

# 高光谱成像的水稻螟虫蛀入检测方法

欧阳爱国, 万启明, 李雄, 熊智逸, 王舜, 廖琪城

华东交通大学机电与车辆工程学院, 智能机电装备创新研究院, 江西 南昌 330013

**摘要** 为了控制水稻螟虫预警和喷洒农药用量, 实现对水稻螟虫虫害的无损检测, 提出了基于主成分分析特征波段检测方法和基于迭代阈值的最优波段检测方法, 确定了水稻茎秆螟虫检测的特征波段和最优波段, 提取出单波段和组合波段的图像来分割虫孔, 从而实现水稻螟虫的精准的无损检测。首先通过高光谱得到的 120 个样品反射率信息分析确定了光谱区域为 450~1 000 nm。基于主成分分析特征波段检测方法, 对高光谱图像进行主成分分析, 通过前五个主成分图像比较确定第三主成分图像为最佳, 然后根据第三主成分图像中各个波段的贡献率来选取特征波长(668.8 和 750 nm), 最后结合全局阈值分割和图像掩膜等图像处理实现虫孔区域的判别。而利用基于迭代阈值的最优波段检测方法, 在可见光波段 450~750 nm 范围和近红外波段 750~1 000 nm 范围内应用混合距离挑选最佳的单波段, 通过单波段来确定组合波段, 对单波段和组合波段进行迭代阈值分割, 其中 753.5 nm 波长分割效果最好, 故确定 753.5 nm 为最优波长, 然后提取该波长的图像采用一种基于迭代阈值虫孔提取方法和形态学处理, 最后能对水稻茎秆虫孔区域进行判别来实现水稻茎秆虫害是否存在。对 60 个虫害水稻茎秆和 60 个正常水稻茎秆进行检测, 应用基于主成分分析特征波段检测方法在 668.8 和 750 nm 波长处检测率分别为 95.8% 和 93.3%, 而应用基于迭代阈值的最优波长检测方法在 753.5 nm 波长处检测率高达 96.7%。说明利用基于迭代阈值的最优波长检测方法对水稻螟虫的检测更加精确, 也说明所获取的特征波段和最优波段为以后水稻螟虫虫害的多光谱成像技术提供了理论参考。

**关键词** 高光谱成像; 主成分分析; 最优波段; 阈值分割; 水稻螟虫; 无损检测

**中图分类号:** O657.3   **文献标识码:** A   **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)12-3844-07

## 引言

水稻是我国主要的粮食作物之一, 种植面积和产量都居世界第一。自 20 世纪 90 年代末以来, 害虫抗药性的形成和全球气候变化等诸多因素的影响, 水稻螟虫连年暴发, 对水稻生产构成严重威胁<sup>[1]</sup>。水稻螟虫俗称钻心虫, 通过水稻螟虫的幼虫钻蛀水稻茎秆, 在水稻生长阶段造成枯心、在生殖生长阶段造成白穗, 导致减产。因此对水稻早期的无损检测, 能够快速、准确的得到水稻的虫害信息, 为水稻虫害预警和喷洒农药用量提供理论依据。所以研究快速、准确的实现水稻虫害的无损检测对于虫害及早防控、降低损失具有重要意义。

农作物的虫害检测主要还是根据目测来判断, 不仅工作量大, 而且不能及时地判断农作物虫害的破坏程度, 有时候甚至为了便于观察需要用刀割开农作物, 导致水稻损害而无

法生长。高光谱结合图像和光谱对虫害进行无损检测, 国内外学者已经在这些方面开展了多项研究, 也取得了不错的研究成果<sup>[2-6]</sup>。王小龙等<sup>[7]</sup>对高光谱图像引入主成分分析(principal component analysis, PCA)进行特征降维并使用网格搜索进行参数寻优后, 可以提高虫害识别率, K-近邻算法和支持向量机算法的识别精度分别达到 88.24% 和 92.16%。刘德华等<sup>[8]</sup>利用高光谱成像技术对山楂的虫害区域进行 PCA 和区域生长算法, 识别率达到了 100%。马亚楠等<sup>[9]</sup>利用高光谱图像提取毛豆荚的平均灰度建立的支持向量分类模型检测内部豆荚螟的总精度为 95.6%。Wu 等<sup>[10]</sup>应用高光谱成像技术对甘蓝菜青虫幼虫检测精度达到 96% 以上。Guishan 等<sup>[11]</sup>采用近红外高光谱成像技术基于主成分分析和双波段比值结合图像相减算法开发检测算法, 能够区分虫蛀枣和完整枣。Wang 等<sup>[12]</sup>利用高光谱图像反射方法对冬枣的外部虫害进行了检测, 使得两类冬枣的总识别率达到了 97.0%。Rady 等<sup>[13]</sup>利用漫反射模式下的可见光/近红外高光谱成像

