

Ei Compendex(核心版)收录
百种中国杰出学术期刊
RCCSE中国权威学术期刊

2011.9
第27卷 VOL. 27



ISSN 1002-6819
CN 11-2047/S
CODEN NGOXEO

农业工程学报

TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY
OF AGRICULTURAL ENGINEERING

NONGYE
GONGCHENG
XUEBAO



ISSN 1002-6819



中国科学技术协会 主管

中国农业工程学会 主办

柑橘园低功耗滴灌控制器的设计与实现	李加念, 洪添胜, 卢加纳, 等	(134)
基于粒子跟踪测速技术的液力偶合器内部流速测定方法	柴博森, 马文星, 卢秀泉, 等	(140)
Mckibben 型气动人工肌肉缓冲座椅减振特性分析	孙大刚, 冯辰生, 宋 勇, 等	(146)
偏置短叶片离心泵内三维流场数值模拟	李国威, 王 岩, 吕秀丽, 等	(151)
小型牧草收获机双动切割装置设计与运动分析	徐秀英, 张维强, 杨和梅, 等	(156)
吸盘式水稻育秧播种器吸孔气流场仿真分析	张 敏, 吴崇友, 张文毅	(162)
SMS-1500 型秸秆粉碎与残膜回收机的设计	王吉奎, 付 威, 王卫兵, 等	(168)
拨指轮式马铃薯挖掘机试验	吴建民, 李 辉, 孙 伟, 等	(173)

• 农业信息与电气技术 •

基于 Web 的作物模型库系统构建	王纪章, 李萍萍, 吴燕明	(178)
基于颜色特征的绿色作物图像分割算法	张志斌, 罗锡文, 臧 英, 等	(183)
基于图像特征选择识别田间籽棉品级	王 玲, 陈兵林, 刘善军, 等	(190)
基于改进的 Sobel 算子和色调信息的叶脉提取方法	李灿灿, 孙长辉, 王 静, 等	(196)
基于逐步改变阈值方法的玉米种子图像分割	张亚秋, 吴文福, 王 刚	(200)
玉米品种多环境测试数据的最优相对转化方法	刘 哲, 杨建宇, 李绍明, 等	(205)
精确林业 GPS 信标差分定位精度分析	张慧春, 郑加强, 周宏平	(210)
冬小麦灌浆期蚜虫危害高光谱特征研究	罗菊花, 黄木易, 赵晋陵, 等	(215)
基于小波变换的华北平原耕地复种指数提取	唐鹏钦, 吴文斌, 姚艳敏, 等	(220)
基于计算机视觉技术的运动鱼检测算法	范良忠, 刘 鹰, 余心杰, 等	(226)
基于无线传感器网络的多参数粮情自动检测系统设计	韩安太, 何 勇, 李剑锋, 等	(231)
中国主要稻作区水稻生产气候资源的时空特征	姜晓剑, 汤 亮, 刘小军, 等	(238)
18CrMnTi 钢表面激光微造型的仿生工艺	钱良存, 洪炜宁, 邵陆寿, 等	(246)

• 农业生物环境与能源工程 •

基于开放式培养的微藻生物柴油生命周期环境影响评价	侯 坚, 张培栋, 袁宪正, 等	(251)
开放式兔舍水空调技术夏季降温效果	提博宇, 王美芝, 徐旨弘, 等	(258)
温室多层覆盖传热系数与热节省率的工程算法	赵淑梅, 马承伟, 刘晨霞, 等	(264)
上吸式生物质气化炉的设计与试验	李 斌, 陈汉平, 杨海平, 等	(270)
超富集植物热解中氯对重金属迁移特性的影响	钟慧琼, 夏娟娟, 赵增立, 等	(274)
秸秆育苗钵在棉花育苗移栽上的应用及效益分析	张志军, 王慧杰, 李会珍, 等	(279)
防除滩涂米草入侵的根际缓释方法	胡宏友, 董克钻, 林光辉, 等	(283)

冬小麦灌浆期蚜虫危害高光谱特征研究

罗菊花^{1,2}, 黄木易⁴, 赵晋陵¹, 黄文江^{1*}, 张竞成¹, 董莹莹³, 王锦地²

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 3. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029; 4. 安徽建筑工业学院环境与能源工程学院, 合肥 230601)

