文章编号：1002-1582(2019)05-0552-05

# 短波红外成像光谱技术在小麦赤霉病检测中的应用

张健[1]，崔继承[2]，刘晓梅[1]*，柳华[1]，王明佳[2]，江子琦[1]
(1.海南大学 机电工程学院，海南 海口 570228)
(2.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 光栅中心，吉林 长春 130033)

**摘　要**：小麦是人类主要食物来源之一，广泛分布于世界各地。赤霉病是小麦的主要病害，目前赤霉病的检测技术无法实现小麦快速、无损的在线检测。为了研究短波红外成像光谱技术应用于小麦赤霉病检测的可行性，基于LabVIEW开发专用于样品检测的数据采集系统，利用短波红外光谱仪获取样本光谱图像并进行数据分析与处理。实验数据表明：赤霉病小麦种子与健康小麦种子的短波红外光谱图像在1350～1600nm光谱范围内谱线数据特征差异明显，证明短波红外成像光谱技术应用于小麦赤霉病的检测具有一定的推广应用性。

**关　键　词**：短波红外；小麦赤霉病；LabVIEW；数据采集
**中图分类号**：S375　　**文献标识码**：A
DOI:10.13741/j.cnki.11-1879/o4.2019.05.008

# The technology of short-wave infrared imaging spectroscopy applied to detecting wheat scab

ZHANG Jian[1], CUI Jicheng[2], LIU Xiaomei[1]*, LIU Hua[1], WANG Mingjia[2], JIANG Ziqi[1]
(1.Hainan University, School of Mechanical and Electrical Engineering, Haikou 570228, China)
(2.Changchun Institute of Optics, Fine Mehcanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Raster Center, Changchun 130033, China)

**Abstract**: Wheat is one of the main food sources of human beings and is widely distributed throughout the world. Scab is the main disease of wheat. At present, the detection technology of scab can not achieve rapid and non-destructive online detection of wheat. The feasibility of short-wave infrared imaging spectroscopy for the detection of wheat scab is studied. Based on LabVIEW, a data acquisition system dedicated to sample detection was developed. The short-wave infrared spectrometer was used to acquire the sample spectrum image and analyze and process the data. Experimental data shows that the short-wave infrared spectrum of scab wheat seeds and healthy wheat seeds showed significant differences in spectral data between 1350nm and 1600nm. It is proved that short-wave infrared imaging spectroscopy has certain application and application in the detection of wheat scab.

**Key words**: short-wave infrared; wheat scab; LabVIEW; data acquisition

---

**收稿日期**：2019-04-17；**收到修改稿日期**：2019-05-31
**基金项目**：高光谱成像刑侦分析检测研究技术(20180201049SF)；国家自然科学基金项目(61440008)
**作者简介**：张健(1992—)男，硕士研究生，从事光学工程研究。948262787@qq.com
刘晓梅(1981—)女，教授，博士，从事光机电一体化研究。
* **通讯作者**：liuxm@hainu.edu.cn

## 0　引　言

小麦赤霉病是由亚洲镰刀菌和禾谷镰刀菌引发的一种世界性植物病害，在美国、加拿大及我国等国家均处于流行状态。小麦感染赤霉病的时期主要集中在小麦的开花阶段[1]。小麦染上赤霉菌后会迅速的在小麦穗部扩展，随着在小麦籽粒灌浆成熟的过程中持续生长繁殖同时在小麦籽粒中产生多种毒素，其中包含脱氧雪腐镰孢菌烯醇(Deoxynivalenol，DON)、雪腐镰孢菌烯醇(Nivalenol，NIV)和玉米赤霉烯酮(Zearalenol，ZEN)等[2]。此类毒素不仅会造成小麦的严重减产，更重要的是误食含有此类毒素的食品后会引发晕眩、高烧等急性中毒症状，直接对人、畜安全构成威胁[3,4]。目前小麦赤霉病传统的检测方法有五种，分别为薄层色谱法、气相色谱法、高压液相色谱法、气质联用、液质联用，上述检测方法准确度较高但取样率极低，检出用时在 2～4h，不适用于仓储检测[5,6]。此外，小麦赤霉病检测的方法还有免疫亲合柱-荧光检测、胶体金免疫层析方法、酶联免疫法，虽然使检出时间提高至 0.5h 左右，但准确度严重下降，而且理化方法使用的设备价格较高，操作过程繁琐，无法进行现场测试，局限性明显，不适用于筛查[7,8]。因此仓储检测行业急需开发出一种可以实现小麦赤霉病快速、原位、准确检测的普查类检测设备。