收稿日期: 2020-11-25, 修订日期: 2021-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760344)资助

作者简介: 欧阳爱国, 1968 年生, 华东交通大学机电与车辆工程学院教授   e-mail: ouyang1968711@163.com

(400~900 nm)技术检测苹果蠹蛾,通过决策树算法能有效检测虫害。

水稻螟虫一般在茎秆内部,我们只能利用水稻螟虫在水稻茎秆表面图像特征和光谱特征来表征出正常和虫害水稻茎秆的区别,且近年来农作物内部虫害相关研究较少。相对于其他光谱检测仪器来说,高光谱成像设备能够检测到水稻茎秆的外部图像信息和内部虫害光谱信息,且检测相对快速和成本低。以上研究中学者大多是用高光谱成像技术结合算法模型来检测虫害,建立模型比较复杂,工作量大。本工作运用高光谱的最优波段和特征波段通过一系列的图像处理,通过机器视觉的角度来达到快速、精准区分出虫害和正常的样本,为多光谱成像技术在线检测提供理论和方法依据。

## 1 实验部分

### 1.1 材料

选取水稻茎秆为实验对象,从江西农业厅获得的样品中挑选水稻螟虫蛀孔的茎秆 60 个,虫孔直径约为 3 mm,图 1 为有蛀虫孔的水稻茎秆,再挑选正常的水稻茎秆 60 个,为了控制变量,每个茎秆的长度均为 5 cm。由于茎秆关节和非自病的霉菌与虫孔的灰度值相近,在我们挑选样品的时候尽量挑选无霉菌和剪取没有关节的水稻茎秆。



图 1 水稻螟蛀孔的水稻茎秆

Fig. 1 Rice borer holes of rice stem

### 1.2 高光谱图像采集系统

实验用的盖亚(GaiaSorter)高光谱图像采集系统如图 2 所示。该系统主要包括光源、成像光谱仪、电控位移平台和计算机等。光源为由稳定电压电源供电的 4 盏 20 W 卤素灯(OSRAM, DECOSTAR51, MR16);成像光谱仪由 CCD 摄像机(Hamamatsu C8484-05G)和光谱仪(ImSpector, V10E, Finland)组成;电控位移平台由载物台和步进电动机组成;CCD 摄像机通过 USB 数据线连接到图像采集卡,利用 SpectraVIEW 软件控制图像采集卡来获取高光谱数据。由于图像的采集易受到自然光的影响,因此整个图像采集系统安装在一个暗箱中,以提高采集信息的质量。

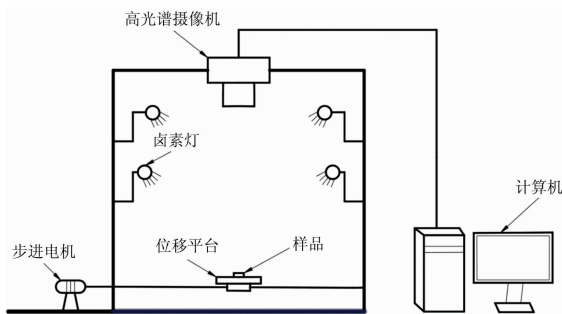


图 2 高光谱图像采集系统

Fig. 2 Hyperspectral image acquisition system

### 1.3 高光谱图像采集

采集数据前,需要对采集系统预热 30 min,以消除基线漂移对图像采集质量的影响。同时也要对成像系统的一些参数进行调整,以确保图像清晰并且不失真,经过多次尝试最终确定光谱分辨率为 2.8 nm,摄像机曝光时间为 6 ms,分辨率为 1 344 像素×1 024 像素,位移平台移动速度约为 10 mm·s<sup>-1</sup>。调整后,每次在载物台上放置一个水稻茎秆样品。在图像采集过程中,样本随着载物平台做垂直于摄像机的纵向平移,最终完成一个水稻茎秆样品的采集。所采集的图像包含特定像素下的光谱信息和特定波长下的图像信息,每个样品获取 176 个波段的图像。