摘要: 为了有效控制农业生产中麦蚜的危害, 提高利用遥感技术对麦蚜监测预报的时效性, 在冬小麦蚜虫发生的关键生育时期(灌浆期), 获取了 26 个地面调查点的蚜害等级和冠层光谱数据。对比分析了不同蚜害等级的冠层光谱, 发现随着蚜虫危害程度的加重, 在可见光、近红外和短波红外波段的冬小麦冠层反射率均逐渐减小。通过进一步筛选各波段范围的最敏感波段, 初步构建了冬小麦蚜害高光谱指数, 并建立了蚜害高光谱指数与蚜害等级的遥感反演模型。结果表明, 该模型可以用来反演灌浆期冬小麦的蚜害等级, 为高光谱遥感识别和监测冬小麦灌浆期蚜虫危害提供理论依据。

关键词: 光谱分析, 模型, 监测, 冬小麦, 蚜害等级, 蚜害高光谱指数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.07.038

中图分类号: O657.3, S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-07-0215-05

罗菊花, 黄木易, 赵晋陵, 等. 冬小麦灌浆期蚜虫危害高光谱特征研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 215-219.

Luo Juhua, Huang Muyi, Zhao Jinling, et al. Spectrum characteristics of winter wheat infected by aphid in filling stage[J].

Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 215-219. (in Chinese with English abstract)

0 引言

麦蚜是中国小麦产区的主要害虫, 每年发生面积占总面积的 90% 以上, 以成虫和幼虫吸取小麦汁液危害小麦, 此外, 蚜虫排出的蜜露, 落在麦叶片上, 严重地影响其光合作用, 进而造成小麦减产, 常年可使小麦减产 8% 以上, 严重发生年份减产高达 20%~30%^[1]。根据麦蚜危害程度不同测得的千粒质量比未受害小麦下降 7.8%~34.6%。麦蚜造成小麦减产的同时, 也严重危害小麦的营养品质, 使小麦面粉中的粗蛋白, 水解蛋白氨基酸, 维生素 B 及维生素 C 的含量下降^[2]。为了有效控制麦蚜的危害, 及时、准确、大面积地监测和预测麦蚜的发生情况是有效开展防治工作的前提。遥感技术的应用可提高麦蚜测报的手段, 提高麦蚜监测预报的时效性。

遥感技术在农业及农业病虫害监测及预测预报中的应用日益广泛, 国内外利用遥感技术监测麦蚜的研究已有初步进展^[3-10]。在国外, Riedell 等在室内研究了俄罗斯麦蚜和麦二叉蚜危害后的小麦叶片反射光谱特征, 并确定了 2 种蚜虫最敏感的叶片反射光谱波段范围为 625~635 nm 和 680~695 nm^[11]; Mirik 等研究了受俄罗斯蚜虫危害的小麦冠层反射率特征及敏感光谱植被指数与蚜量之

间的关系, 并构建了蚜虫指数 (aphid index, AI)^[12-13]; Yang Z. 等利用遥感技术, 在温室环境下对受麦二叉蚜和俄罗斯蚜虫危害的小麦进行了识别研究, 发现基于 800/450 nm 和 950/450 nm 构建的植被指数能够很好的区分受 2 种蚜虫危害的小麦^[14-15]。在中国, 何国金等提出冬小麦蚜虫灾害遥感监测的植物生理学依据, 并证明冬小麦的反射光谱指数 RVI (ratio vegetation index) 值监测麦蚜的可行性, 并给出了确定冬小麦蚜虫防治点即百株蚜量 500 头左右的 RVI 值的方法^[16]; 乔红波等研究了冬小麦蚜虫危害初期不同蚜量的冬小麦冠层光谱特征^[17]。

以上研究大多是对冬小麦蚜虫危害初期的光谱响应和光谱特征展开的研究, 然而, 在麦蚜危害盛期(冬小麦灌浆期), 蚜虫分泌的大量蜜露及吸附物质可能会导致小麦冠层光谱特征与蚜虫危害早期的光谱特征有差异。因此, 本研究在冬小麦灌浆期获取不同蚜害等级及健康小麦的冠层光谱, 一方面分析比较不同蚜害程度与健康小麦的冠层光谱特征; 另一方面根据不同蚜害程度的冬小麦在光谱上的响应特征构建蚜害高光谱指数 (aphid damage hyperspectral index, ADHI), 并建立蚜害等级与 ADHI 的模型。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年春季在北京市昌平区小汤山国家精准农业示范研究基地进行(40°10.6'N, 116°26.4'E), 田块长 250 m, 宽 50 m。

