

基于比值导数法的棉花蚜害无人机成像光谱监测模型研究

郭伟¹, 乔红波¹, 赵恒谦^{2,3*}, 张娟娟¹, 裴鹏程¹, 刘泽龙^{2,3}

1. 河南农业大学信息与管理科学学院, 河南 郑州 450002
2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083
3. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室(中国矿业大学), 北京 100083

摘要 蚜虫是棉花的主要害虫之一,我国棉花产量每年因蚜虫危害造成的损失高达5%~10%。田块尺度的棉花蚜害空间分布监测可以辅助精准定量施药,减少环境污染。利用无人机搭载成像光谱仪获取的“图谱合一”的遥感数据因其具有分辨率高、时效性高、成本低等优势,可为作物病虫害监测提供了重要数据源。比值导数法模型简洁,运行效率高,结果精确,可以有效应用于遥感反射率光谱解混处理,提取对目标信息较为敏感的波段,为构建虫害监测模型提供了有效的手段。因此本研究选择棉花典型生产区新疆库尔勒地区为实验区,开展以下工作:(1)以低空无人机搭载成像光谱仪获取棉花蕾期冠层成像光谱影像,结合地面调查数据,获取76个样点光谱数据及蚜害严重度(包含健康植株16个,蚜害严重度1~4级逐级选取15个);(2)分析不同蚜害严重度棉花冠层光谱的特征,并利用比值导数法筛选出对蚜害胁迫敏感的光谱波段,分别为514,566和698 nm波段;(3)构建基于三个敏感波段的光谱反射率、比值导数光谱值的一元线性回归和偏最小二乘法的蚜害严重度估测模型。结果表明:(1)蚜害对棉花冠层的光谱反射率有显著影响。棉株受蚜害胁迫越严重,其在可见光区域的反射率越高,近红外波段反射率越低,发生红边区域“蓝移”;(2)比值导数法可有效提取蚜害棉花冠层光谱敏感波段,所筛选的514,566和698 nm三个波段与相关系数法所筛选的敏感波段一致;(3)利用敏感波段比值导数光谱值所构建的蚜害严重度估测模型精度优于敏感波段光谱反射率所构建的模型,其中698 nm波段构建的模型精度最佳($R^2=0.597$, $RMSE=0.91$);(4)三个敏感波段的比值导数光谱值所构建的偏最小二乘多元回归模型精度优于单个波段比值导数光谱值所构建的模型($R^2=0.612$, $RMSE=0.89$);(5)基于比值导数法的棉花蚜害无人机成像光谱监测模型可以获取田块尺度的不同严重度蚜害空间分布图,对于精准定量施药有重要的指示意义。

关键词 棉花;蚜虫;比值导数法;成像光谱;无人机

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)05-1543-08

引言

棉蚜(*Aphis gossypii*)是影响棉花产量的主要虫害之一,其危害程度大,发生范围广,是世界性棉花虫害,在国内外各大棉区均有分布^[1]。棉蚜会通过吸食棉株汁液造成其枯萎,从而造成棉田严重减产^[2-3]。目前,棉蚜以化学防治为主,即以过量施用农药来控制蚜虫的发生和发展,但造成棉花的生产成本上升,并污染农田生态环境。因此,及时、准确对虫害严重度进行调查和监测有助于指导农药精准施用,

控制病情蔓延,从而降低生产成本,保护农田生态环境^[4-5]。

传统的作物病虫害野外调查方式以人工方式为主,虽然能取得较好的调查效果,但费时、费力,时效性较差,不适用于大区域尺度。利用遥感技术快速、动态、无损的特点对作物病虫害监测已经成为当前农业遥感领域的研究热点^[4-5]。一些学者利用近地高光谱数据在叶片尺度和冠层尺度监测棉花生长受到胁迫后的生长情况^[6-7],研究结果表明受不同胁迫程度的棉花光谱特征有所不同,为棉花虫害严重度监测奠定了基础。但近地高光谱数据虽然准确,但具有空间上的随机性,不能反映病虫害发生的空间特征。因此,一部分学者

收稿日期:2020-03-10,修订日期:2020-07-21

基金项目:国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFD0201900),国家自然科学基金项目(41501481),河南省科技攻关项目(172102110055)资助

作者简介:郭伟,女,1981年生,河南农业大学信息与管理科学学院副教授 e-mail: guoweeworkhome@126.com

* 通讯作者 e-mail: zhaohq@cumtb.edu.cn

开始利用航天航空影像对棉花病虫害进行区域范围内的监测及预测^[8]。卫星获取的遥感影像虽可以迅速、高效、面状连续的对农田进行精细监测,但受时间、空间、光谱分辨率和天气等条件限制较多^[9]。

近年来,无人机因其数据测量时间灵活机动、时空分辨率高、观测范围大等优势,许多学者开始将其应用于农田生态环境信息监测与获取^[10]。受无人机载荷和数据处理能力的限制,选取少量对植株胁迫信息最为敏感的波段,构建虫害严重度估测模型,对提高无人机成像光谱数据处理效率,应用于实际生产有着十分重要的意义^[11]。目前在遥感病虫害光谱特征提取中,如何区分或消除虫害以外的其他因素对光谱特征的影响,仍然是一个难题^[12]。比值导数法(derivative of ratio spectroscopy, DRS)是一种特殊的光谱处理方法,它可以去除混合光谱中本底端元的影响,增强光谱反差,得到目标端元相比于本底端元的连续波段反射率光谱特征,对于特征波段的选择有非常好的效果^[12]。比值导数法目前主要用于混合矿物成分分析、化学药物分析等领域^[13],尚未有学者将其应用于农业作物病虫害光谱特征提取研究。

