

无人机高光谱的玉米冠层大斑病监测

梁辉^{1,2}, 何敬^{1,2*}, 雷俊杰^{1,2}

1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059

2. 国土资源部地学空间信息技术重点实验室, 四川 成都 610059

摘要 大斑病是一种对玉米危害严重的病害, 迫切的需要一种可以快速了解玉米大斑病病情的方法。以无人机遥感作为新的技术平台, 探究玉米冠层受到大斑病胁迫时的光谱响应情况, 并利用无人机高光谱成像技术对大斑病病情进行监测和可视化研究。采集玉米多生育期(抽雄期、灌浆期、完熟期)冠层 500~900 nm 的高光谱影像, 根据采集影像的原始光谱和一阶微分光谱特征, 提取出 12 个大斑病敏感波段位置, 12 个波段位置分别为: 514, 532, 553, 680, 714, 728, 756 和 818 nm, 近红外、红、绿波段及红边位置。根据前人提出的植物病害监测参数结合提取的敏感波段位置, 构建 13 组针对玉米冠层大斑病的监测光谱参数, 研究不同波段对大斑病病情指数(DI)值的敏感性, 并构建玉米冠层大斑病的监测模型, 验证利用无人机遥感监测大斑病 DI 值的精度及稳定性。结果表明: 随病情指数增加, 一阶微分光谱图出现典型的“蓝移”现象, 病害冠层 DI 值与红光(680~714 nm)和近红外(770~818 nm)的反射率及一阶微分光谱图的红边位置(680~756 nm)相关性更显著, 与绿光波段相关性较低。在 13 组监测光谱参数中, 8 组与建模样点冠层大斑病实测 DI 值达到极显著相关水平, 决定系数(R^2)均达到 0.8 以上, 选取各生育期 R^2 达到 0.8 以上的光谱参数用于玉米冠层大斑病监测模型的构建, 将检验样本的实测值与监测模型的预测值进行相关性分析。检验表明, 在抽雄期, 模型 DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j})的回归斜率(0.829 3)和决定系数($R^2=0.842 7$)都最接近 1, 均方根误差(RMSE=4.59)和相对误差(RE=12.3)更小, 说明模型 DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j})的预测能力和精度更高。各生育期对应模型均取得较好监测效果, 说明本研究利用无人机遥感对植物病害监测具有指导意义, 对精准农业的发展具有一定的借鉴价值。

关键词 无人机; 高光谱; 玉米; 大斑病; 监测

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)06-1965-08

引言

玉米种植面积约占我国全部粮食作物种植面积五分之一, 玉米大斑病, 是一种危害较重的常见玉米病害, 该病害严重引起玉米的产量与品质下降, 因此, 如何通过遥感技术精准快速, 高效可靠的获取玉米大斑病病情, 已成为急需解决的问题。

在农业遥感中, 植物在病虫害胁迫下会在光谱响应上表现出吸收和反射特性的改变, 常出现可见光区域的反射率增加, 红边发生“蓝移”, 短波红外区域呈现较低反射率等现象^[1]。Jones 等^[2]研究了感染叶斑病番茄叶的病情与反射光谱在紫外、可见光和近红外处的定量关系, 表明使用光谱检

测田间番茄细菌叶斑是可行的。诸多研究表明不同的光谱特征总能与病害间表现出积极的相关性, 这些研究为植物病虫害光学遥感监测奠定了基础。

目前应用较多的是通过人工识别和地面高光谱结合的方法来研究植物病虫害, 存在作业效率低, 不利于在农业遥感中大面积推广使用等问题。无人机应用系统具有高效、低成本、能够获取高时空分辨率影像等特点。国内外在无人机遥感农情监测领域已开展诸多研究与探索。杨贵军等^[3]利用农用无人机多传感器遥感辅助小麦育种信息获取。Juliane Bendig 等^[4]将基于无人机的遥感测量与植被光谱指数相结合, 用于大麦的生物量监测。裴浩杰等^[5]运用无人机高光谱影像对 2015 年小麦多生育期的长势监测。

而鲜有学者利用无人机应用系统对玉米冠层病害进行监

收稿日期: 2019-05-08, 修订日期: 2019-10-13

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41602355), 四川省自然科学基金重点项目(18ZA0061)资助

作者简介: 梁辉, 1994 年生, 成都理工大学硕士研究生 e-mail: 547237976@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: xiao00yao@163.com

测研究,因此设计了基于无人机高光谱的玉米冠层大斑病监测实验,利用无人机搭载高光谱仪对感病玉米冠层进行光谱分析,提取光谱响应敏感波段,研究以无人机高光谱仪为平台对玉米冠层大斑病监测的可行性与可靠性,为精准农业发展提供技术支撑。