供试小麦品种为中麦 175, 于 2009-10-04 播种, 常规管理。数据获取时间为 2010-06-07, 此时为冬小麦灌浆期, 也是小麦蚜虫的盛发期, 株高 78 cm。为了研究需要, 在

收稿日期: 2010-10-08 修改日期: 2011-06-03

资助项目: 国家“863”计划(2010AA10Z201); 农业部行业科技项目(200903010, 201003039)

作者简介: 罗菊花(1981-), 新疆人, 博士生, 研究方向为农业病虫害遥感。北京 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感科学国家重点实验室, 100875。Email: luojuhua@126.com

*通信作者: 黄文江, 博士, 研究员。研究方向: 农业定量遥感。北京 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感科学国家重点实验室, 100875。

Email: yellowstar0618@163.com

2010-05-28 (蚜虫的最佳防治期), 将南边的 150 m×50 m 的试验田划分为 150 m×10 m 的 5 个地块, 分别进行常规喷药和分剂量喷药, 以形成不同的蚜虫危害级别 (蚜害等级), 其余试验田不做任何处理。

1.2 数据获取

1.2.1 蚜害等级调查

2010-06-07 正值冬小麦灌浆期, 株高 78 cm, 为蚜虫的盛发期, 其优势种为麦长管蚜。在各处理区选取样点并进行样点的蚜害等级调查, 每个调查样点面积为 1 m²。本试验共获取了 26 个不同蚜害等级的调查点, 分别包括: 4 个 0 级样点、3 个 1 级样点、3 个 2 级样点、5 个 3 级样点、5 个 4 级样点、4 个 5 级样点和 2 个 6 级样点。在调查方法和调查指标方面, 综合考虑了植保部门对蚜虫的调查方法及分级标准和遥感尺度上对麦蚜危害程度的响应特点, 采用了“小麦蚜虫评价技术规范”中的调查方法和分级标准^[18], 其蚜害等级的划分标准如表 1。

表 1 蚜害等级的划分标准

Table 1 Classification criteria of aphid damage levels

蚜害等级	各级别蚜虫量
0	全株无蚜虫
1	全株有少量蚜虫 (10 头以下)
2	全株有一定量蚜虫 (10~20 头), 穗部无蚜虫或仅有 1~5 头蚜虫
3	全株有中等蚜虫 (21~50 头), 穗部有少量蚜虫 (6~10 头)
4	全株有大量蚜虫 (50 头以上), 穗部有片状蚜虫聚集, 蚜虫占穗部的 1/4
5	穗部有 1/4~3/4 的小穗有蚜虫
6	全部小穗均密布蚜虫

1.2.2 冠层光谱测量

在进行蚜害等级调查前, 先对采样点进行光谱测量。光谱测量采用 ASD FieldSpec Pro (350~2 500 nm) 光谱仪, 该光谱仪的采样间隔为 1.4 nm (350~1 000 nm) 和 2 nm (1 000~2 500 nm), 测量时间为北京时间 10:30—14:30。传感器探头垂直向下, 对准样点小麦冠层, 且探头高度始终离地面 1.3 m (此时, 小麦平均株高为 78 cm), 探头视场角 25°, 地面视场范围直径为 50 cm, 每个调查点测量 7 次, 取平均值作为该调查点的光谱反射值, 各调查点测量前后立即进行参考板校正。

1.3 数据处理方法

以 ASD viewspec-pro 软件处理光谱数据。为了更好地反映蚜虫的不同危害程度在冠层光谱上的响应特点, 本研究对所有蚜害等级的样点光谱进行初步处理^[19], 将其划分为 4 个蚜虫危害程度, 分别为: 正常、轻微、中等和严重, 其具体处理方法如下: 1) 将蚜害等级为 0 级的样点光谱进行平均, 作为正常生长冬小麦的冠层光谱; 2) 将蚜害等级为 1 级和 2 级的样点光谱进行平均后作为蚜虫轻微危害程度的冬小麦冠层光谱; 3) 将蚜害等级为 3 级和 4 级的样点光谱进行平均后作为蚜虫中等危害程度的冬小麦冠层光谱; 4) 将蚜害等级为 5 级和 6 级的样点光谱进行平均后作为蚜虫严重危害程度的冬小麦冠层光谱。