本研究利用无人机成像光谱影像结合地面调查数据,获取不同蚜害严重度的棉花冠层成像光谱数据,利用比值导数法选取蚜害棉花冠层光谱敏感波段,进而建立基于敏感波段比值导数值的棉花蚜害严重度估测模型,开展田块尺度上棉花蚜害严重度空间反演研究,从而为棉花蚜害田间精准施药提供有效辅助。

1 实验部分

1.1 研究区概况与试验设计

试验于新疆中部库尔勒地区的中国农科院植保所库尔勒试验站(41°44′59″N, 85°48′30″E)开展。棉花是当地主要种植

作物,规模大,种植结构简单,蚜虫是该地区主要棉花虫害。数据采集于2018年6月27日棉花蕾期,选择田间蚜虫发生严重的试验小区,试验区域长100 m,宽30 m。试验期间不施任何抑制蚜虫生长的农药,在试验小区正中间选取20垄为数据采集区(使用GPS将4个角定位),该区域长100 m,宽30 m,周边棉花作为保护行。供试棉花为农科院植保所棉虫组试验品种,4月中下旬播种,膜上点播,膜下滴灌,棉蚜胁迫棉花行为为田间自然发生。

1.2 数据获取

1.2.1 蚜害地面调查

2018年6月27日正值棉花蕾期,为蚜虫盛发期。由于无人机获取的为棉株冠层数据,因此田间调查取样调查病害严重度时,所选样点全部位于棉株顶部冠层。棉蚜为害程度分级标准参照国家标准(GB/T 15799—2011),见表1。根据蚜害分级标准,选取样点共76个,其中健康植株16个,蚜害严重度1~4级每级选取15个,同时保证76个样点均匀分布于棉花种植区域,使用天宝 Trimble GeoExplorer 6000 Series 设备连接RTK终端,使用千寻位置服务记录每个样点的GPS信息,误差小于2 cm。调查点分布情况见图1。

表 1 棉蚜为害分级标准

蚜害严重度	标准
Y0	无蚜虫, 叶片平展
Y1	有蚜虫, 叶片无受害
Y2	有蚜虫, 受害最重的叶片皱缩或微卷, 近半圆
Y3	有蚜虫, 受害最重的叶片卷曲达半圆或者半圆以上, 呈弧形
Y4	有蚜虫, 受害最重的叶片完全卷曲, 呈球形

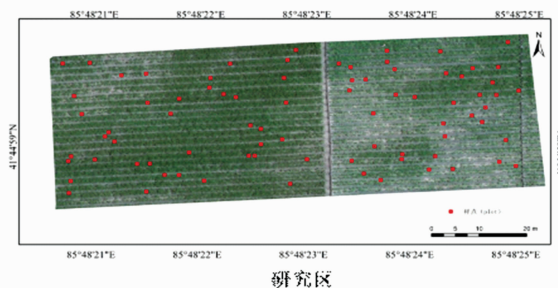
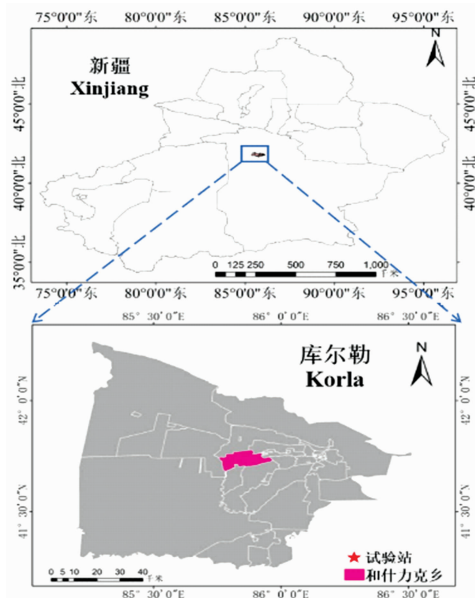


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location of study area

1.2.2 无人机成像光谱数据获取与处理

实验于 2018 年 6 月 27 日 11:00—14:00 与地面虫害调查实验同步进行。患蚜害的棉花冠层光谱数据采用天途公司的八旋翼无人机(AZUP-T8)搭载 Cubert 公司生产的成像光谱仪(UHD185)获取。实验当天研究区晴朗无云,风速较小。无人机获取数据时,飞行高度为 50m,航速为 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,航向重叠度和旁向重叠度均为 80%。成像光谱仪 UHD 185 Firefly(UHD 185)是一种新型凝视成像光谱传感器,其特点是曝光采集时间短。传感器重 0.47 kg,尺寸为 $195 \text{ mm} \times 67 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 。它可以获得从可见光到近红外光谱的辐射反射。该传感器可以捕获 450~950 nm 的波长,同时保持合理的图像平衡和良好的光谱分辨率(4 nm)。在将 UHD 185 图像拼接在一起之后,获得 1cm 的地面分辨率的成像光谱图像。