1 实验部分

1.1 研究区概况

田间试验区位于四川省绵阳市马角镇,地处四川省东北部,地理坐标为东经 $105^{\circ}05'08''$,北纬 $32^{\circ}05'35''$ 。该地区以平坦和丘陵地貌为主,棕红土壤,农作物种植条件优越。为构建大斑病病情梯度,共设 3 块试验田(B_0 , B_2 , B_4),每块试验田总面积约 300 m^2 ,图 1 为 B_0 研究区。



图 1 B_0 研究区

Fig. 1 The study area B_0

1.2 供试品种及接种

为保证对照实验变量的单一性,本试验选取抗大斑病等级为中感的云甜玉 8 号玉米作为试验对象。种植距离为行距 0.8 m ,株距 0.3 m ,并设置隔离带确保试验田不互相影响。内设 3 个大斑病接种水平,7 月 17 日小喇叭口期至 7 月 28 日抽雄期共接种次数分别为 B_0 (0 次)、 B_2 (2 次)和 B_4 (4 次),每次采用喷雾法接种浓度为 1×10^8 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$ 的大斑病分生孢子悬浮液。



图 2 不同病症下的玉米冠层

(a): 健康; (b): 中度感病; (c): 重度感病

Fig. 2 Corn canopy under different conditions

(a): Health; (b): Moderate disease; (c): Severe disease

1.3 监测系统的组成

监测系统由无人机平台和光谱仪组成。无人机平台为大疆 M600 Pro 型六轴无人机,有效载荷 6 kg ,续航时间 25 min 。采用 D-RTK GNSS 定位系统,地面平台通过 GJI GS pro 软件设置无人机飞行参数和航道,实现对无人机的飞行控制。高光谱遥感影像获取设备为芬兰生产的 SENOP RIKOLA 型高光谱成像仪。该光谱系统提供了 VIS-VNIR 光谱范围内的快照图像,在高度 100 m 时分辨率为 6.5 cm ,光谱范围为 $500\sim 900\text{ nm}$,光谱分辨率最高可达 1 nm ,有效波段数为 380 个。

1.4 影像获取与数据处理

(1) 高光谱影像获取

高光谱影像于 2018 年 8 月 5 日 $11:00\sim 13:00$ 在试验区第一次采集,天空晴朗无风。此时玉米处于抽雄期,冠层刚出现大斑病病斑特征,随后分别在灌浆期和完熟期再次采集影像。无人机起飞之前,在地面对高光谱相机进行暗电流校正,并使用参考板进行辐射标定。无人机飞行高度为 120 m ,设定航速 $5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。光谱仪镜头垂直向下,焦距为 9 mm ,曝光时间为 7 ms ,图 2 为不同病症下的玉米冠层。

(2) 病情指数(DI)值调查

无人机高光谱影像采集的同时,在试验区以 5 株玉米为一个样点,在每个试验区均匀取样 120 个样点,根据 GB/T23391.1—2009《玉米大、小斑病和玉米螟防治技术规范第 1 部分:玉米大斑病》^[6]指导,结合玉米冠层实际病害程度,利用病情指数计算公式得出样点平均 DI 值。

$$DI = \frac{\sum(x \times f)}{n \sum f} \times 100 \quad (1)$$

式(1)中, x 为各梯度病情的级值, n 是最高梯度值 9, f 为各梯度的叶片数。

(3) 高光谱影像处理

将 RIKOLA 采集的影像用自带软件 Rikola HSI 进行辐射校正和处理,在 ENVI 5.3 软件中对处理后的影像进行解译,根据地面采集样点在影像中对应位置构建兴趣区(ROI),以 ROI 平均光谱反射率作为该样点光谱反射率,取各试验区 90 个样点作为建模样本,剩下 30 个样点作为检验样本。

1.5 光谱特征分析与参数选择

B₀ 由于未接种且隔离较好, 所以几乎未感病, 将其设为正常组, B₂ 和 B₄ 根据感病程度不同, 将其分为中度组与严重组。如图 3 所示, 光谱曲线呈现明显的“峰和谷”特征。在可见光波段(500~721 nm)内, 冠层光谱反射率主要受叶片叶绿素含量的影响, 健康玉米冠层单位面积上叶绿素含量高, 对光吸收的多, 因而反射率较低。大约在 553 nm 绿波段处有一反射峰-绿峰, 在红光(600~680 nm)处有一个吸收带, 这是因为叶绿素主要吸收红光反射绿光; 在 680 nm 附近, 有一红光吸收谷-红谷, 并具有很低的反射率; 在近红外区(770~900 nm), 冠层叶片光谱反射率主要受叶片内部物质及细胞结构影响, 反射率较高, 是近红外波段的高反射区。其中在 680~756 nm 波段有一反射的“陡坡”, 因为植被中的叶绿素会吸收大部分的可见光, 而细胞的反射机制类似小型的角反射器, 对于波长 700 nm 以上电磁波是几乎透明的, 此时植被细胞结构是影响电磁波反射的主要因素, 因此植被在 680~756 nm 的反射率可从 5% 快速变化为 50%。