2 结果与分析

2.1 不同蚜害等级的冬小麦冠层光谱特征分析

蚜虫一方面通过刺吸小麦叶片的汁液, 造成叶片细胞活性、含水量与叶绿素含量变化; 另一方面, 蚜虫排泄的蜜露附着在叶片表面, 严重影响植株的呼吸和光合作用。为了明确蚜虫对冬小麦的危害以及受蚜虫危害后其光谱的变化, 分析比较了蚜虫不同危害程度的冬小麦冠层光谱。

已有研究表明, 麦蚜危害早期, 在可见光 (Visible, VIS) 波段 (560~670 nm) 范围, 随着百株蚜量的增加, 冠层光谱反射率逐渐增加; 在近红外 (near infrared, NIR) 波段, 随着百株蚜量的增加, 冠层光谱反射率逐渐减小^[16], 但蚜虫危害盛期在 VIS 的光谱响应特征与蚜虫危害早期的光谱响应特征不同, 如图 1 所示, 随着蚜虫危害程度的加重, 在 VIS、NIR 和短波红外 (shortwave infrared, SWIR) 波段范围的光谱反射率逐渐减小。麦蚜危害早期与危害盛期在 VIS 的光谱响应差异可能是在蚜虫的盛发期, 虽然蚜虫的刺吸作用会使得叶绿素含量发生变化, 但蚜虫分泌的蜜露吸附了较多的空气灰尘或者其他物质, 导致叶片呈现油黑色, 对光的吸收效应大于叶绿素含量的变化引起的光的反射效应。因此, 随着危害程度的加重, VIS 的光谱反射率逐渐减小 (图 2)。

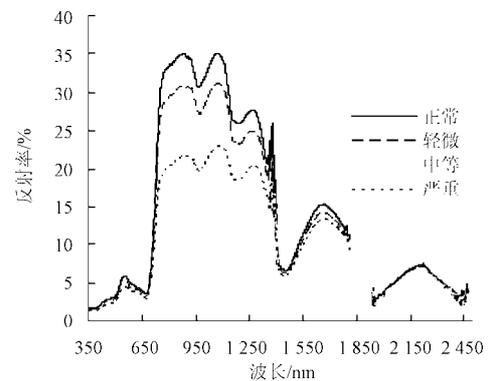


图 1 不同蚜害程度的冠层光谱曲线

Fig.1 Canopy spectral curves of different aphid damage levels

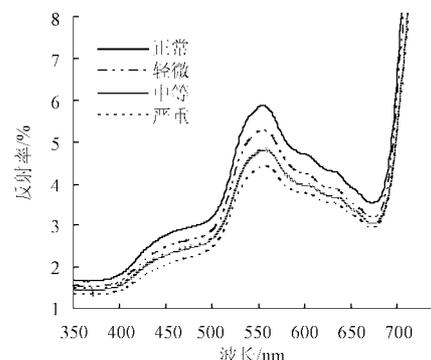


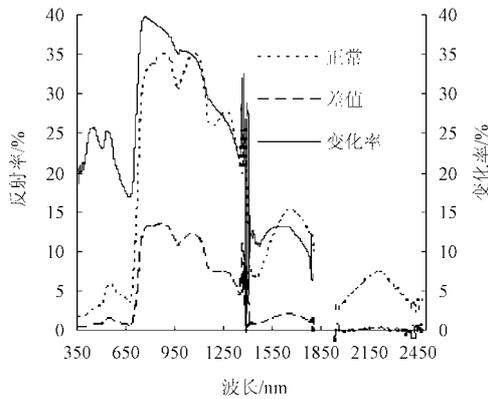
图 2 不同蚜害程度的冠层 VIS 光谱曲线

Fig.2 Canopy spectrum of different aphid damage levels in visible light wave band

在近红外波段区域，反射率主要受叶片组织结构、水分含量及植株冠层结构的控制，一方面，蚜虫危害破坏了叶片的组织结构和水分含量，另一方面，蚜虫喜干旱环境，植株相对矮小稀疏的环境空间密闭性差，适于蚜虫的繁殖和生存。因此，蚜虫密度越高，危害越严重，近红外波段反射率越低。