使用 ENVI ROI(ENVI, ITT Visual Information Solutions, Boulder, CO, USA)工具计算每个样点在 450~950 nm 波段对应的 ROI 的平均冠层光谱反射率,经过处理,得到 76 个样点对应的冠层高光谱反射率数据。

1.3 基于比值导数法的虫害光谱特征提取

比值导数法是一种基于线性混合模型提出的特殊的光谱处理方法,它可以去除本底端元影响,得到连续谱段比值导数光谱。该方法首先将两条连续光谱进行逐波段比值运算,得到二者的一条比值光谱,然后对这条比值光谱进行求导运算,便得到二者的比值导数光谱曲线^[13]。该方法可以消除多个地物中其他地物的影响而直接得到目标物与多个地物的混合光谱变化之间的对应关系,提取出对于目标物光谱信息较为敏感的波段。式(1)为含有 m 个组分的线性光谱混合模型。

$$\gamma(\lambda_i) = \sum_{j=1}^m F_j \times \gamma_j(\lambda_i) + \xi(\lambda_i) \quad (1)$$

式(1)中, $i=1, 2, \dots, n$ 为光谱波段, $j=1, 2, 3, \dots, m$ 为端元组分, F_j 为各端元在混合像元所占比例。不考虑误差项的情况下,当每个像元只包含两种物质时,线性光谱混合模型可以简化为

$$\gamma(\lambda) = F_1 \times \gamma_1(\lambda) + F_2 \times \gamma_2(\lambda) \quad (2)$$

当式(2)两侧同时除以第 2 种物质的光谱时,等式变为

$$\frac{\gamma(\lambda)}{\gamma_2(\lambda)} = F_2 + \frac{F_1 \times \gamma_1(\lambda)}{\gamma_2(\lambda)} \quad (3)$$

对式(3)两边求导,则有

$$\frac{d}{d\lambda} \left(\frac{\gamma(\lambda)}{\gamma_2(\lambda)} \right) = F_1 \times \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{\gamma_1(\lambda)}{\gamma_2(\lambda)} \right) \quad (4)$$

从式(4)可以看出,此时导数光谱已经与第 2 种物质所占比例无关,也就是说,求导之后的光谱值只与第 1 种物质的比例线性相关,而与作为除数的物质所占比例无关。

本研究中,无人机成像光谱数据中的每个像元可以看作是本底植株与虫害胁迫植株冠层光谱的混合像元,其中本底植株是未受虫害影响的标准植株,即地块中相对比较健康的植株。在本研究中,蚜害是最主要的胁迫,为了去除本底信息的干扰,选出健康植株的光谱作为本底端元,以其为分母对成像光谱数据逐像元进行比值导数光谱处理,从而去除非虫害胁迫本底因素的影响,得到仅反映植株虫害胁迫程度的

光谱特征。此外,还将对反射率通过与严重度计算相关性的方法提取有效波段,与本研究方法的结果进行对比。

1.4 模型构建和精度评价

本研究将采用偏最小二乘回归(partial least squares regression, PLSR)的方法构建棉花蚜害严重度估测模型。该方法已经被广泛应用到农作物生理参数估测中^[14]。针对单个敏感波段光谱值构建的估测模型并不一定能够很好的反映蚜害严重度的问题,因此选择 PLSR 这种多变量的回归分析方法建模。

采用决定系数(coefficient of determination, R^2)、均方根误差(root mean square error, RMSE)和平均绝对误差(mean absolute error, MAE)作为蚜害严重度值与敏感波段的光谱反射率和光谱比值导数值所建模型的稳定性和预测能力的评价标准。其中 R^2 越大,表示参与评价的变量相关性越高、模型的拟合效果越好;RMSE 越小,表示对蚜害严重度的估算精度越高,模型预测能力越强。MAE 是将每次的测量值的绝对误差取绝对值后再求平均值,可以更好的反映预测误差的实际情况,同时使用 RMSE 和 MAE 有助于更好的分析误差,避免个别误差造成 RMSE 过大。

2 结果与讨论

2.1 不同蚜害严重度的棉花冠层光谱特征分析

2.1.1 不同蚜害严重度的棉花冠层光谱曲线特征

棉蚜威胁棉株,一方面以刺吸口器插入棉叶背面或嫩头部分,吸食汁液,导致叶片的活性、叶绿素和含水量发生变化,从而受害叶片向背面卷缩;另一方面,叶表有蚜虫排泄的蜜露,滋生霉菌,影响光合作用。为了明确棉花受到棉蚜危害后的光谱变化,本研究分析比较了不同蚜害严重度的棉花冠层光谱曲线特征,如图 2 所示。