### 1.4 高光谱图像数据处理方法

#### 1.4.1 黑板板校正

为了避免光源强度在各波段的分布不均匀以及 CCD 相机中暗电流对图像采集的影响,必须对所获得的高光谱图像进行黑板板校正<sup>[14]</sup>。全部的样品图像采集完成后在相同的系统条件下,首先将镜头盖上扫描一段全黑的图像 B,并且扫描之后马上取下镜头盖扫描一段全白的图像 W,最后根据式(1)完成图像的计算。使所采集的原始图像 R<sub>0</sub>转化为校正后的图像 R。式(1)为

$$R = \frac{R_0 - B}{W - B} \quad (1)$$

式(1)中,R表示校正后的水稻茎秆高光谱图像,R<sub>0</sub>表示原始的水稻茎秆高光谱图像,W表示黑板标定图像,B表示白板标定图像。

#### 1.4.2 主成分分析

主成分分析是一种去除波段之间多余信息、将多波段的图像信息压缩到比原波段更有效的少数几个转换波段的方法。算法原理为:设一个给定的训练数据集含有 N 个样本 X ∈ R<sup>n</sup>,其中均值为 m。训练集的协方差矩阵设为

$$\Sigma = \sum_i^n (x_i - m)(x_i - m)^T \quad (2)$$

式(2)中,Σ的特征值表示样本在特征矢量上的分布方差。

选择 Σ 的 s 个特征矢量根据特征值进行排序,降维后的特征子空间表示为 Y ∈ R<sup>s</sup>,s 远小于 n。

$$Y_k = Q^T X \quad (3)$$

其中 Y<sub>k</sub> = {y<sub>1k</sub>, y<sub>2k</sub>, ..., y<sub>sk</sub>}。

#### 1.4.3 最佳波段选择方法

最佳波段选择方法主要分为两大类:基于信息量的最佳波段选择和基于类间可分性的最佳波段选择<sup>[15]</sup>。基于信息量的最佳波段选择方法数据处理工作量很大,不适合快速检测。基于类间可分性的最佳波段选择主要包括 Bhattacharyya 距离、Jeffries-Matusita 距离、混合距离等,其中混合距离用式(4)表示。

$$D_{n,m} = \sum_{i=1}^P |x_{ni} - x_{mi}| \quad (4)$$

式(4)中:x<sub>ni</sub>和 x<sub>mi</sub>分别为 n 和 m 类在 i 波段上的光谱反射率;P 为波段数。

混合距离越大,两类对间的可分性越大。且该方法计算简便,但是并没有考虑到可见光区域和近红外区域之间的联

系。因此本研究运用分段混合距离方法,即在可见光区域和近红外区域分别提取波段,然后计算混合距离,从而选择最佳波段<sup>[16]</sup>。

#### 1.4.4 阈值分割

阈值分割是最简单的图像分割方法,分别运用了全局阈值分割和迭代式阈值分割两种阈值分割方法。

全局阈值分割将图像分为目标对象(白色)和背景对象(黑色),其原理为

$$u(x, y) = \begin{cases} 1 & g(x, y) > T \\ 0 & g(x, y) \leq T \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中,  $g(x, y)$  为坐标点  $(x, y)$  的像素值,  $u(x, y)$  为分割后的图像,  $T$  为全局的阈值。

迭代阈值是通过迭代的方法求出最佳的分割阈值。其原理为:

(1) 设定初始的阈值  $T_0$ 。

(2) 用阈值  $T$  来分割图像。可以将图像分为两大部分:  $S_1$  是由灰度值大于  $T_0$  的像素组成,  $S_2$  是由灰度值不大于  $T_0$  的像素组成。

(3) 计算  $S_1$  和  $S_2$  中所有像素的平均灰度值  $m, n$  和新的阈值  $T_1 = (m+n)/2$ 。

(4) 如果  $|T_1 - T_0| = 0$ , 则输出  $T_1$  为最佳阈值; 否则, 将  $T_1$  赋值给  $T_0$ , 且重复(2)~(4)过程, 直到得到最佳阈值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光谱分析

如果我们对全部光谱进行数据分析, 会极大的增加工作量, 降低工作效率和准确性。因此, 必须对全部光谱进行光谱区域范围的确定。

在水稻茎秆表面选取 50 个像素点的感兴趣区域 (regions of interest, ROI) 平均光谱作为该水稻茎秆的光谱曲线, 120 个样品光谱反射率曲线如图 3 所示。380~1 020 nm 波长范围内一共有 176 个波段, 水稻茎秆正常部分和水稻茎秆虫害部分反射率有明显的差异, 水稻茎秆正常部分的反射率明显高于水稻茎秆虫害部分的反射率, 且反射率差异有逐渐减小的趋势, 水稻茎秆正常部分平均光谱曲线峰值在 0.65 左

