

基于 PHI 影像敏感波段组合的冬小麦条锈病遥感监测研究

罗菊花^{1,2}, 黄文江^{1*}, 顾晓鹤¹, 靳 宁¹, 马 丽¹, 宋晓宇¹, 李伟国¹, 韦朝领²

1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097

2. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036

摘 要 利用 ASD 地面非成像光谱仪对不同严重度的冬小麦条锈病的冠层光谱反射率进行测定, 同时调查病情指数。通过对地面实测的 46 组病情指数与相应的光谱反射率进行相关性分析, 筛选出了小麦条锈病在 350~1 500 nm 的敏感波段。结合多时相的高光谱航空飞行遥感图像数据的特点和规律, 最终选择红波段的 620~718 nm 与近红外波段的 770~805 nm 为条锈病在 PHI 影像上的敏感波段。并利用 620~718 nm 和 770~805 nm 的平均光谱反射率与相应的病情指数建立了多元线性回归模型: $DI = 19.241 R_1 - 2.207 R_2 + 12.274$, 验证结果表明, 该模型的历史拟合度很好。并利用此模型最终在 PHI 影像上成功的实现了对冬小麦条锈病发生程度与发生范围的监测。

关键词 推扫成像光谱仪(PHD); 敏感波段; 条锈病; 病情指数

中图分类号: O657.3; S127 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)01-0184-04

引 言

小麦种植在我国农业发展中占据着极其重要的位置, 遍及全国 30 个省市^[1]; 小麦条锈病属于低温、高湿、强光型真菌性病害, 且属于跨区域气传性病害、发病广、流行性强、发病概率高, 是我国乃至世界上发生最广、危害最大的重要病害之一^[1-3]。

长期以来, 我国对小麦条锈病的监测工作仅限于田间取样调查。由于人工调查的方法不仅耗费大量人力物力, 而且往往不能对病害进行实时报道, 从而影响了病害的及时防治, 导致损失程度增加。因此, 寻求一种快速、方便、经济的条锈病实时监测技术就成为我国小麦条锈病监测工作的一个亟待解决的问题^[4]。

目前, 遥感技术已经发展成为多平台、多波段、高分辨率和全天候的一种对地观测技术^[5-8]。利用遥感技术来监测农作物病害已有不少研究^[9-13], 然而小麦条锈病遥感监测方面的报道尚不多见。黄木易等对冬小麦条锈病的地面冠层光谱进行了系统研究, 建立了遥感监测条锈病病情指数的多波段下的组合诊断模拟的定量模型^[4, 12]; 刘良云等分析了多时相的高光谱航空图像数据, 研究了条锈病对作物光谱的影响

以及相应的光谱特征, 通过设计病害光谱指数, 对小麦条锈病进行了监测^[14]。

本研究在刘良云和黄木易等人的研究基础上, 利用地面样点的冠层光谱数据和病情指数进行相关性分析, 筛选冬小麦条锈病遥感监测的敏感波段, 结合多时相的高光谱航空影像, 构建了基于敏感波段组合分析的小麦条锈病遥感诊断模型, 有效地监测了小麦条锈病发生范围和病害程度, 其监测结果与地面实测结果相吻合。

1 材料与方 法

1.1 田间试验设计

实验区位于北京市小汤山国家精准农业研究示范基地, 该实验田被分为 3 个小麦种植区: 西南区安排为条锈病诱发区; 播种品种为较易感病的“98—100”; 西北端是正常对照区; 东边从北向南是小麦大田区。

1.2 病害诱发接种情况

于 2002 年 4 月 1 日下午 5:00 采取喷雾法接种条锈病菌, 接种量自北向南依次加重。20 天后, 诱发接种区域的冬小麦开始出现条锈病症状。

1.3 病情指数样点调查与光谱测定

收稿日期: 2009-02-11, 修订日期: 2009-05-16

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA10A302, 2006AA10Z203), 国家科技支撑计划项目(2007BAH12B02, 2006BAD10A01), 环境与灾害监测预报小卫星星座减灾应用系统项目和国家科技支撑计划项目(2008BAD8B02-2)资助