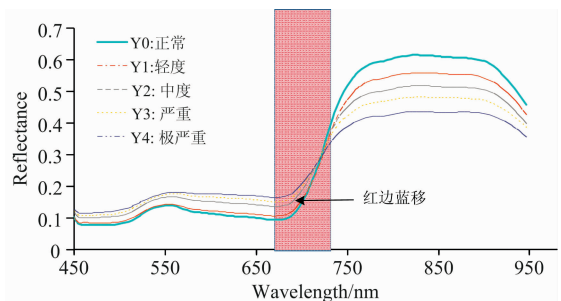


图 2 不同蚜害严重度棉花冠层光谱曲线

Fig. 2 The response of canopy spectral reflectance to cotton aphid

在可见光(visible, VIS)波段(450~670 nm),受叶绿素的吸收作用,健康棉花的冠层光谱反射率较低,随着棉花蚜害严重度的升高,冠层光谱反射率逐渐增加,这是因为遭受棉蚜侵染后,棉花叶片的色素、水分和活性降低,导致可见光区域光谱反射率增加;在红边区域(670~730 nm),随着蚜害严重度的增加向短波方向移动,即“蓝移”;在近红外(near infrared, NIR)波段(760~950 nm),这是由于健康植

株受叶片内部组织结构、水分含量和冠层结构控制,反射率较高,随着蚜害严重度的增加,冠层光谱反射率逐渐减小,这是由于一方面棉蚜危害破坏了叶片组织结构,叶片含水量降低,叶片蜷缩,造成近红外波段反射率减小,另一方面蚜虫喜欢干旱环境,受胁迫植株相对矮小稀疏空间密闭性差,更有利于蚜虫繁殖与生存。因此,蚜害严重度越高,蚜虫密度越高,危害越严重,近红外波段的反射率也就越低。

2.1.2 不同蚜害严重度的棉花冠层比值光谱曲线特征

按照 1.3 中式(3)对各光谱以健康棉花植株光谱作为除数进行光谱比值处理,得到比值光谱图(图 3)。以健康棉花植株光谱反射率作为除数,受胁迫的棉花植株的强光谱特征得到突出,可以看出蚜害严重度越高,其光谱特征越突出,蚜害严重度越低,光谱特征越平缓,趋于健康植株光谱;总之,光谱比值处理能够将作为除数的组分光谱特征作为背景压制,而突出其他组分对于混合光谱的影响。

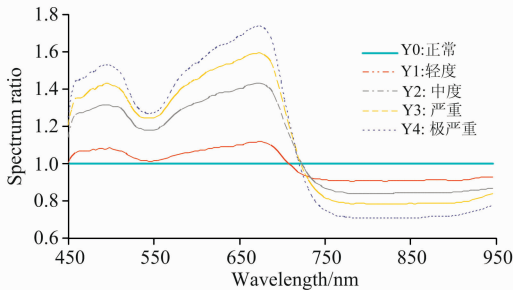


图 3 不同严重度受胁迫棉花植株与健康植株比值光谱图

Fig. 3 The ratio spectra between healthy cotton spectrum and cotton aphid spectra of different grades

2.1.3 不同蚜害严重度棉花冠层比值导数光谱曲线特征与敏感波段提取

按照 1.3 中式(4)分别对图 3 中的光谱求导,得到图 4

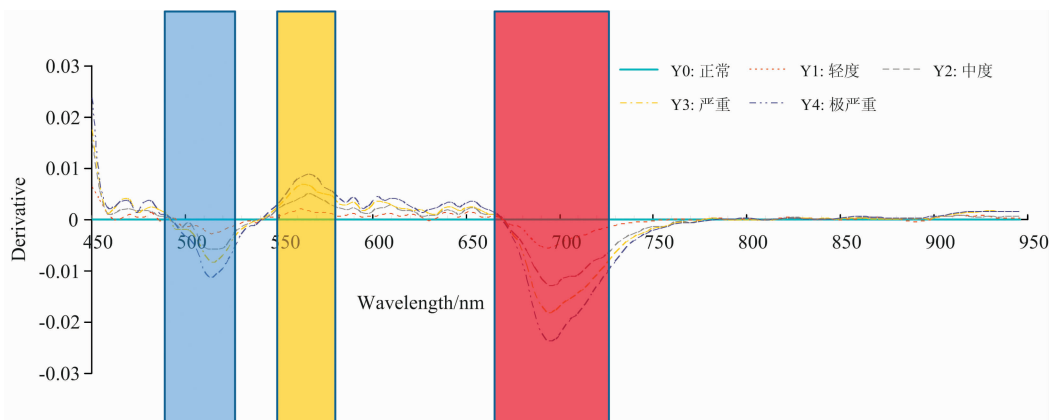


图 4 不同蚜害严重度棉花冠层光谱的比值导数值图

Fig. 4 The derivative ratio spectra of cotton plants with different aphid grades

2.2 蚜害严重度估测模型构建和精度分析

在综合以上分析结果的基础上,将 76 个样点分为建模组和验证组,其中构建模型所用样本为 51 个,验证样本为 25 个,构建蚜害严重度估测模型。

所示的比值导数光谱图。如前所述,求导之后的光谱只与一种物质的比例线性相关,而与作为除数的物质无关。也就是说,通过比值导数法处理混合光谱,可以消除本底端元物质的影响,从而使得光谱值与目标物质线性相关。图 4 是为以健康棉花植株光谱为除数的光谱进行求导后得到的比值导数光谱图,此时的比值导数光谱曲线已经与健康植被信息无关,只留下植被受胁迫的信息。从图中可以看出,不同蚜害严重度的比值光谱曲线均在表征植被光谱特征常用的“三边”区域:蓝边、黄边和红边区域出现了三个波峰,此前已有大量研究表明表征植被光谱特征波段位置的“三边”在诊断植被受病虫害和重金属污染等胁迫研究中发挥了很大作用。随着蚜害严重度越高,胁迫信息越强,比值导数光谱的绝对值越高,峰值分别出现在 514, 566 和 698 nm 波段,如表 2 所示。