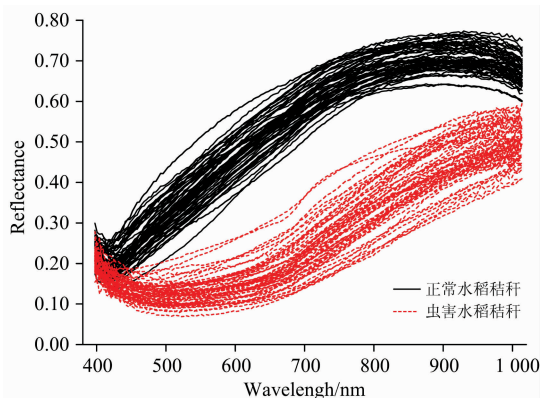


图 3 120 个样品光谱反射率曲线

Fig. 3 Spectral reflectance curves of 120 samples

右, 水稻茎秆虫害部分平均光谱曲线峰值在 0.45 左右。光谱范围在 380~450 nm 之间和 1 000~1 020 nm, 虫害水稻茎秆和正常的水稻茎秆平均光谱曲线差距很小, 很难分辨出来。在以后的研究中, 我们选取 450~1 000 nm 作为光谱区域。

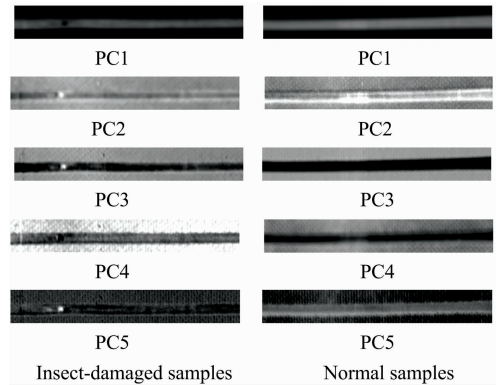


图 4 前五个主成分图像

Fig. 4 The first five PC images

### 2.2 基于主成分分析特征波段的水稻螟虫检测方法

#### 2.2.1 特征波段的选取

由于高光谱图像信息量十分丰富, 要从成百上千的图像信息中找到能反映出虫害水稻茎秆的特征图像是很繁琐的<sup>[17]</sup>。利用主成分分析化学计量学方法对高光谱数据进行处理, 能筛选出特征波段。挑选前五个主成分图像, 如图 4 所示。其中 PC2 和 PC5 茎秆和背景很难区分开来, PC4 的虫孔区域比较黑不容易辨认, 而 PC3 和 PC1 相比, PC3 更佳。因此 PC3 更适合作为找到最佳特征图像的依据。

为了得到最佳的特征图像, 需要根据 PC3 图像的特征向量进行光谱的曲线权重系数的图像的绘制。如图 5 所示为 PC3 图像下的 156 个波长点所对应的权重系数图。黑色实线表示正常的水稻茎秆样品, 红色虚线表示为虫害的水稻茎秆样品, 从两条权重系数曲线中可以看出, 正常样品和虫害样品在波谷 750 nm 左右处存在较大的差异, 且在波长 668.8 nm 处也有个差异很明显的波谷, 表明这两个波长对 PC3 图像的影响较大, 因而确定在波长 668.8 和 750 nm 的图像就是最佳特征图像, 如图 6 所示。

