康植株与不同级别黄瓜霜霉病为害植株的光谱反射强度也有明显的差异。这是由于在近红外波段内, 植物叶片细胞构造是形成叶片光波特性的主要原因。在此波段内, 叶片病斑处内部结构与正常部分有所不同, 因此黄瓜霜霉病植株与健康植株在 825 ~ 900 nm 的近红外波段内反射强度有一定的差异, 黄瓜霜霉病为害植株比健康植株的光谱反射强度有所降低, 且随着为害级别的升高, 光谱反射率逐渐降低。

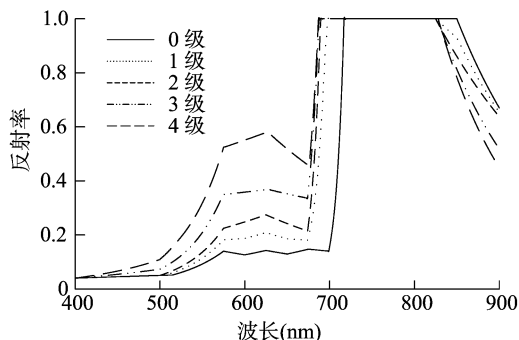


图1 不同级别黄瓜霜霉病为害后黄瓜光谱反射率曲线

### 2.2 黄瓜霜霉病级别与光谱反射率相关性分析

对黄瓜霜霉病级别与光谱数据进行相关分析。由图 2 可知, 400 ~ 900 nm 波段范围内, 黄瓜霜霉病发病级别与不同波长光谱反射率的相关性差异很大。在 719 ~ 824 nm 波段范围内, 不同级别黄瓜霜霉病的光谱反射率均不变, 因此不作分析。在 400 ~ 718 nm 波段范围内, 黄瓜霜霉病级别与光谱反射率呈正相关, 其中 568 ~ 687 nm 波段范围内, 达到了极显著水平( $P < 0.01$ ,  $n = 15$ ,  $r$  临界值为 0.622 5), 且在 679 nm 处, 相关系数为 0.683 0, 达到了最高值。在 825 ~ 900 nm 波段范围内, 黄瓜霜霉病级别与光谱反射率呈正相关, 其中 837 ~ 895 nm 波段范围内, 达到极显著水平, 且在 861 nm 处, 相关系数为 0.687 1, 达到了最高值。因此选择红光波段范围内的 679 nm 和近红外波段范围内的 861 nm 作为特征波长点, 并用这 2 个波长点光谱数据构建 RVI 和 NDVI。

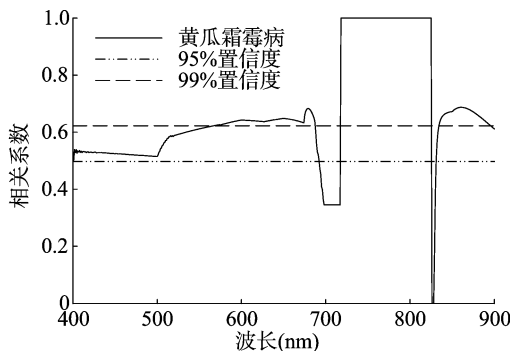


图2 不同级别黄瓜霜霉病与光谱反射率的相关性

### 2.3 基于高光谱数据的黄瓜霜霉病级别预测

以“2.2”节中确定的黄瓜霜霉病高光谱特征波长点(可见光波段范围内的 679 nm 及近红外波段范围内的 861 nm)

上的光谱反射率以及系统 RVI 和 NDVI 这 2 个植被指数为自变量, 黄瓜霜霉病发生级别为因变量, 建立黄瓜霜霉病发生情况的预测模型(表 1)。

由表 1 可知, 根据  $F$  检验的显著水平,  $RVI$  与病害级别的回归方程达到显著水平( $P < 0.05$ ),  $R_{679\text{ nm}}$ 、 $R_{861\text{ nm}}$ 、 $NDVI$  拟合的回归方程均达到极显著水平( $P < 0.01$ ), 且  $R_{861\text{ nm}}$  的显著水

表 1 高光谱参数构建的黄瓜霜霉病级别回归预测模型及检验

入选波段及组合(nm)	自变量	模拟方程	$F(1,13)$	$P$ 值
679	$R_{679\text{ nm}}$	$y = 8.972\ 0x + 1.274\ 4$	9.41	0.009
861	$R_{861\text{ nm}}$	$y = -17.502\ 0x + 16.043\ 0$	30.38	0.000
679,861	$RVI$	$y = -0.753\ 2x + 4.092\ 2$	5.76	0.032
679,861	$NDVI$	$y = -6.113\ 7x + 4.382\ 7$	9.78	0.008

### 3 结论与讨论

本研究分析了霜霉病为害设施黄瓜后, 黄瓜光谱反射率对霜霉病级别的响应规律, 并明确了在 400 ~ 718 nm 波段范围内, 随着霜霉病级别的增加, 黄瓜光谱反射率均明显上升, 并在 568 ~ 687 nm 波段范围内达到极显著相关水平; 在 825 ~ 900 nm 波段范围内, 随着霜霉病级别的增加, 黄瓜光谱反射率均明显下降, 在 837 ~ 895 nm 波段范围内达到极显著相关水平。将可见光波段的 679 nm、近红外波段的 861 nm 作为设施黄瓜光谱特征波长点, 计算系统 RVI 和 NDVI, 构建黄瓜霜霉病监测预警方程。通过对模型的  $F$  检验表明, 通过 679, 861 nm 波长点光谱反射率及 NDVI 构建的模型均能很好地揭示霜霉病级别与设施黄瓜光谱反射率之间的关系, 且通过 861 nm 波长点光谱反射率构建的模型优于通过 679 nm 光谱反射率和 NDVI 构建的模型。