表 2 基于比值导数法提取的蚜害严重度敏感波段一览表
Table 2 Selected sensitive bands for quantifying cotton aphid based on derivative of ratio spectroscopy

光谱特征波段	波段范围/nm	峰值波长/nm
蓝边	490~530	514
黄边	550~580	566
红边	670~730	698

利用比值导数法提取的三个敏感波段,分别出现在了蓝边、黄边和红边区域与此相符。为了进一步验证通过比值导数法筛选出的三个敏感波段,对选取 76 个样点的蚜害严重度等级值与 450~950 nm 波段的比值导数光谱值进行相关性分析,其系数相关图如图 5 所示,蓝边区域的大部分波段、黄边区域以及红边区域的所有波段的比值导数光谱值与蚜害严重度的相关系数均达到极显著相关关系,均为蚜虫的敏感波段区域,其中 514, 566 和 698 nm 波段在这三个区域的相关性均为最强,这与上述结论一致。

①构建三个敏感波段反射率和比值导数值以棉花所受蚜害严重度为因变量,以三个敏感波段的反射率(记为 R_{514} , R_{566} , R_{698})和比值导数光谱值(记为 DR_{514} , DR_{566} , DR_{698})为自变量,构建单变量的一元线性回归模型,研究表明棉花蚜

害严重度与 R_{514} , R_{566} , R_{698} 和 DR_{514} , DR_{566} , DR_{698} 都具有极显著的线性回归关系, 见表 3。其中基于三个敏感波段反射率所构建的蚜害严重度估测模型, 达到了极显著相关。其中利用 514 nm 波段所构建的线性回归模型 $y = 34.188x - 1.9447$, 决定系数 $R^2 = 0.4156$, 估算精度最高; 基于三个敏感波段比值导数光谱值所构建的蚜害严重度估测模型也均

达到了极显著相关, 其中利用 698 nm 波段比值导数光谱值所构建的线性回归模型 $y = -90.734x + 0.8942$, $R^2 = 0.6005$, 估算精度最高。对比表 3 不难看出, 利用三个敏感波段的比值导数光谱值所构建的蚜害严重度估测模型的相关性均优于利用三个敏感波段的反射率所构建模型的相关性。进一步验证了比值导数法可以提高目标信息的提取精度。

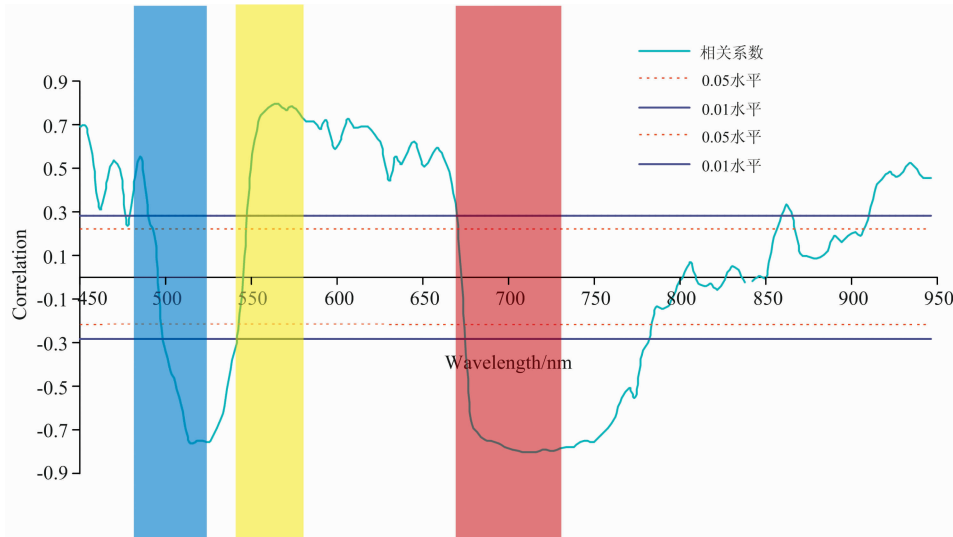


图 5 蚜害严重度与比值导数光谱值的相关性

Fig. 5 The correlation coefficients between the derivative of ratio spectra and cotton aphid grades

表 3 基于不同光谱特征参量的棉花蚜害严重度估测模型

Table 3 Cotton aphid grading estimation models based on different spectral feature parameters

自变量	模型	R^2	RMSE	MAE
R_{514}	$y = 34.188x - 1.9447$	0.4156**	1.106	0.8748
R_{566}	$y = 26.232x - 2.1644$	0.3573**	1.1444	0.8938
R_{698}	$y = 22.829x - 1.8803$	0.3997**	1.0912	0.8723
DR_{514}	$y = -210.96x + 1.0352$	0.5612**	0.9456	0.7766
DR_{566}	$y = 271.55x + 0.8215$	0.597**	0.9061	0.7192
DR_{698}	$y = -90.734x + 0.8942$	0.6005**	0.9023	0.7192
$R_{514}, R_{566}, R_{698}$	$y = -0.336589121 + 93.10261285R_{514} - 79.35974092R_{566} + 24.61404936R_{698}$	0.4817**	1.028	0.852
$DR_{514}, DR_{566}, DR_{698}$	$y = 0.844858569 - 34.20159951DR_{514} + 141.4817237DR_{566} - 31.66947929DR_{698}$	0.6117**	0.89	0.702