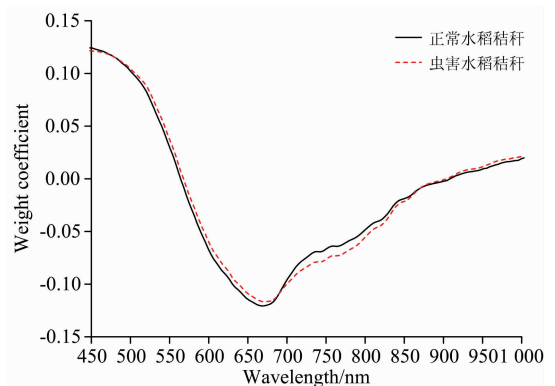


图 5 PC3 光谱权重系数

Fig. 5 PC3 spectral weight coefficient

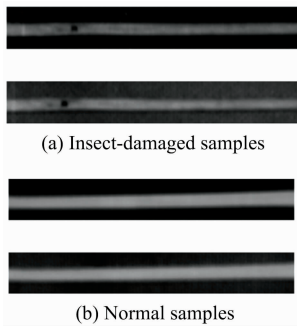


图 6 668.8 和 750 nm 处的 RGB 图像  
Fig. 6 RGB images at 668.8 and 750 nm

2.2.2 基于主成分分析特征波段的水稻螟虫检测方法  
在 ENVI 4.5 软件中对 668.8 和 750 nm 特征波长获取

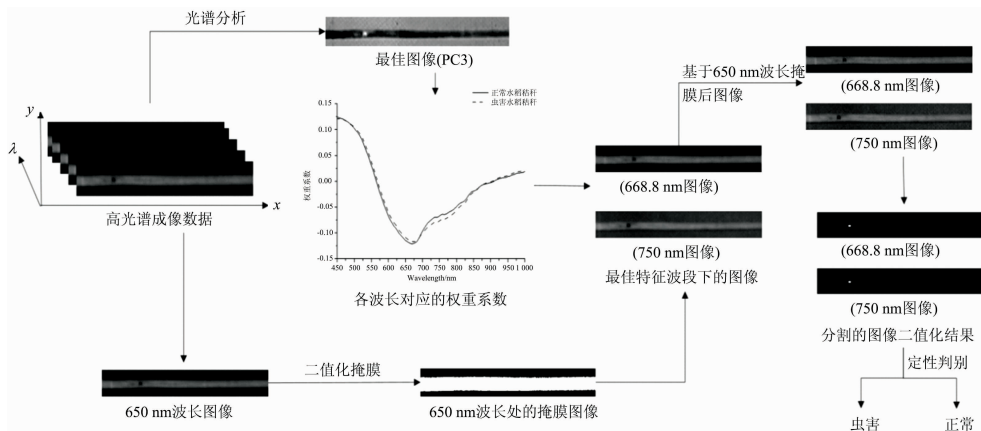


图 7 基于主成分分析特征波段水稻螟虫检测流程图  
Fig. 7 Flow chart of pest detection of rice borer based on principal component analysis characteristic band

2.3 基于迭代阈值的最优波段水稻螟虫检测方法

2.3.1 水稻螟虫高光谱图像最优波段选择

在图 8 光谱反射率曲线中可以看出，水稻茎秆的正常部位和虫害部位的反射率有明显的差异，水稻茎秆在可见光波段 550~750 nm 范围内虫害区域与正常区域反射率差异较大。这是由于虫孔区域的茎秆的组织已缺失一部分，叶绿素含量的降低导致反射率变低，且 550 nm 附近有叶绿素的强反射峰值<sup>[16]</sup>。在近红外波段 750~900 nm 范围内，水稻茎秆虫害区域与正常区域反射率差异较大。这是由于正常水稻秸秆的细胞壁和细胞空隙间折射率有差异，引起多重反射导致高反射率，而虫孔区域细胞组织都已坏死导致反射率较低<sup>[16]</sup>。为了减小光谱间的相关性的影响，所以在整个波段范围内划分为两个区域，550~750 nm 区域为可见光光谱区域和 750~900 nm 区域为近红外光谱区域。在 550~750 nm 波长范围内选择一个波段，在 750~900 nm 波长范围内选择一个波段，按照式(4)计算出混合距离进行大小比较。从中选择两个最大的，来确定最佳波段。通过比较可知，在波段 550~750 nm 范围内，689.9 nm 混合距离是最大的；在 750~900 nm 范围内，753.5 nm 的混合距离是最大的。因为要考虑减少组合波段之间光谱波段的相关性，因此选取了三个波长来组合(表 1)。

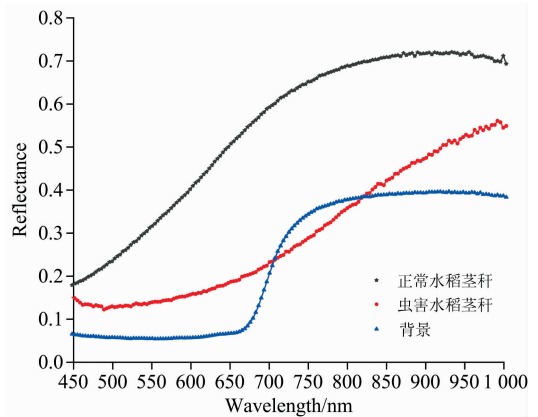


图 8 单个样品高光谱反射率曲线  
Fig. 8 Hyperspectral reflectance curves of a single sample

2.3.2 基于迭代阈值的最优波段水稻螟虫检测方法

分别对单波段 682.9, 689.9 和 753.5 nm 和双波段 689.9 与 753.5 nm, 682.9 与 753.5 nm 的波段比的一种基于迭代阈值进行阈值分割的虫孔的提取方法，以此来检测水稻螟虫孔区域。