在短波红外波段区域，植被反射率主要受叶片水分含量的控制，蚜虫通过刺吸作用危害小麦，蚜害程度越高，叶片水分含量越低，短波红外波段反射率越低。

图 3 为蚜虫危害程度严重时的冠层光谱与正常小麦冠层光谱的差异情况，可以看出在 350~1750 nm，冬小麦受蚜虫危害后的冠层光谱反射率比正常生长冬小麦的冠层反射率低，且 NIR 的变化最大，可达到 13 个百分点；其次为 SWIR 达到 2 个百分点，VIS 变化相对较小。受蚜虫危害的光谱反射率相比正常光谱反射率的变化率曲线可见，变化率最大的为 NIR，其次为 VIS，SWIR 的变化率相对较小。



注：差值： $R_{正常} - R_{严重}$ ；变化率： $(R_{正常} - R_{严重}) / R_{正常}$ ；R：反射率

图 3 蚜虫严重危害的冬小麦与正常冬小麦的冠层光谱特征差异比较图

Fig.3 Difference of canopy spectral characteristics between seriously aphid-infected and healthy wheat

2.2 蚜害光谱指数的构建

在以上分析的基础上，进一步对 26 个调查点的蚜害等级与 350~2 500 nm 波段的反射率进行相关性分析，其相关系数如图 4 所示，VIS、NIR 和 SWIR 与蚜害等级的相关系数均达到极显著负相关关系，均为蚜虫的敏感波段区域，其中近红外波段的相关性最强，这与上述结论一致。

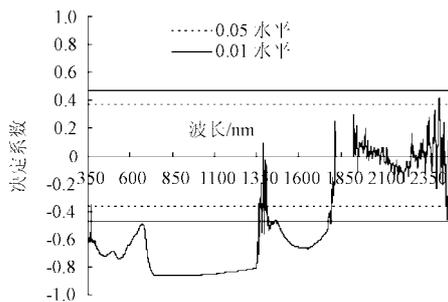


图 4 蚜害等级与冠层光谱反射率的相关性

Fig.4 Correlation between the spectral reflectance and aphid damage levels

通过以上分析，在蚜虫发生盛期，蚜虫危害的冬小麦冠层光谱存在以下特征及规律：

1) 在可见光波段区域 (350~740 nm)，由于蚜虫分泌的蜜露作用，受蚜虫危害的冠层反射率低于正常生长的冬小麦冠层光谱反射率，且光谱反射率与蚜害等级呈极显著负相关关系，其中相关性最高的波段为 551 nm ($R^2=-0.74$)；

2) 在近红外波段 (760~1 300 nm)，受蚜虫危害的冠层反射率低于正常生长的冬小麦冠层光谱反射率，且光谱反射率与蚜害等级呈极显著负相关关系，其中相关性最高的波段为 823 nm ($R^2=-0.87$)；

3) 在短波红外波段 (1 550~1 750 nm)，受蚜虫危害的冠层反射率低于正常生长的冬小麦冠层光谱反射率，且光谱反射率与蚜害等级呈极显著负相关关系，其中相关性最高波段为 1 654 nm ($R^2=-0.67$)；

根据上述受麦蚜危害的冬小麦冠层光谱特征差异及规律，本研究以不同蚜害程度引起可见光、近红外和短波光波长的反射率变化率来定义了相对的蚜害高光谱指数 (ADHI)，并以各波段变化率的贡献大小附以相应权重。

$$ADHI = 0.32 \times \frac{R551_{normal} - R551_{aphid}}{R551_{normal}} + 0.51 \times \frac{R823_{normal} - R823_{aphid}}{R823_{normal}} + 0.17 \times \frac{R1654_{normal} - R1654_{aphid}}{R1654_{normal}}$$

式中， $R551_{normal}$ ， $R823_{normal}$ 和 $R1654_{normal}$ 分别为 551，826 和 1 654 nm 处的正常生长的健康冬小麦的冠层光谱反射率； $R551_{aphid}$ ， $R823_{aphid}$ ， $R1654_{aphid}$ 分别为 551，826 和 1 654 nm 处受蚜虫危害的冬小麦的冠层光谱反射率，常数 0.32，0.51 和 0.17 分别为 551，823 和 1 654 nm 的变化率贡献大小计算的权重系数。

利用试验获取的 26 个不同蚜害等级的冬小麦光谱数据，根据本研究构建的蚜害高光谱指数，获取各样点的蚜害高光谱指数，与相应样点的地面调查蚜害等级进行统计相关性分析，建立了蚜害等级的遥感反演模型，统计分析结果如图 5 所示，可以看出本研究定义的蚜害高光谱指数与蚜害等级呈极显著正相关 ($R^2=0.839$, $n=26$)。因此，该模型能被用来反演灌浆期冬小麦蚜虫的蚜害等级。