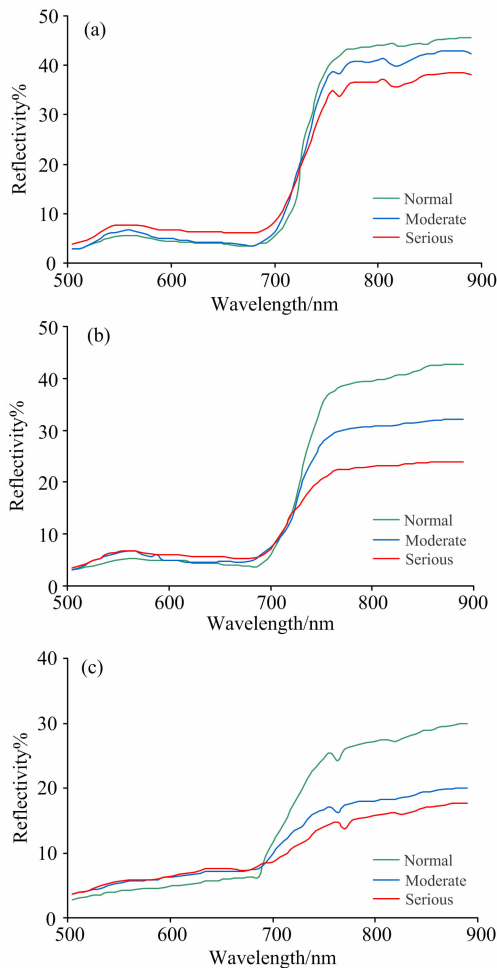


图 3 玉米冠层不同生育期光谱反射曲线

(a): 抽雄期; (b): 灌浆期; (c): 完熟期

Fig. 3 Spectral reflection curves of corn canopy at different growth stages

(a): Tasseling stage; (b): Filling stage;

(c): Full ripeness period

玉米冠层 3 个不同生育期的一阶微分光谱见图 4。从图 4 可见, 红边区域(680~756 nm)内的一阶微分变化最大, 总体趋势是随病情指数增大, 红边内一阶微分值逐渐减小, 特别是在 728 nm 峰值附近表现出明显规律性, 同样在绿峰 532 nm 附近也有相似现象。不同病情的玉米冠层一阶微分光谱形状相似, 但呈梯度显现, 随病情增加, 红边位置逐渐向左(短波方向)移动, 即红边斜率逐渐减小, 红边位置发生“蓝移”, 病害越重, 蓝移越明显。

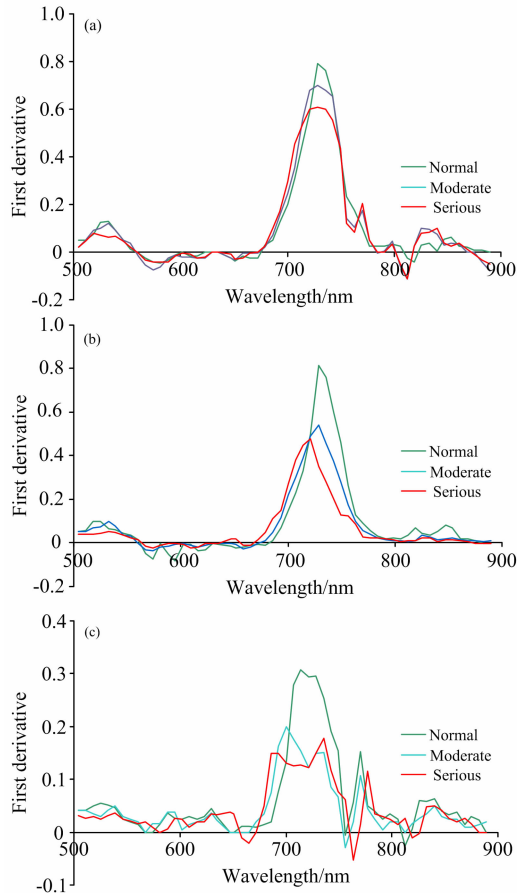


图 4 玉米冠层不同生育期一阶微分光谱反射曲线

(a): 抽雄期; (b): 灌浆期; (c): 完熟期

Fig. 4 First-order differential spectral reflection curves of corn canopy at different growth stages

(a): Tasseling stage; (b): Filling stage;

(c): Full ripeness period

RIKOLA 数据中包含丰富的光谱参数, 将样点各波段的反射率在 SPSS 软件中进行线性或非线性组合计算, 可以得到相应的光谱参数。结合玉米冠层的光谱特征, 所选择的植被指数包括: 仅利用绿光波段、绿光和近红外波段、红光和近红外波段、红边构造的光谱参数。同时考虑到病虫害探测植被指数应用的广泛性和实用性, 以遥感研究中 13 种常见植被病害光谱参数为基础, 根据玉米冠层光谱特征对参数进行改进, 用于玉米冠层大斑病监测模型的构建, 表 1 为改进后所用光谱参数。