表 1 混合距离组合结果

Table 1 Results of hybrid-distance combinations

组合序号	可见光波长/混合距离	近红外波段/混合距离	组合波段/混合距离
1	689.9 nm/0.348	753.5 nm/0.319	689.9, 753.5 nm/0.667
2	682.9 nm/0.346	753.5 nm/0.319	682.9, 753.5 nm/0.665
3	689.9 nm/0.348	750 nm/0.316	689.9, 750 nm/0.664

其中先用迭代法检测分割出来的效果，比较发现在 753.5 nm 处的图像分割效果最好，如图 9 所示。

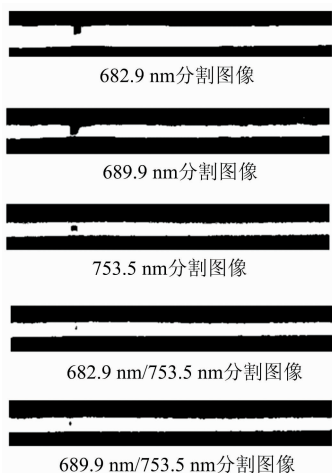


图 9 最优波段的迭代阈值分割图像

Fig. 9 Optimal band iteration threshold segmentation image

图 10 为在 753.5 nm 一种基于迭代阈值虫孔提取图<sup>[18]</sup>。首先，输入 753.5 nm 的高光谱图像(a)，然后用迭代方法求取最佳阈值分割的图像(b)。找出最大白色区域设为背景，其他区域全部设置为虫孔区域，如图 10(c)，为了使图像效果更好对原图像进行锐化，找出虫孔的坐标范围，设置茎秆灰度值基本不变，虫孔区域灰度值为 0，图 10(d)所示。最后对(d)图进行一次图像阈值分割，再对分割的图像进行腐蚀膨胀处理得到虫孔的区域，如图 10(e)。图 11 为一种基于迭

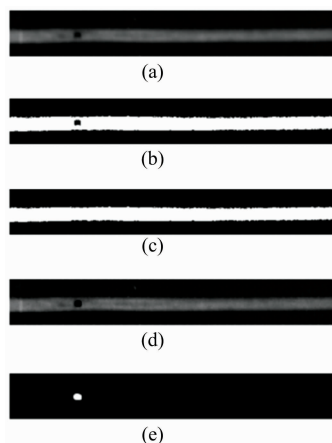


图 10 基于迭代阈值虫孔提取的结果图  
Fig. 10 The results of wormhole extraction based on iterative threshold