短波红外(Short-Wave Infrared，SWIR)成像光谱仪是可以在获取目标短波红外波段图像的同时也能够测量目标光谱特性的光学仪器，该仪器可以在遥感平台上以高光谱分辨率和高空间分辨率采集目标的光谱图像。短波红外成像光谱仪是定量、定性分析的传统光谱分析技术转变为定时、定位、定量、定性分析的现代光谱分析技术的一个重要方向[9－11]。短波红外成像光谱仪获取的数据由空间维 $x$、空间维 $y$ 及光谱维 $\lambda$ 组成，这种三维的数据结构被称为数据立方体[12－14]。光谱成像技术在军事、农业、医疗及科学研究等诸多领域已开始普遍应用，但使用短波红外波段进行探测的依然很少，短波红外相比于其他波段的光谱仪器具有不可替代的优势，更加突出了本课题研究的重要意义[15－19]。

赤霉病小麦种子含有的各类病菌改变了种子的理化特征，使得小麦种子的光谱特征发生相应改变。为了缩短小麦赤霉病的检测时间，并提高准确性，本实验尝试采集目标短波红外波段光谱信息，通过短波红外光谱仪采集所需要的光谱和图像信息，进行光谱分析和图像处理然后作定性分析，进而实现快速原位、检测赤霉病小麦与健康小麦。

## 1　材料与仪器设备

在已有的小麦样品中，选取明显患赤霉病的小麦种子与健康的小麦种子若干。在选取出来的赤霉病小麦种子中随机取样，采用酶联免疫法测种子中 DON 毒素含量，以确保选取出来的赤霉病小麦种子是含有赤霉病毒素的；在选取出来的健康小麦种子中随机取样，采用酶联免疫法测种子中 DON 毒素含量，以确保选取出来的健康小麦种子不含赤霉病毒素。图 1 为试验所使用的短波红外成像光谱仪实物图，用箭头标出的分别为：短波红外成像光谱仪，钨灯，平移台。短波红外成像光谱仪的相关参数见表 1。

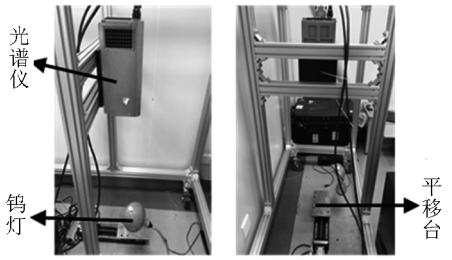



图 1　短波红外光谱仪实物图

表 1　短波红外成像光谱仪参数

| SWIR 成像光谱仪(ImSpector N25E)参数表 | |
|---|---|
| 光谱范围/ nm | 970～2500 |
| 光谱分辨率/ nm | 10 (30$\mu$m 狭缝) |
| 光谱取样间隔/ nm | 6.3 |
| 空间分辨率/$\mu$m | 光斑半径 rms＜15 |
| 数值孔径 | 2 |
| 狭缝宽度/$\mu$m | 30 |
| 有狭缝长度/ mm | 9.6 |
| 镜头(OLES 30) | 焦距：30mm，视场角：18° |

## 2　实验数据采集

### 2.1　基于 LabVIEW 开发数据采集程序

LabVIEW 数据采集系统中采集硬件的种类繁杂，要依据不同的采集环境来选择符合条件的硬件设施，LabVIEW 中的数据采集硬件驱动程序(NI-DAQmx)需要相应的操作指令来进行接口与接口之间的数据传输，使用者可以利用驱动程序里的用户接口对硬件采集设备进行设置。基于 LabVIEW 的数据采集系统硬件结构如图 2 所示。

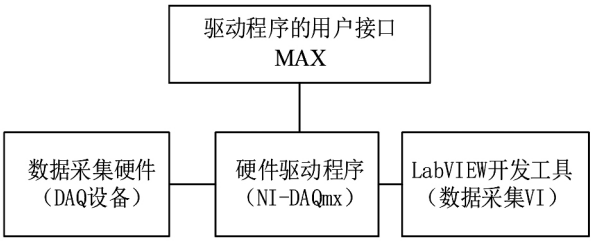



图 2　LabVIEW 数据采集系统

图 2 中数据采集硬件指的是试验所用的短波红

外成像光谱仪，硬件驱动程序是链接硬件设备和计算机的特殊程序，保证硬件设备和计算机之间可以正常通信，驱动程序用户接口主要用于对硬件进行配置与测试。基础的设计原理结构图如图 3 所示。