②利用比值导数法所筛选的 514, 566 和 698 nm 三个波段正好位于表征植被光谱特征波段的位置“三边”, 为探讨多元线性回归模型对棉花蚜害严重度的估测精度, 本研究利用偏最小二乘回归分析(PLSR)的方法, 选取与单个敏感波段相同的建模和验证样本, 将三个敏感波段的反射率和比值导数光谱值为自变量构建蚜害严重度估测模型, 得到偏最小二乘回归模型如图 6 所示。蚜害严重度估测的最佳模型为利用三个敏感波段的比值导数光谱值所构建的 PLSR 模型 $y = 0.844858569 - 34.20159951DR_{514} + 141.4817237DR_{566} - 31.66947929DR_{698}$, R^2 为 0.6117, 其相关性不仅优于由三个敏感波段光谱反射率所构建的 PLSR 模型 $y = -0.336589121 + 93.10261285R_{514} - 79.35974092R_{566} + 24.61404936R_{698}$, 也优于有三个敏感波段的反射率以及比

值导数光谱值所建的线性回归模型。利用 25 个检验样本的实测值和两个模型的估测值进行拟合分析, 使用拟合方程的决定系数 R^2 , 均方根误差(RMSE), 平均绝对误差(MAE)检验模型估测能力和精度, R^2 越高说明拟合的效果越好, RMSE, MAE 越小说明模型的精度越高。通过独立验证数据集对该模型进行验证, 得到模型预测值与实测值的验证精度, 见图 7 ($R^2 = 0.693$, $RMSE = 0.8$, $MAE = 0.703$, $n = 25$)。

综上所述, 基于光谱比值导数值所构建的单变量模型和多变量模型的精度均高于基于光谱反射率所构建的回归模型。而多变量的比值导数光谱值所构建的模型又高于单个波段比值导数光谱值作变量所构建的估测模型。因此, 基于比值导数光谱值所构建的 PLSR 模型为最优模型。

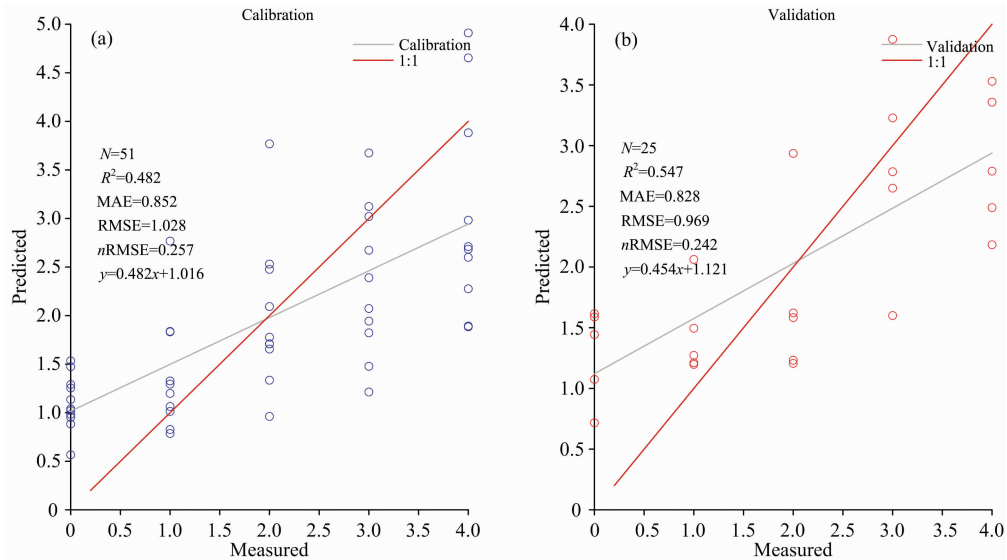


图 6 基于 PLSR 和光谱反射率(514, 566, 698 nm)的蚜害严重度估测模型

(a): 建模数据集; (b): 验证数据集

Fig. 6 Estimated and measured aphid damage grades using PLSR and canopy spectral reflectance at bands 514, 566, 698 nm