表 1 病害相关指数
Table 1 Disease related index

光谱参数	定义与算法	参考文献
GNDVI(R_{6i} , R_{6j})	$(R_{756} - R_{553}) / (R_{756} + R_{553})$	[7]
SD _G	绿边内一阶微分值总和	[8]
SD _R	红边内一阶微分值总和	[8]
OSAVI	$(1 + 0.16)(R_{818} - R_{714}) / (R_{818} + R_{714} + 0.16)$	[9]
PRI(R_{6i} , R_{6j})	$(R_{514} - R_{532}) / (R_{514} + R_{532})$	[9]
NDVI(SD_{6i} , SD_{6j})	$(SD_{728} - SD_{680}) / (SD_{728} + SD_{680})$	
MNDRE	$[R_{Nir} - (R_{Re} - 2R_G)] / [R_{Nir} + R_{Re} - 2R_G]$	[10]
GRVI	R_{Nir} / R_G	[11]
GSAVI	$1.5[(R_{Nir} - R_G) / (R_{Nir} + R_G + 0.5)]$	[11]
SD _R /SD _G	红边与绿边内一阶微分值总和和比值	[12]
CI(R_{Nir} , R_G)	$R_{Nir} / R_G - 1$	[13]
RERDVI	$(R_{818} - R_{680}) /$	[14]
RERVI(R_{Nir} , R_{Re})	R_{Nir} / R_{Re}	[14]

注: R_{Nir} , R_{Re} , R_G 及 R_{6i} 分别表示光谱在近红外、红、绿、及波长 λ 处波段反射率的均值; SD_G , SD_R 及 SD_{6i} 分别为绿光、红边及波长 λ 处波段一阶微分光谱值

Note: R_{Nir} , R_{Re} , R_G and R_{6i} represent the mean reflectance of the spectrum at near-infrared, red, green and wavelength λ ; SD_G , SD_R and SD_{6i} are the first-order differential spectral values of green, red edge and wavelength λ

2 结果与讨论

2.1 玉米冠层 DI 与光谱参数相关性分析

将试验区各生育期建模样点 DI 值与对应影像的光谱参数值进行相关性分析, 可了解不同波段对玉米冠层 DI 的敏感性。结果表明, 上述 13 个光谱参数除 PRI(R_{6i} , R_{6j}) 与 OSAVI 外, 其余在所有生育期均与玉米冠层 DI 呈显著相关关系, R^2 达到 0.6 以上。其中, 抽雄期光谱参数 NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), RERDVI, 灌浆期光谱参数 GNDVI(R_{6i} , R_{6j}), NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), SD_R/SD_G , RERDVI 和完熟期光谱参数(NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), SD_R/SD_G , RERVI(R_{Nir} , R_{Re})) 与玉米冠层 DI 的 R^2 达到 0.8 以上, 呈极显著相关关系, 结果如表 2 所示。

根据表 2 相关性分析得知, R^2 达到 0.8 以上的光谱参数在灌浆期最多, 其次是完熟期, 最后是抽雄期。原因可能是玉米植株在抽雄期刚开始出现大斑病病症, 叶片上病斑范围与数量较小, 此时无人机高光谱仪区分正常叶片与感病叶片能力较弱, 而灌浆期是玉米植株发育旺盛期, 此时大斑病病斑扩散较快, 病症表现明显, 易于无人机光谱仪识别, 发育至完熟期时, 正常不感病植株叶片逐渐干枯, 其生理状态与感病植株相似, 因此无人机光谱仪对感病冠层识别能力下降。通过对 13 组光谱参数分析结果对比发现, 近红外波段(770~818 nm)参与的光谱参数比绿光波段(500~556 nm)参与的光谱参数有更高的相关性, 说明近红外波段对玉米冠层病情变化更敏感, 解释了仅绿光波段构成的光谱参数 PRI(R_{6i} , R_{6j}) 在不同生育期相关性均较低的原因, 在削弱土壤和环境影响方面, 一阶微分参数(SD_R , SD_G , NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), SD_R/SD_G) 比土壤调节类参数(OSAVI, GSAVI) 体现了更高的相关性, 说明一阶微分参数更适用于监测玉米冠

层 DI。

表 2 玉米冠层 DI 与光谱参数相关性
Table 1 Correlation between DI and spectral parameters of corn canopy