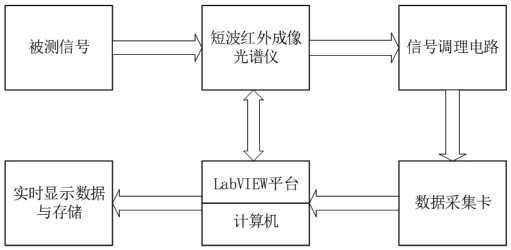



图 3 系统原理结构图

具体到详细的 LabVIEW 程序中简单的过程如下图 4 所示。图中相应部件的含义对应下面的框图。在每个程序之间需要做的事件用 1～5 标记上，分别要做的是：1-建立数据缓冲区个数，设置采集状态；2-创建图像采集的文件格式；3-延时和计时设定；4-开始采集；5-图像数据的显示和保存。

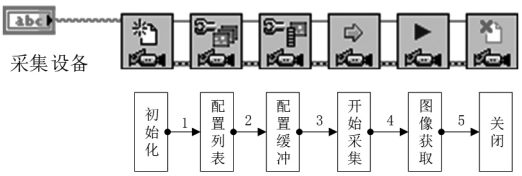



图 4 程序简单过程

在 LabVIEW 的前面板中会得到两幅显示图像分别为图 5 单波段图像，图 6 光谱曲线。

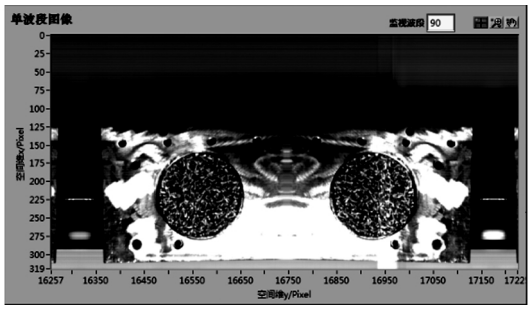



图 5 单波段图像

试验进行阶段通过观察图 5、图 6 中的图像显示来观察短波红外成像光谱仪采集到的光谱信息，来确定是否存储。如需存储，则通过存储子程序进行数据存储，得到需要的红外光谱信息后进行下一步的处理分析。

基于 LabVIEW 开发了短波红外成像光谱仪的数据采集系统，依据现有的短波红外光谱仪，根据数据采集任务，应用 LabVIEW 实现了两个主要目标：其一是实时提取某一光谱维数据，将一段时间内不同时刻的同一光谱维数据拼接，并实时显示拼接后的图像；其二是可实时查看某一空间点的光谱数据

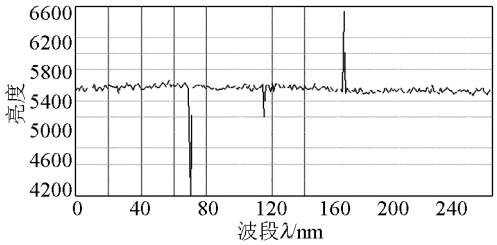



图 6 光谱曲线

信息，并以光谱曲线的形式显示出来。采集系统完全可以用于小麦赤霉病光谱信息的数据采集。

## 2.2 实 验

检测实验步骤共分为三步：第一步进行小麦样品的预处理，在样本分选出健康小麦种子和赤霉病小麦种子。第二步利用短波红外成像光谱仪对小麦样品进行短波红外光谱信息采集。最后一步根据采集到的短波红外光谱信息使用 ENVI（遥感图像处理软件）进行图像处理，得到相关数据和样本图像。

### 2.2.1 小麦样品预处理

由于实验样品的小麦种子较少，不需要大批量的筛选工作，所以采取人工筛选的方法，先人工挑选出小麦种子样品中的石子、杂草，泥土等非小麦种子的杂质并把附着在小麦种子上的泥土类杂质简单处理，处理时不要损伤小麦种子。处理完成之后把挑选出的种子放进 37℃的恒温箱中，进行通风和干燥处理，使挑选出的小麦种子样品具有相同的水分含量，避免水分含量不同造成光谱数据差异，以免影响分析结果。