农作物的光波反射率具有很好的规律性: 绿光波段(560 nm)光波吸收少, 反射率较高; 红光波段(680 nm)光波吸收多, 反射率较低; 近红外波段(720 nm)光波吸收显著减少, 反射率增加, 随后此区域反射率一直表现较高。病虫害为害农作物时, 上述 3 个波段的光波反射率改变显著, 前期文献表明, 作物叶片叶绿素含量及叶肉细胞的构造变化是其改变的根本原因<sup>[13-16]</sup>。本研究结果显示, 随着黄瓜霜霉病发生级别的增加, 绿光区和红光区光波反射率明显增加, 而近红外区光波反射率明显下降, 此结果与其他作物上的光谱反射率结果表现出一致性。可用黄瓜霜霉病病害生理学的现象来解释: 霜霉病菌为害黄瓜后, 附着胞生成的侵入丝侵入叶片细胞间隙, 而此时细胞不断丧失水分, 从而对近红外波段反射率持续下降; 随着为害程度增加, 侵入丝进一步穿透叶片细胞, 叶绿素含量进一步减小, 细胞水分持续丧失, 使得黄瓜叶片绿光区光波反射率上升, 而近红外区光波反射率下降。本研究结果显示, 利用高光谱信息监测黄瓜霜霉病是完全可行的。

本研究中的高光谱系统短时间采集到的黄瓜植株数据多, 能很好地实现快速诊断的目的。通过该研究可以得到黄瓜霜霉病的最有效特征波长, 然后根据该特征波长可以进行病害预测预报, 进而提高诊断效率, 真正达到快速、无损诊断农作物病害的目的。

### 参考文献:

[1]熊 艳, 王鹤冰, 向华丰, 等. 黄瓜霜霉病研究进展[J]. 中国农

平最高, 表明采用  $R_{861\text{ nm}}$  参数建立的模型效果最好, 预测方程为  $y = -17.502\ 0x + 16.043\ 0$ ,  $NDVI$  和  $R_{679\text{ nm}}$  次之, 而  $RVI$  植被指数拟合的显著水平虽然小于 0.05 显著水平, 但大于 0.01 极显著水平, 说明通过植被指数  $RVI$  构建的回归方程拟合效果较差, 因此不采用此方程。

学通报, 2016, 32(1): 130 - 135.

- [2]刘建凤, 吉春明, 苏建坤, 等. 几种杀菌剂对黄瓜霜霉病菌室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 152 - 154.
- [3]陈鹏程, 张建华, 雷勇辉, 等. 高光谱遥感监测农作物病虫害研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 388 - 391.
- [4]Mathus T J, Maderia A C. High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field bean leaves infected by *Botrytis fabae* [J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 45(1): 107 - 116.
- [5]黄木易, 王纪华, 黄文江, 等. 冬小麦条锈病的光谱特征及遥感监测[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 154 - 158.
- [6]陈 兵, 王克如, 李少昆, 等. 蚜虫胁迫下棉叶光谱特征及其遥感估测[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 3093 - 3099.
- [7]Franke J, Menz G. Multi - temporal wheat disease detection by multi - spectral remote sensing[J]. Precision Agriculture, 2007, 8(3): 161 - 172.
- [8]Luo J H, Huang W J, Zhao J L, et al. Detecting aphid density of winter wheat leaf using hyperspectral measurements [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2013, 6(2): 690 - 698.
- [9]Merrill S C, Holtzer T O, Pears F B, et al. Modeling spatial variation of russian wheat aphid overwintering population densities in colorado winter wheat[J]. Journal of Economic Entomology, 2009, 102(2): 533 - 541.
- [10]乔红波. 麦蚜、白粉病危害后冬小麦冠层高光谱的测量与分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2004.
- [11]杨可明, 陈云浩, 郭达志, 等. 基于高光谱影像的小麦条锈病光谱信息探测与提取[J]. 光子学报, 2008, 37(1): 145 - 151.
- [12]聂克艳, 岳延滨, 孙长青, 等. 辣椒茶黄螨危害的冠层光谱特性与危害级别反演[J]. 西南农业学报, 2012, 25(5): 1689 - 1693.
- [13]Aggarwal P K, Kalra N, Chander S, et al. Infocrop a generic simulation model for assessment of crop yields, losses due to pests and environmental impact of agro - ecosystems in tropical environments 1 model description[J]. Agricultural Systems, 2006, 89: 1 - 25.
- [14]浦瑞良, 官 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 52 - 96.
- [15]杨可明, 郭达志. 植被高光谱特征分析及其病害信息提取研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(4): 31 - 34.
- [16]Tsai F, Philpot W. Derivative analysis of hyperspectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66(1): 41 - 51.