光谱参数	R^2		
	抽雄期	灌浆期	完熟期
GNDVI(R_{6i} , R_{6j})	0.721 6	0.801 5	0.785 6
SD _G	0.692 1	0.712 6	0.674 5
SD _R	0.701 1	0.721 5	0.711 0
OSAVI	0.631 7	0.574 2	0.612 5
PRI(R_{6i} , R_{6j})	0.603 8	0.521 7	0.535 4
NDVI(SD_{6i} , SD_{6j})	0.806 7	0.863 1	0.812 4
MNDRE	0.681 2	0.702 4	0.719 1
GRVI	0.686 4	0.721 5	0.702 1
GSAVI	0.679 1	0.654 1	0.651 1
SD _R /SD _G	0.795 4	0.835 4	0.801 1
CI(R_{Nir} , R_G)	0.667 3	0.695 4	0.654 1
RERDVI	0.826 5	0.842 8	0.785 7
RERVI(R_{Nir} , R_{Re})	0.757 1	0.779 1	0.812 5

2.2 监测模型精度分析

综上所述, 选取各生育期 R^2 达到 0.8 以上的光谱参数用于玉米冠层大斑病 DI 值监测模型的构建, 将各生育期模型(抽雄期: DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), DI-RERDVI; 灌浆期: DI-GNDVI(R_{6i} , R_{6j}), DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), DI- SD_R/SD_G , DI-RERDVI; 完熟期: DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}), DI- SD_R/SD_G , DI-RERVI(R_{Nir} , R_{Re})) 设为自变量, 玉米冠层 DI 值设为因变量, 将监测模型应用于 3 块试验田各生育期 90 个检验样点, 并在 SPSS 软件中分别进行 DI 实测值和预测值相关性分析, 对其预测的可靠性和稳定性进行检验, 采用预测精度(R^2)、均方根差(RMSE)和平均相对误差(RE)3 项统计指标, R^2 越接近 1, RMSE 和 RE 越小, 表明模型精度越高, 分析结果如图 5、表 3 所示。

根据检验结果得知, 抽雄期模型 DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}) 的回归斜率(0.829 3)和决定系数($R^2=0.842 7$) 都最接近 1, 均方根误差(RMSE=4.59)和相对误差(RE=12.3) 更小, 说明模型 DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}) 的预测能力和精度更高; 在灌浆期和完熟期, 模型 DI-RERDVI 和 DI-NDVI(SD_{6i} , SD_{6j}) 有更高的预测能力和精度, 可分别作为各自生育期的监测模型。

2.3 玉米冠层 DI 高光谱影像反演

使用各生育期对应监测模型对研究区不同生育期的高光谱影像像元进行解算, 得到试验地不同生育期的玉米冠层大斑病 DI 值反演估算图, 图 6 为 B₂ 研究区部分反演估算图。为了对估算图结果进行检验, 根据影像在已有样点中随机选取 30 个, 将 DI 实测值和估算值进行拟合分析(图 7), 在 RMSE 最小、 R^2 最接近 1 的情况下, 拟合结果越接近 1:1 线(图中虚线), 表明估测结果越精确。结果可以看出, 3 个监测模型各项检验指标均体现出较高相关性, 证明基于无人机高光谱对玉米冠层大斑病监测是切实可行的。