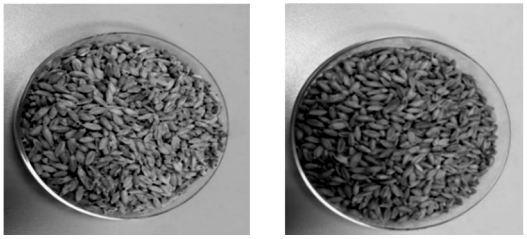
（1）筛选样品中赤霉病小麦种子：由于样品数量并不是很多，采用人工识别的方法挑选赤霉病小麦种子，依据赤霉病小麦种子的患病特点，选取小麦表皮上明显带有粉红色或褐色病斑的小麦种子，把选出的赤霉病小麦种子样品放在密封袋中与其他小麦种子隔离，备 4 份以便于实验光谱采集和样品数据的对比分析。

（2）筛选样品中健康小麦种子：同样采用人工识别的方法，在小麦种子样品中选出籽粒饱满，硬度适中的小麦种子，备 4 份后，在四份样品中，每份平分成 8 份，随机选取不相邻的两份均匀混合，采用酶联免疫法进行赤霉病毒素检测，结果为 0。从而确定选取的样品中，全部为健康未患有赤霉病的小麦种子，把剩余样本放在密封袋中和赤霉病小麦种子隔离，用于实验光谱采集和样品数据对比分析。

### 2.2.2 信息采集

将待测小麦种子样品置于短波红外成像光谱分仪上的平移台的样品盘中，如图 7(a)为健康小麦种子，图 7(b)为赤霉病小麦种子。依据设定的试验条件进行光谱扫描和采集：光谱波长范围为 970～

2500nm，室温实时温度 25℃，试验中采用连续的钨灯光源照明，对每个样品进行采集扫描 4 次，存盘备用。



（a）健康小麦种子　　（b）赤霉病小麦种子

图 7　小麦种子

### 2.2.3　数据图像处理

通过短波红外成像光谱仪采集到的短波红外光谱信息，选取样品盘中的十个不同位置的数据做出如下的曲线图 8，可以看出健康样本光强值明显低于患病样本。

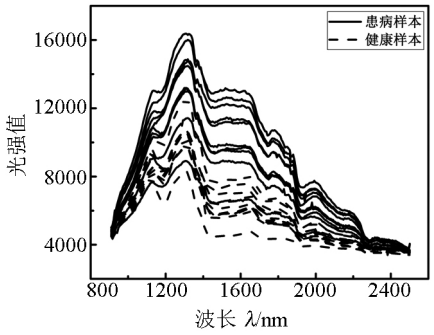



图 8　样本曲线图

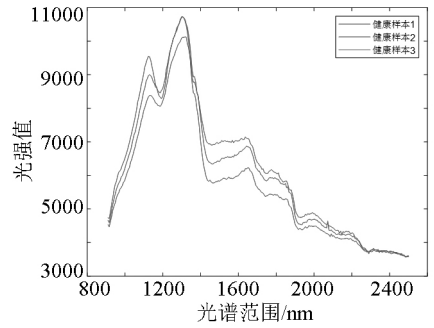
## 3　实验结果与数据分析

图 9(a)为健康小麦种子的光谱曲线图。这三条曲线图数据是在备份的小麦种子中随机选取的。从光谱曲线走势来看三条曲线走势基本相同在 1250～1300nm 处达到最高峰，峰值在 10000～11000 范围内。图 9(b)为赤霉病小麦种子的光谱曲线图。这三条曲线图数据是在备份的小麦种子中随机选取的。光谱曲线走势大致相同。但所达到的光强值与健康种子存在明显差异。

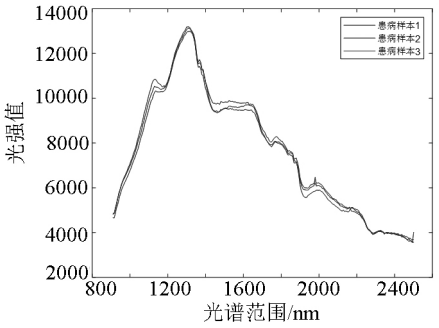
图 9(c)、图 9(d)分别是随机选取的健康样本与患病样本的曲线对比图，实现为赤霉病种子的光谱曲线图，虚线为健康小麦种子光谱曲线图。由图可以看出光谱数据显示样品在 1125～1600nm 范围内，赤霉病小麦明显高于健康小麦种子，并且在 1350～1600nm 范围内赤霉病小麦种的光谱能量值高出健康小麦种子一倍左右，数据差距比较明显。