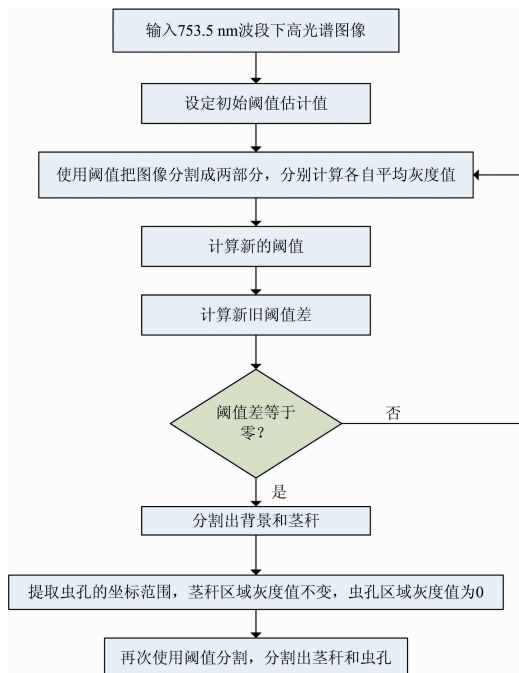


图 11 基于迭代阈值虫孔提取方法的流程图

Fig. 11 Flow chart of wormhole extraction method based on iterative threshold

代阈值虫孔提取方法的流程图。其中以(e)图是否出现白点为检测结果的判断依据。如果最后分割出白点则为水稻螟虫茎秆，如果最后不能分割出白点则为正常水稻茎秆。

2.4 基于 PCA 特征波段和迭代阈值最优波段检测结果

由 2 表可知，虫害样品和正常样品共计 120 个，其中虫害样品有 60 个，正常样品有 60 个。用 668.8 nm 处的特征图像进行定性判别，虫害的茎秆误判数为 0，检测正确率为 100%；正常茎秆误判数为 5 个，检测正确率为 91.7%。750 nm 处特征图像对样品进行定性判别，虫害的茎秆误判数为 0，检测正确率为 100%；正常茎秆误判数为 8 个，检测正确率为 86.7%。用 668.8 nm 处图像的全部检测正确率为 95.8%，而用 750 nm 的全部检测正确率为 93.3%，因此基于 PCA 特征波段检测用 668.8 nm 的图像对茎秆进行判别效果更好；而利用 753.5 nm 处的图像用迭代阈值虫孔提取方法，虫害的茎秆数误判数为 0，检测正确率为 100%；在 753.5 nm 中正常茎秆误判数为 4 个，检测正确率为 93.3%，最终得到的全部检测正确率为 96.7%。所以在实际判定的分选过程中只需要用最优波长 753.5 nm 处的图像来对未知的水稻茎秆样品进行定性判别。

表 2 两种检测方法检测结果  
Table 2 Results obtained by two detection methods

检测方法	检测波段	正常水稻 茎秆(60个)	检测正确 率/%	虫害水稻 茎秆(60个)	检测正确 率/%	整体检测 正确率/%
基于 PCA 特征波段检测	668.8 nm 处误判数	5	91.7	0	100	95.8
	750 nm 处误判数	8	86.7	0	100	93.3
基于迭代阈值的最优波段检测	753.5 nm 处误判数	4	93.3	0	100	96.7

### 3 结 论

利用高光谱成像系统采集的水稻螟虫水稻茎秆和正常水稻茎秆的高光谱图像,运用基于主成分分析特征波长检测方法和基于迭代阈值的最优波长检测方法并分别结合相应的图像处理方法对高光谱样品图像进行定性判别。通过主成分分析预处理得到两个特征波长(668.8 和 750 nm),通过分段混合距离方法得到最优波长 753.5 nm,并用此特征波长和最优波段对正常和虫害的水稻茎秆进行判别。检测结果显示,在基于主成分分析特征波段检测方法下,668.8 nm 处的图像整体检测率为 95.8%,750 nm 处的图像整体检测率为

93.3%;而在基于迭代阈值的最优波段检测方法下,753.5 nm 处的图像整体检测率高达 96.7%。因此在实际判定的分选过程中只需要用最优选波长 753.5 nm 处的图像来对未知的水稻茎秆样品进行定性判别。本研究实现了在最优波段和特征波段的对比下,通过机器视觉的角度来达到快速、精准区分出存在水稻螟虫和正常的水稻茎秆,为多光谱成像技术在线检测提供理论和方法依据。

但是对于正在成长的水稻如果水稻螟虫刚蛀入茎秆一段时间后,随着水稻的成长而使蛀孔闭合,这样运用本方法实现不了检测的目的。因此这种情况下需要我们研究出如何能够凭着水稻螟虫对水稻茎秆的表面和内部迫害反映的信息来区分出正常和虫害的区别,是以后研究的重点。