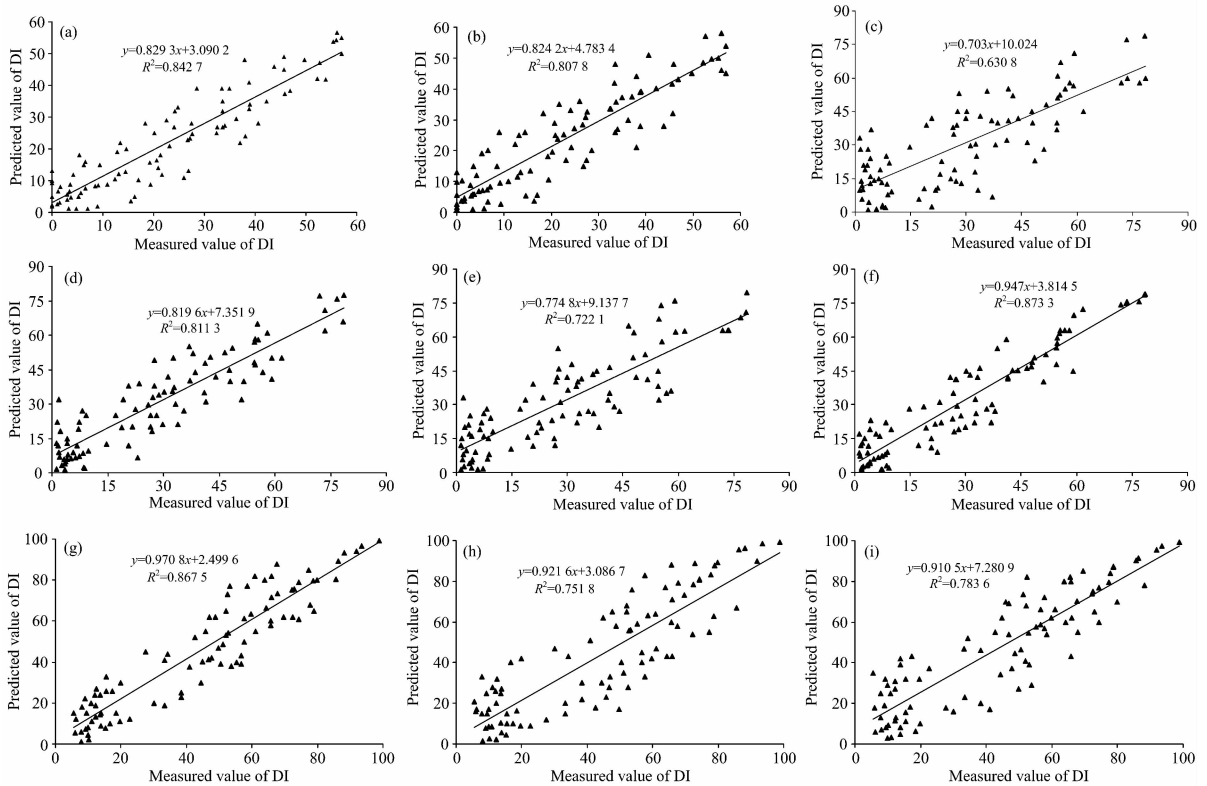


图 5 玉米冠层 DI 的实测值与估测值相关性分析

- (a): 抽雄期 DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (b): 抽雄期 DI-RERDVI; (c): 灌浆期 GNDVI(R_{di} , R_{dj});
 (d): 灌浆期 DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (e): 灌浆期 DI-SD_R/SD_G; (f): 灌浆期 DI-RERDVI;
 (g): 完熟期 DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (h): 完熟期 DI-SD_R/SD_G; (i): 完熟期 DI-RERVI(R_{Nir} , R_{Re})

Fig. 5 Correlation analysis of DI measured value and estimated value of corn canopy

(a): Tasseling stage DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (b): Tasseling stage DI-RERDVI; (c): Filling stage GNDVI(R_{di} , R_{dj}); (d): Filling stage DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (e): Filling stage DI-SD_R/SD_G; (f): Filling stage DI-RERDVI; (g): Full ripeness period DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj}); (h): Full ripeness period DI-SD_R/SD_G; (i): Full ripeness period DI-RERVI(R_{Nir} , R_{Re})

表 3 玉米冠层 DI 值估算模型精度检验

Table 3 Accuracy test of inversion models for corn canopy DI values

	模型	监测模型	预测结果斜率	R^2	RMSE	RE
抽雄期	DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj})	$y = -171.5722x + 102.9433$	0.8293	0.8427	4.59	12.3
	DI-RERDVI	$y = -134.4526x + 759.1534$	0.8242	0.8078	5.29	14.5
灌浆期	DI-GNDVI(R_{di} , R_{dj})	$y = -122.2743x + 99.1278$	0.703	0.6308	7.38	23.3
	DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj})	$y = -258.5467x + 272.6178$	0.8196	0.8113	6.47	19.2
	DI-SD _R /SD _G	$y = -30.1033x + 306.1831$	0.7748	0.7221	6.72	21.1
成熟期	DI-RERDVI	$y = -57.0114x + 145.1059$	0.947	0.8733	4.45	11.5
	DI-NDVI(SD_{di} , SD_{dj})	$y = -354.2958x + 297.6234$	0.9708	0.8675	4.37	10.8
	DI-SD _R /SD _G	$y = -25.9109x + 230.8889$	0.9216	0.7518	5.85	15.3
	DI-RERVI(R_{Nir} , R_{Re})	$y = -76.2711x + 238.4168$	0.9105	0.7836	5.74	16.2

3 结论

对无人机高光谱监测玉米冠层大斑病病情指数的方法进行了研究, 利用其实效性强的特点分析了玉米冠层多生育期的病情, 结合高光谱仪的高分辨率从不同梯度病害胁迫入

手, 展现了由此导致的光谱反射率、一阶微分光谱及病害参数在反映 DI 值方面的差异, 对比了具有代表性的 13 种病害参数在预测 DI 值方面的能力, 并在小尺度上分析了监测模型对监测结果的影响。通过精度检验和分析比较, 结果表明: 无人机高光谱遥感技术在监测玉米冠层大斑病病情方面具有准确度高, 快速便捷, 时效性强等诸多优势。