(a): Calibration; (b): Validation

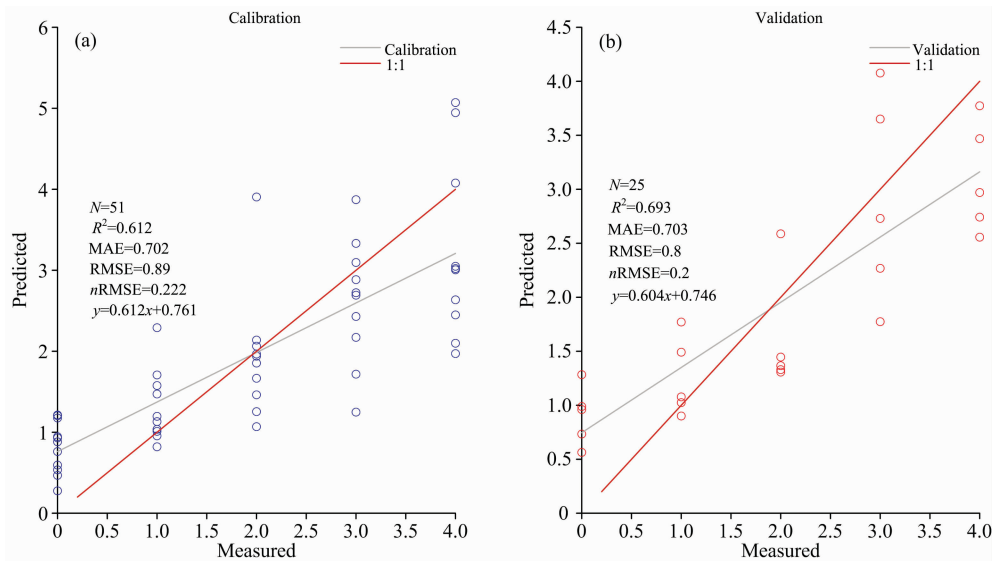


图 7 基于 PLSR 和比值导数光谱值(514, 566, 698 nm)的蚜害严重度估测模型

(a): 建模数据集; (b): 验证数据集

Fig. 7 Estimated and measured aphid damage grades using PLSR and canopy derivative spectrum at bands 514, 566, 698 nm

(a): Calibration; (b): Validation

从校正拼接处理后的无人机高光谱影像(图 8)中提取 51 个样点在 514, 566 和 698 nm 波段的光谱反射率, 计算其比值导数光谱值, 以构建棉花蚜害严重度估测模型, 并应用于无人机成像光谱影像, 依据病害分级标准, 按照棉花蚜害严重度(Y0—Y5)进行划分, 通过 ArcGIS 软件空间计算得到研究区域棉花蚜害严重度空间分布图(图 9)。从图中可以看出, 该地块受蚜害胁迫的程度差异较大, 地块西北部与东南部区域受蚜害胁迫较为严重, 需要重点喷药, 其他区域受蚜害胁迫较轻或者未受胁迫, 可以适量喷药进行预防即可满足棉花

正常生长的需要, 整体情况与无人机成像光谱图一致。可见, 如果该地块按统一标准喷药, 则受蚜虫胁迫严重的区域得不到充分防治, 而其他地块会因过量喷药带来污染, 增加生产成本。因此, 本棉花蚜害严重度估测模型有较好的应用效果。

3 结论

以搭载高光谱分辨率成像光谱仪的低空无人机作为遥感

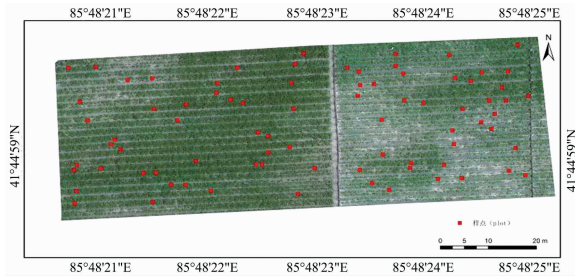


图 8 无人机成像光谱影像及采样点分布

Fig. 8 Hyperspectral imagery and samples in study area

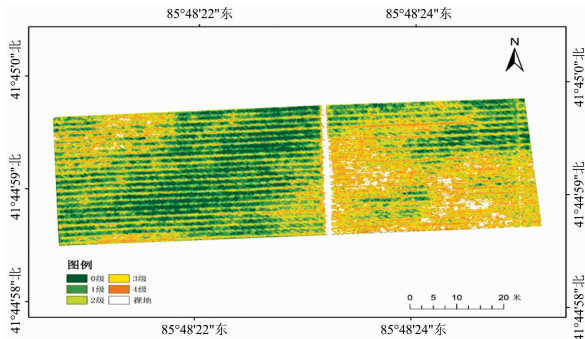


图 9 研究区棉花蕾期蚜害严重度分布

Fig. 9 Distribution of aphid damage grades

平台,以感染蚜虫的棉株为研究对象,在田块尺度上开展棉花蚜害严重度反演研究。首先分析了不同蚜害严重度的棉花冠层光谱特征,然后利用比值导数法筛选了对蚜虫敏感的光谱波段,最后利用敏感波段的比值导数值构建了蚜害严重度估测模型,并得出以下结论:

(1)蚜害对棉花冠层光谱反射率有显著影响。随着蚜害严重度的增加,棉花冠层光谱反射率在可见光区域冠层光谱反射率逐渐增加,红边区域“蓝移”,近红外波段反射率降低。

(2)比值导数法可以有效的消除背景干扰,辅助提取目标信息。利用比值导数法分别在植被“三边”区域,即蓝边、黄边和红边区域中筛选出了三个敏感波段 514, 566, 698 nm,这与利用相关系数法所筛选出的敏感波段保持一致。

(3)比值导数值法能够量化棉花蚜虫胁迫信息,其结合 PLSR 可以构建高精度的蚜害严重度估测模型。本研究分别构建了(1)基于敏感波段的光谱反射率和比值导数值构建蚜害严重度的一元线性回归模型,(2)基于三个波段的光谱反射率和比值导数光谱 PLSR 回归模型。结果表明,三个敏感波段的比值导数光谱值和 PLSR 回归模型的精度最高(建模: $R^2=0.612$, $RMSE=0.89$, $MAE=0.702$; 验证: $R^2=0.693$, $RMSE=0.8$, $MAE=0.703$)。