### References

- [1] XIANG Yu-yong, ZHANG Fan, XIA Bi-wen, et al(向玉勇, 张帆, 夏必文, 等). China Plant Protection(中国植保导刊), 2011, 31(11): 20.
- [2] Guo A, Huang W, Ye H, et al. Remote Sensing, 2020, 12(9): 1419.
- [3] Haff R P, Saranwong S, Thanapase W, et al. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86(1): 23.
- [4] TIAN You-wen, CHENG Yi, WANG Xiao-qi, et al(田有文, 程怡, 王小奇, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2014, 30(12): 132.
- [5] WU Long-guo, HE Jian-guo, LIU Gui-shan, et al(吴龙国, 何建国, 刘贵珊, 等). Chinese Journal of Luminescence(发光学报), 2013, 34(11): 1527.
- [6] Haff R P, Saranwong S, Thanapase W, et al. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86(1): 23.
- [7] WANG Xiao-long, DENG Ji-zhong, HUANG Hua-sheng, et al(王小龙, 邓继忠, 黄华盛, 等). Journal of South China Agricultural University(华南农业大学学报), 2019, 40(3): 97.
- [8] LIU De-hua, ZHANG Shu-juan, WANG Bin, et al(刘德华, 张淑娟, 王斌, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2015, 35(11): 3167.
- [9] MA Ya-nan, HUANG Min, LI Yan-hua, et al(马亚楠, 黄敏, 李艳华, 等). Science and Technology of Food Industry(食品工业科技), 2014, 35(14): 59.
- [10] Wu X, Zhang W Z, Qiu Z J, et al. Applied Engineering in Agriculture, 2016, 32: 311.
- [11] Liu G S, He J G, Wang S L, et al. International Journal of Food Properties, 2016, 19: 41.
- [12] Wang J, Nakano K, Ohashi S, et al. Original Research Article Biosystems Engineering, 2011, 108(4): 345.
- [13] Rady A, Ekramirad N, Adedeji A A, et al. Postharvest Biology and Technology, 2017, 129: 37.
- [14] ZHOU Hong-ping, HU Yi-lei, JIANG Hong-zhe, et al(周宏平, 胡逸磊, 姜洪喆, 等). Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery(农业机械学报), 2021, 52(5): 308.
- [15] ZHAO Chun-hui, CHEN Wan-hai, YANG Lei(赵春晖, 陈万海, 杨雷). Journal of Natural Science of Heilongjiang University(黑龙江大学自然科学学报), 2007, 24(5): 592.
- [16] TIAN You-wen, XING Xiao-qi, WANG Xiao-qi, et al(田有文, 邢晓琪, 王小奇, 等). Journal of Shenyang Agricultural University(沈阳农业大学学报), 2015, 46(6): 719.
- [17] LI Cheng-ji, ZHANG Shu-juan, REN Rui, et al(李成吉, 张淑娟, 任锐, 等). Farm Products Processing(农产品加工创新版), 2020, 4: 69.
- [18] Ma Y N, Huang M, Yang B, et al. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 106: 102.

# Research on Rice Borer Detection Methods Based on Hyperspectral Imaging Technology

OUYANG Ai-guo, WAN Qi-ming, LI Xiong, XIONG Zhi-yi, WANG Shun, LIAO Qi-cheng

School of Mechatronics & Vehicle Engineering, East China Jiaotong University, Intelligent Electromechanical Equipment Innovation Research Institute, Nanchang 330013, China

**Abstract** To be able to forewarn rice borers and control the spraying pesticide dosage, to realize the nondestructive detection of rice borers' damage. A feature band detection method based on principal component analysis and an optimal band detection method based on iterative threshold is proposed, the characteristic band and the optimal band of rice stem borers detection are determined, and the images of single band and the combined band are extracted to segment wormholes, to realize the accurate nondestructive detection of rice borers. Firstly, the reflectance information of 120 samples obtained by hyperspectral analysis determined that the spectral region was 450 ~ 1 000 nm. Band detection method based on principal component analysis characteristics, principal component analysis in the hyperspectral image, in which the first five principal components determine the third principal component images as the best image comparison, and then according to the third principal component in the image, the contribution rate of each band features to select wavelength (668.8 and 750 nm). Finally, global threshold segmentation and image masking are combined to distinguish the wormhole region. Moreover, utilization based on iterative threshold detection method, the optimal band in the visible band 450~750 nm range and near-infrared band 750~1 000 nm range application to pick the best single band, mixing distance by single band combination, a combination of single band and band to iterative threshold segmentation. Among them, 753.2 nm single band has the best segmentation effect, and 753.5 nm single band is determined as the optimal band. And then extract the band images using a wormhole extraction method based on iterative threshold and morphological processing. Finally, we can distinguish the rice stalk foraminifera region to realize the existence of rice stems infested with borers. The results showed that the detection rates of 60 pest-rice stalks and 60 normal rice stalks were 95.8% and 93.3% respectively, at 668.8 and 750 nm bands by using the principal component analysis-based characteristic band detection method. The optimal band detection method based on the iterative threshold has a detection rate of 96.7% at 753.5 nm band. This indicates that the optimal band detection method based on the iterative threshold is more accurate for the detection of rice borer and also indicates that the acquired characteristic band and optimal band provide theoretical reference for the future multi-spectral imaging technology of rice borers' damage.

**Keywords** Hyperspectral imaging; Principal component analysis; The optimal band; Threshold segmentation; Rice borer; Non-destructive detection

(Received Nov. 25, 2020; accepted Feb. 17, 2021)