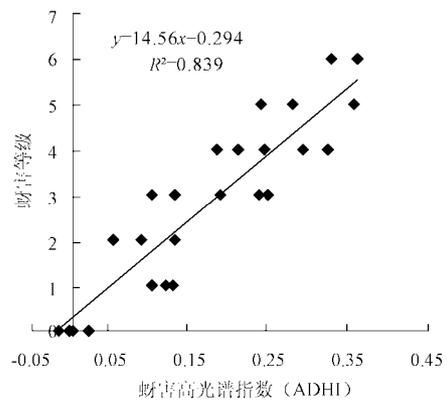


图 5 蚜害高光谱指数与蚜害等级的关系

Fig.5 Relationship between ADHI and aphid damage levels

3 结 论

本研究在冬小麦灌浆期(蚜虫的盛发期)获取了不同蚜害程度的冬小麦冠层光谱,一方面分析比较了不同蚜害程度的冬小麦冠层光谱特征,另一方面筛选了对蚜虫敏感的光谱波段构建了蚜虫高光谱指数,并得出以下结论:

1) 随着蚜虫危害程度的加重,在可见光、近红外和短波红外波段,小麦冠层光谱反射率均逐渐减小,且近红外波段反射率变化率最大。

2) 本文构建的蚜害高光谱指数与蚜害等级具有很好的相关性($R^2=0.839$),构建的模型可以反演灌浆期冬小麦蚜虫的蚜害等级。研究结果及蚜害高光谱指数的构建,为冬小麦灌浆期小麦蚜虫与其他灾害在微观尺度上的识别提供了思路和科学依据。

另外,结果表明,相比健康小麦,蚜虫危害后的冬小麦冠层在可见光波段的光谱响应特点与前人研究麦蚜在危害早期及冬小麦条锈病危害光谱响应特征有差异,这一差异将可能为遥感识别灌浆期冬小麦蚜虫和条锈病危害提供一条重要的线索,也为研究冬小麦蚜虫危害后期的损失评估提供了科学依据。下一步的工作重点是进一步将蚜害高光谱指数扩展到 Landsat TM, HJ-A/B 等常用的卫星遥感影像上,在更大的空间尺度上监测冬小麦蚜虫。

[参 考 文 献]