## 4　总结与展望

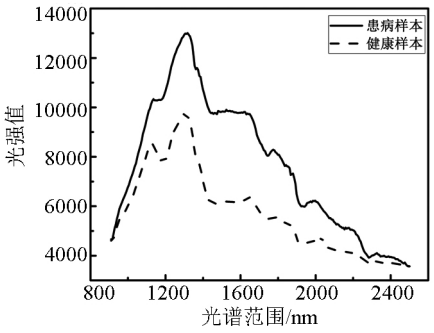
目前多数农业光谱检测技术是采取目标近红外波段的数据进行分析，本实验尝试了目前很少在农业



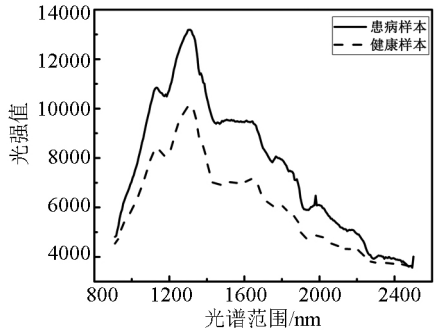

(a) 健康种子光谱曲线图




(b) 赤霉病种子光谱曲线图




(c) 光谱曲线对比图




(d) 光谱曲线对比图

图 9　样本光谱曲线图

检测方面使用的短波红外波段。实验结果证明基于 LabVIEW 开发出的数据采集系统可以用于短波红外成像光谱仪的数据采集，能够实时显示一段时间内不同时刻同一光谱维拼接后的图像，并可实时查看任意空间点的光谱曲线，可用于采集和分析小麦赤霉病的光谱数据，实现短波红外成像光谱仪的相机开发。赤霉病小麦种子与健康小麦种子的短波红外光谱图像存在显著差异，特别是在 1350～1600nm 光谱范围内，赤霉病小麦种子谱线高于健康小麦种子

谱线一倍左右，有利于识别和分选小麦。可以看出短波红外光谱技术用于赤霉病小麦种子的识别分选是可行的，能够实现小麦赤霉病的无损在线检测。

对于研究的展望有两点：(1)获取不同地区不同年份的赤霉病小麦种子和健康小麦种子，对比不同年份不同地区是否对小麦种子的光谱曲线图会产生影响。(2)依据当前实行的国家标准 GB1351—2008《小麦》和国家标准 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》等文件，小麦入仓的标准是呕吐毒素是否含量超过 1000μg/kg[20]。之后的实验将根据小麦种子中含有的呕吐毒素是否少于 1000μg/kg 来做分界点进行更加具体的对比分析实验。

## 参考文献：


[1] Lankapalli Ravikanth, Chandra B Singh, Digvir S Jayas, et al. Classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging[J]. Biosystems Engineering, 2015, 135: 73—86.

[2] 史建荣，刘馨，仇剑波，等. 小麦中镰刀菌毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染现状与防控研究进展[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3641—3654.
Shi Jianrong, Liu Xin, Qiu Jianbo, et al. Deoxynivalenol contamination in wheat and its management[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3641—3654 .

[3] 胡梅.小麦赤霉病的发生及防治[J]. 现代农业科技, 2009, 05: 115.
Hu Mei. The occurrence and control of wheat scab[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009, 05: 115.

[4] 金正婷. 利用卫星遥感估测冬小麦长势和赤霉病的研究[D]. 南京信息工程大学, 2016.
Jin Zhengting. Study on estimating winter wheat growth and fusarium head blight using satellite remote sensing[D]. Nanjing University of Information Science & Technology, 2016.

[5] 李华，祭芳，徐剑宏，等. 赤霉毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇酶联免疫检测方法研究[J]. 中国农业科学 2007, 40(04): 721—726.
Li Hua, Ji Fang, Xu Jianhong, et al. Enzyme-Linked Immunosorbent-Assay for deoxynivalenol(DON)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(04): 721—726.

[6] 杜英秋，张瑞英，苏萍，等. 小麦中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的测定及方法研究[J]. 河南工业大学学报：自然科学版, 2012, 33(3): 61—65.
Du Yingqiu, Zhang Ruiying, Su Ping, et al. Determination of deoxynivalenol in wheat[J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 33(3): 61—65.