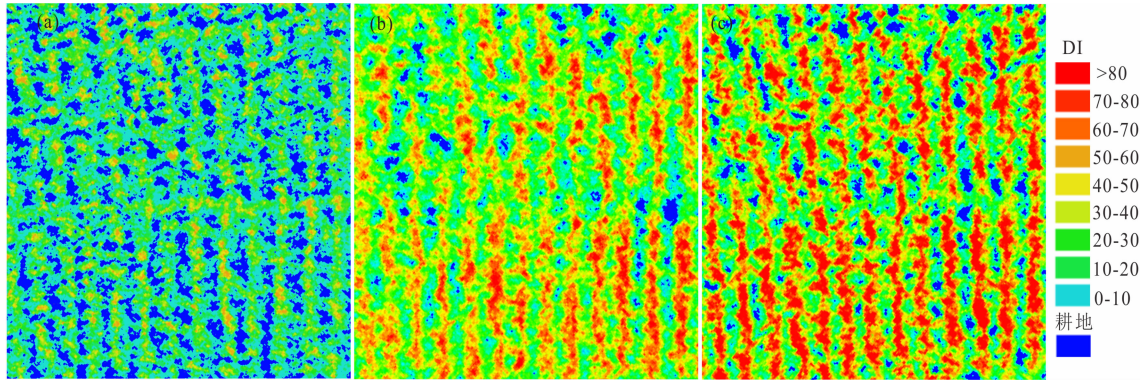


图 6 不同生育期玉米冠层 DI 值反演估测图

(a): 抽雄期; (b): 灌浆期; (c): 完熟期

Fig. 6 Distribution maps of different corn canopy DI values at different growth stages

(a): Tasseling stage; (b) Filling stage; (c) Full ripeness period

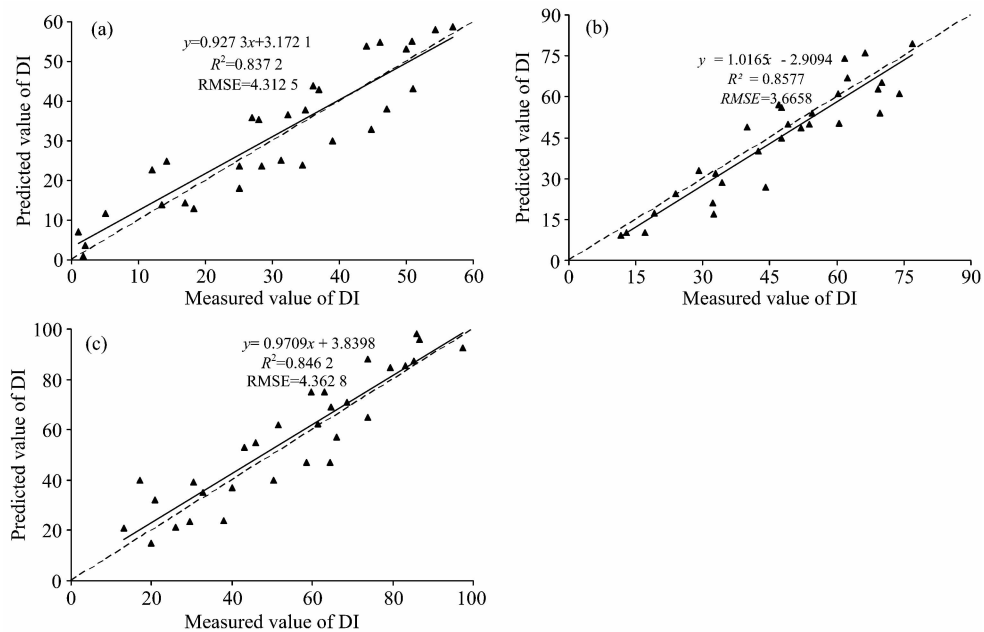


图 7 不同模型 DI 预测值与实测值拟合结果

(a): DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j}); (b): DI-RERDVI; (c): DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j})

Fig. 7 Regression results of predicted and measured corn canopy DI values

(a): DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j}); (b): DI-RERDVI; (c): DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j})

研究表明,将无人机遥感监测玉米冠层大斑病病情的技术运用到实际生产或科学研究,能为小尺度空间范围提供高效快捷、精确可靠的玉米冠层大斑病监测服务;与前人的工作研究相比,本试验进行了多生育期下不同梯度病害胁迫的研究,得出了不同生育期最适用的病情监测指数,证明了利用无人机高光谱技术监测玉米冠层大斑病病情是切实可

行的。虽然在各生育期均取得较高监测精度,但是玉米冠层大斑病一般从抽雄期开始发病,为了尽早控制病情,应在抽雄期监测。建议在实际生产应用或科学研究时,可以考虑使用红光及近红外的多光谱仪或更高分辨率的高光谱仪来提高监测精度和效率。