- [1] 王美芳,原国辉,陈巨莲,等. 麦蚜发生危害特点及小麦抗蚜性鉴定的研究[J]. 河南农业科学, 2006(7): 58—60.
Wang Meifang, Yuan Guohui, Chen Julian, et al. Research advances of occurrence pattern, damage characteristics of wheat aphid and resistance identification of wheat[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006(7): 58—60. (in Chinese with English abstract)
- [2] 杨益庆,印毅,王红,等. 蜂蜜模拟麦蚜蜜露危害对小麦产量和主要营养品质的影响[J]. 中国农业通报, 2005, 21(1): 58—60.
Yang Yiqing, Yin Yi, Wang Hong, et al. Influence of Honeydew on the wheat yield and nutritive qualities[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 58—60. (in Chinese with English abstract)
- [3] 吴迪,冯雷,张传清,等. 基于可见/近红外光谱技术的茄子叶片灰霉病早期检测研究[J]. 红外与毫米波学报, 2007, 8(4): 269—273.
Wu Di, Feng Lei, Zhang Chuanqing, et al. Early detection of gray mold (cinerea) on eggplant leaves based on VIS/Near infrared spectra[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2007, 8(4): 269—273. (in Chinese with English abstract)
- [4] Devadas R, Lamb D W, Simpfendorfer S, et al. Evaluation ten spectral vegetation for identifying rust infection in individual wheat leaves[J]. Precision Agriculture, 2009, 10(6): 459—470.
- [5] 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.
Chen Pengcheng, Zhang Jianhua, Lei Yonghui, et al. Research progress on hyperspectral remote sensing in monitoring crop diseases and insect pests[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(2): 388—391. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘良云,宋晓宇,李存军,等. 冬小麦病害与产量损失的多时相遥感监测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 137—143.
Liu Liangyun, Song Xiaoyu, Li Cunjun, et al. Monitoring and evaluation of the diseases of and yield winter wheat from multi-temporal remotely-sensed data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 137—143. (in Chinese with English abstract)
- [7] Huang Wenjiang, Huang Muyi, Liu Liangyun, et al. Inversion of the severity of winter wheat yellow rust using proper hyper spectral index[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(4): 97—103.
- [8] 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.
Huang Muyi, Wang Jihua, Huang Wenjiang, et al. Hyperspectral character of stripe rust on winter wheat and monitoring by remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 154—158. (in Chinese with English abstract)
- [9] 黄文江. 作物病害遥感监测机理与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [10] 竞霞,王纪华,宋晓宇,等. 棉花黄萎病病情严重度的连续统去除估测法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 193—198.
Jing Xia, Wang Jihua, Song Xiaoyu, et al. Continuum removal method for cotton vermillion wilt severity monitoring with hyperspectral data[J]. Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 193—198. (in Chinese with English abstract)
- [11] Riedell W E. Effects of Russian wheat aphid infestation on barley plant response to drought stress[J]. Physiologia Plantarum, 1989, 77(4): 587—592.
- [12] Mirik M, Michels G J, Elliott N C, et al. Using digital image analysis and spectral reflectance data to quantify damage by greenbug (Hemiptera: Aphididae) in winter wheat [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 51(1/2): 86—98.
- [13] Mirik M, Michels G J, Elliott N C, et al. Reflectance characteristics of Russian wheat aphid (Hemiptera: Aphididae) stress and abundance in winter wheat[J]. Electronics in Agriculture, 2007, 57(2): 123—134.
- [14] Yang Z, Rao M N, Elliott N C, et al. Using ground-based multispectral radiometry to detect stress in wheat caused by greenbug (Homoptera: Aphididae) infestation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 47: 121—135.
- [15] Yang Z, Rao M N, Elliott N C, et al. Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2009, 67(1/2): 64—70.
- [16] 何金国,胡德永,金晓华,等. 北京麦蚜虫害的光谱测量与分析[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(3): 120—124.
He Jinguo, Hu Deyong, Jin Xiaohua, et al. The spectral

- measurement and analysis of wheat aphid disaster in Beijing [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2002, 17(3): 120—124. (in Chinese with English abstract)
- [17] 乔红波, 程登发, 孙京瑞, 等. 麦蚜对小麦冠层光谱特性的影响研究[J]. *植物保护*, 2005, 31(2): 21—25.
Qiao Hongbo, Cheng Dengfa, Sun Jingrui, et al. Effects of wheat aphid on spectrum reflectance of the wheat canopy[J]. *Plant Protection*, 2005, 31(2): 21—25. (in Chinese with English abstract)
- [18] NY/T 1443.7-2007. 小麦抗病虫性评价技术规范第 7 部分: 小麦抗蚜虫评价技术规范[S].
- [19] Anatoly A, Gitelson, Yoram J K, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80 (1): 76—87.

Spectrum characteristics of winter wheat infected by aphid in filling stage

Luo Juhua^{1,2}, Huang Muyi⁴, Zhao Jinling¹, Huang Wenjiang^{1*},
Zhang Jingcheng¹, Dong Yingying³, Wang Jindi²

(1. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, College of Geography/Research Center for Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China*;
3. *Institute of Agricultural Remote Sensing and Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*;
4. *Department of Environmental Engineering Anhui University of Architecture, Hefei, Anhui 230601, China*)

Abstract: In order to control the aphid damage in agricultural production efficiently and enhance the timeliness in monitoring and prediction of aphid by remote sensing technology, twenty-six survey points at different aphid damage levels were selected and canopy spectra were collected accordingly by ASD hand hold spectrometer in the filling stage of winter wheat. By comparing and analyzing the characteristics of different aphid damage levels, it was concluded that canopy reflectance gradually decreased within 350~1750 nm, especially in the near infrared region. Further more, the sensitive bands were selected out by relevance analysis in the visible, near-infrared, and short-wave infrared region, respectively, and the aphid hyperspectral vegetation index (ADHI) was established based on the most sensitive bands. Finally, the regressive model for ADHI and aphid damage levels was established, and the results clearly showed the potential of retrieval model ($R^2=0.839$, $n=26$) for quantifying aphid damage levels in the filling stage of winter wheat. The results can provide a theoretical basis for identifying aphid and monitoring aphid damage levels.

Key words: spectrum analysis, models, monitoring, winter wheat, aphid damage level, aphid damage hyperspectral index (ADHI)