[7] Senay Simsek, Kimberly Burgess, Kristin LWhitney, et al. Analysis of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside in wheat[J]. Food Control, 2012, 26(2): 287—292.

[8] Atoui Ali, El Khoury Andre , Kallassy Mireille, et al. Quantification of fusarium graminearum and fusarium culmorum by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 154(1-2): 59—65.

[9] Kruse F A, Boardman J W, Lefkoff A B, et al. The AIG/HyVista 1999 USA HyMap group shoot: overview and analysis examples[C]// In Proceeding IGASS 2000. Honolulu, Hawaii: IEEE, 2000.

[10] 崔继承，刘玉娟，潘明忠，等. 成像光谱仪一体化设计[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(03): 839—843.
Cui Jicheng, Liu Yujuan, Pan Mingzhong, et al. The integrative design for imaging spectrometer[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(03): 839—843.

[11] 赵曼彤，李柏承，周瑶，等. 香梨表面低浓度农药残留高光谱检测研究[J]. 光学技术, 2016, 42(05): 408—412+419.
Zhao Mantong, Li Bocheng, Zhou Yao, et al. Detection of low concentration pesticide residue on pears by hyperspectral image technology[J]. Optical Technique, 2016, 42(05): 408—412+419.

[12] 崔继承，唐玉国，揣芃芃，等. 用于肿瘤手术在线诊断的成像光谱仪的研制[J]. 光学精密工程, 2013, 21(12): 3043—3049.
Cui Jicheng, Tang Yuguo, Han PengPeng, et al. Development of diagnostic imaging spectrometer for tumor on-line operation[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(12): 3043—3049.

[13] 严阳，华文深，刘恂，等. 基于高光谱基本准则的波段选择方法[J]. 光学技术, 2018, 44(05): 634—640.
Yan Yang, Hua Wenshen, Liu Xun, et al. Band selection method based on hyperspectral fundamental criterion[J]. Optical Technique, 2018, 44(05): 634—640.

[14] 张晶，王淑荣，黄煜，等. 临边成像光谱仪的发展现状与进展[J]. 中国光学, 2013, 6(5): 692—700.
Zhang Jing, Wang Shurong, Huang Yu, et al. Status and development of limb imaging spectrometers[J]. Chinese Optics, 2013, 6(5) : 692—700.

[15] 于飞，丁琳，惠梅，等. 一种用于非制冷红外热成像系统的图像增强方法[J]. 光学技术, 2019, 45(01): 85—89.
Yu Fei, Ding Ling, Hui Mei, et al. An image enhancement method for uncooled infrared thermal imaging system[J]. Optical Technique, 2019, 45(01): 85—89.

[16] 韩仲志，刘杰，刘康炜，等. 紫外/可见光下海洋溢油油种光谱识别方法[J]. 光学技术, 2016, 42(04): 337—341.
Han Zhongzhi, Liu Jie, Liu Kangwei, et al. Oil spills classification based on spectrum under UV/Vis[J]. Optical Technique, 2016, 42(04): 337—341.

[17] 郭彤，华文深，刘恂. 基于聚类和最佳指数的快速高光谱波段选择方法[J]. 光学技术, 2016, 42(06): 496—500.
Guo Tong, Hua Wenshen, Liu Xun, et al. Rapid hyperspectral band selection approach based on clustering and optimal index algorithm[J]. Optical Technique, 2016, 42(06): 496—500.

[18] 吕俊伟，樊利恒，石晓航. 基于形态学空间特征的高光谱遥感图像分类方法[J]. 光学技术, 2016, 42(05): 385—391.
Lv Junwei, Fan Liheng, Shi Xiaohang. Classification of hyperspectral remotely sensed images based on the extraction of spatial feature[J]. Optical Technique, 2016, 42(05): 385—391.

[19] 朱院院，高教波，高泽东，等. 基于相似性分类的高光谱主成分融合方法比较[J]. 光学技术, 2016, 42(02): 97—102.
Zhu Yuanyuan, Gao Jiaobo, Gao Zedong, et al. Comparison of principal component fusion method of hyperspectral image based on similarity classification[J]. Optical Technique, 2016, 42(02): 97—102.

[20] GB 2761-2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S]. 国家质检总局, 2017: 11.
GB 2761-2017 National standards for food safety limit of mycotoxins in foods[S]. CN-GB, 2017: 11.