(4)结合无人机和高光谱遥感技术可以提供棉花蕾期蚜害严重度分布,从而有助于指导农药精准施用,控制病情蔓延,从而降低生产成本,保护农田生态环境。

References

- [1] Wu K M, Guo Y Y. Annual Review of Entomology, 2004, 50(1): 31.
- [2] Wilson L J, Whitehouse M E A, Herron G A. Annual Review of Entomology, 2018, 63(1): 215.
- [3] Khanal S, Fulton J, Shearer S. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 139: 22.
- [4] Atzberger C. Remote Sensing, 2013, 5(2): 949.
- [5] Pajares G. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015, 81(4): 281.
- [6] Prabhakar M, Prasad Y G, Vennila S, et al. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 97: 61.
- [7] Yang C, Odvody G N, Fernandez C J, et al. Precision Agriculture, 2015, 16(2): 201.
- [8] Song X, Yang C, Wu M, et al. Remote Sensing, 2017, 9(9): 906.
- [9] Wu M, Yang C, Song X, et al. Scientific Reports, 2018, 8(1): 2016.
- [10] Chen R, Chu T, Landivar J, et al. Precision Agriculture, 2018, 19(1): 161.
- [11] Yang C, Odvody G, Thomasson J, et al. Transactions of the ASABE, 2018, 61: 849.
- [12] Nevado J, Guiberteau C, Salinas F. Talanta, 1992, 39: 547.
- [13] ZHAO Heng-qian, ZHANG Li-fu, CEN Yi, et al(赵恒谦, 张立福, 岑奕, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2013, 32(6): 563.
- [14] YUE Xue-jun, LING Kang-jie, WANG Lin-hui, et al(岳学军, 凌康杰, 王林惠, 等). Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery(农业机械学报), 2019, 50(3): 186.

Cotton Aphid Damage Monitoring Using UAV Hyperspectral Data Based on Derivative of Ratio Spectroscopy

GUO Wei¹, QIAO Hong-bo¹, ZHAO Heng-qian^{2,3*}, ZHANG Juan-juan¹, PEI Peng-cheng¹, LIU Ze-long^{2,3}

1. College of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China

3. College of Geoscience and Surveying Engineering, (China University of Mining and Technology-Beijing), Beijing 100083, China

Abstract Aphids (*Aphis gossypii*) are one of the main pests of cotton. The annual loss of China's cotton yield due to aphids is as high as 5%~10%. Monitoring the grading profile of field-scale aphid damage can assist the precise application of quantified pesticide and reduce environmental pollution. The hyperspectral imaging data obtained by unmanned aerial vehicle (UAV)-mounted imaging spectrometer has the advantages of high resolution, high timeliness and low cost. The method based on derivative of ratio spectroscopy has the advantages of simple, efficient and highly accurate, which can be effectively applied to the remote sensing spectrum unmixing process, and extract more sensitive bands to the target information, providing an effective means for the establishment of pest monitoring model. Therefore, in this study, the Korla region of Xinjiang, a typical cotton production area, was selected as the experimental area to carry out the following work. (1) to use a low-altitude-unmanned-aerial-vehicle-based hyperspectral imaging instrument to acquire hyperspectral images of cotton (*Gossypium*) canopies. Spectral data of 76 sample points and severity of aphid damage were obtained (including 16 healthy plants, and 15 were selected from each grade of 1~4 severity of aphid damage. (2) to use the derivative of ratio spectroscopy (DRS) to select sensitive spectral bands from cotton canopy spectra to detect aphid damage at the bud stage, band 514 nm, band 566 nm band 698 nm; (3) to construct unary-linear-regression and partial-least-squares models based on the sensitive bands of reflectance spectra and derivative of ratio (DR) spectra for rating aphid damage. The experiments' results revealed the following: (1) aphid damage had a significant effect on the spectral reflectance of the cotton canopy. The more seriously cotton plants were affected by the aphid, the higher the reflectivity in the visible region and the lower the reflectivity in the near-infrared band, and the "blue shift" occurred in the red envelope region. (2) sensitive bands for detecting aphid damage were effectively extracted from the DR spectra of the cotton canopy, and the three selected bands (with wavelengths of 514, 566, and 698 nm) were consistent with the sensitive bands extracted by using the correlation coefficient method; (3) the precisions of the aphid-damage-rating models constructed using DR spectra of the sensitive bands were better than those of the models constructed using of the sensitive bands from the reflectance spectra, among which the model constructed with 698 nm band had the best accuracy ($R^2=0.612$, $RMSE=0.89$); (4) based on derivative of ratio spectroscopy method, the UAV imaging spectral monitoring model of cotton aphid infestation can obtain the spatial distribution map of different severity aphid infestation on the field scale, which is of great significance for precisely quantified pesticide.

Keywords Cotton; Aphids; Derivative of ratio spectroscopy; Hyperspectral imaging; Unmanned aerial vehicle

(Received Mar. 10, 2020; accepted Jul. 21, 2020)

* Corresponding author