References

- [1] ZHANG Jing-cheng, YUAN Lin, WANG Ji-hua, et al(张竞成, 袁琳, 王纪华, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2012, 28(20): 1.
- [2] Jones, Curtis Jones, Jeff Lee, et al. Computers and Electronics in Agriculture—COMPUT ELECTRON AGRIC, 2010, 74: 329.
- [3] YANG Gui-jun, LI Chang-chun, YU Hai-yang, et al(杨贵军, 李长春, 于海洋, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2015, 31(21): 184.
- [4] Juliane Bendig, Kang Yu, Helge Aasen, et al. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2015, 39: 79.
- [5] PEI Hao-jie, FENG Hai-kuan, LI Chang-chun, et al(裴浩杰, 冯海宽, 李长春, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2017, 33(20): 74.
- [6] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局). GB/T 23391.1—2009. Technical Specification for Control of Northern Corn Leaf Blight, Southern Corn Leaf Blight and Asian Corn Borer—Part 1: Northern Corn Leaf Blight(GB/T 23391.1—2009 玉米大、小斑病和玉米螟防治技术规范 第一部分: 玉米大斑病), 2009.
- [7] HE Ting, LI Jian-dong, LIU Gui-peng, et al(贺婷, 李建东, 刘桂鹏, 等). Journal of Shenyang Agricultural University(沈阳农业大学学报), 2016, 47(3): 257.
- [8] Zhang J C, Pu R L, Wang J H, et al. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 85: 13.
- [9] Aasen H, Burkart A, Boltan A, et al. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 108: 245.
- [10] Wang W, Yao X, Yao X F, et al. Field Crops Research, 2012, 129: 90.
- [11] Cao Qiang, Miao Yuxin, Shen Jianning, et al. Precision Agriculture, 2016, 17(2): 136.
- [12] JIN Yan-hua, XIONG Hei-gang, ZHANG Fang(靳彦华, 熊黑钢, 张芳). Chinese Journal of Eco-Agriculture(中国生态农业学报), 2014, 22(1): 87.
- [13] Gitelson A A, Andrés Viña, Verónica Ciganda, et al. Geophysical Research Letters, 2005, 32(8): 403.
- [14] Kanke Y, Brenda Tubaña, Dalen M, et al. Precision Agriculture, 2016, 17(5): 507.

Monitoring of Corn Canopy Blight Disease Based on UAV Hyperspectral Method

LIANG Hui^{1, 2}, HE Jing^{1, 2*}, LEI Jun-jie^{1, 2}

1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. Key Laboratory of Ministry of Land and Resources, Chengdu 610059, China

Abstract Blight disease is a serious disease for corn. Therefore, there is an urgent need for a method for quickly understanding the condition of corn blight disease. In this study, UAV remote sensing is used as a new technology platform to explore the spectral response of corn canopy under the stress of blight disease, and UAV hyperspectral imaging technology is used to monitor and visualize the disease of blight disease. Therefore, this study collected data on corn growth stages (the tasseling period, the filling period, the maturity period), and used the UAV hyperspectral instrument to acquire the hyperspectral image of the canopy 500~900 nm. This research based on the original spectra and first-order differential spectral features of the acquired images, the position of the 12 sensitive spots of the blight disease was extracted. The positions of the 12 bands were: 514, 532, 553, 680, 714, 728, 756 and 818 nm, near-infrared, red, green and red edge positions. At the same time, based on the plant disease monitoring parameters proposed by the predecessors combined with the extracted sensitive band positions, 13 sets of monitoring spectral parameters for corn canopy blight disease were constructed. In this way, the sensitivity of different bands to the disease index (DI) value of blight disease was studied, and a monitoring model for monitoring corn canopy blight disease was constructed to verify the accuracy and stability of using the UAV remote sensing technology to monitor the DI value of blight disease. The results show that with the increase of the disease index, the first-order differential spectrum shows a typical “blue shift” phenomenon, and the correlation between the disease canopy DI value and the red (680~714 nm) and near-infrared (770~818 nm) reflectance and the red edge position (680~756 nm) of the first-order differential spectrum is more significantly, the correlation with the green band is low. Among the 13 groups of monitoring spectral parameters, 8 groups and the modeled canopy blight disease measured the DI value reached a very significant correlation level, R^2 all reached above 0.8. Therefore, in this study, the

spectral parameters of R^2 with a growth period of 0.8 or higher were selected for the construction of the corn canopy blight disease monitoring model, and the correlation between the measured values of the test samples and the predicted values of the monitoring models was analyzed. The test shows that in the tasseling period, the regression slope (0.829 3) and the decision coefficient ($R^2=0.842 7$) of the model DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j}) are closest to 1, and the root mean square error (RMSE=4.59) and relative error (RE=12.3) are smaller, indicating that the prediction ability and accuracy of the model DI-NDVI(SD_{λ_i} , SD_{λ_j}) are higher than others. The results show that the corresponding models in each growth period have achieved good monitoring results, indicating that the research using UAV remote sensing has guiding significance for plant disease monitoring, and has certain reference value for the development of precision agriculture.

Keywords UAV; Hyperspectral; Corn; Blight; Monitoring

(Received May 8, 2019; accepted Oct. 13, 2019)

* Corresponding author