作者简介: 罗菊花, 女, 1981 年生, 安徽农业大学资源与环境学院硕士研究生 e-mail: luojuhua@126.com

* 通讯联系人 e-mail: yellowstar0618@163.com

条锈病诱发成功后，每隔一周左右调查一次。每平方米随机选取 20 株小麦，分别调查其发病情况，并在调查取样前利用 ASD FieldSpec FR2500 光谱仪测定其采样点的光谱，该光谱仪的光谱范围为 350~2 500 nm；采样间隔 114 nm (350~1 000 nm 区间)2 nm(在 1 000~2 500 nm 区间)；光谱分辨率 3 nm @700 nm, 10 nm @1400 nm 和 2 100 nm, 视场角 25°。病情严重程度分为 9 个梯度，即 0, 1%, 10%, 20%, 30%, 45%, 60%, 80%和 100%，分别记录各病情程度的小麦叶片数，然后利用公式(1)计算病情指数。

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

其中 DI 为病情指数， x 为各梯度的级值， n 为梯度值，最高值为 9， f 为各梯度的叶片数。

1.4 PHI 高光谱图像数据的获取

PHI(pushbroom hyperspectral imager)是由中国科学院上海技术物理所研制的面阵推扫型成像光谱仪。该成像光谱仪瞬时视场 1.5 mrad, 视场角 0.366 rad(21°), 波长范围为 400~850 nm, 共 80 个波段, 光谱分辨率小于 5 nm, 扫描行像元数 376 个, 数据量化编码 12 Bits, 帧速度 60 Fr · s⁻¹(最高), 速高比 ≤ 0.18 rad · s⁻¹, 飞行高度 1 000 m 时, 机下点空间分辨率约 1 m, 对应地面幅宽为 380 m 左右^[15]。

于 2002 年利用 PHI 仪器在试验区开展了 3 次飞行数据获取试验, 飞行日期分别是 2002 年 4 月 18 日, 对应为冬小麦拔节期; 5 月 17 日, 对应为冬小麦灌浆始期; 5 月 31 日, 对应为冬小麦乳熟期。

2 数据处理与分析

2.1 冬小麦条锈病冠层敏感波段选择

通过对地面实测的 46 组病情指数与相应的光谱反射率进行相关性分析。分析结果显示, 620~718 nm 以及 770~982 nm 与病情指数呈极显著相关性, 因此, 位于 620~718 nm 和 770~982 nm 区间的波段可看作冬小麦条锈病的敏感波段(图 1)。

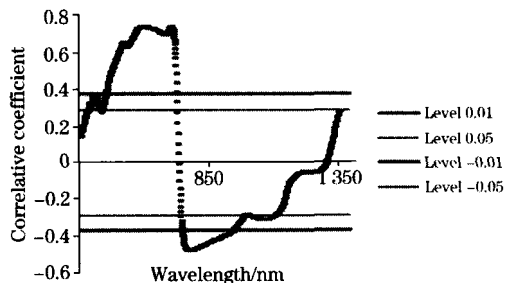


Fig. 1 Coefficient of correlation between the spectral reflectance and disease index

2.2 PHI 影像波段初步分析

将 PHI 影像数据进行辐射定标、辐射校正、反射率反演和几何校正等预处理以后, 进行有效波段的筛选。根据冬小麦光谱特征的一般规律对 3 个时相的图像反射率进行反复对

比和验证后发现 405~500 nm 和 805~850 nm 波长范围内的波段都是异常波段, 无法有效利用。因此最终筛选出 PHI 影像数据的有效波段为 500~805 nm。

2.3 敏感波段平均反射率综合诊断模型的建立

前人的研究表明冬小麦条锈病在 PHI 上的光谱特征具有如下规律^[13]。

(1)在红波段(560~670 nm)范围内, 条锈病病害冠层反射率都高于正常生长冬小麦冠层光谱反射率。

(2)在近红外波段, 条锈病破坏了叶片的组织结构和水分含量, 条锈病病害的冠层反射率小于正常生长冬小麦冠层反射率。

结合以上规律, 综合考虑冬小麦条锈病冠层敏感波段和 PHI 低空遥感数据的特点, 最终选定红波段 620~718 nm 和近红外波段 770~805 nm 为低空高光谱遥感监测小麦条锈病的敏感波段。传统的方法是选取敏感波段中的某些波段进行单波段的组合与病情指数建立病害诊断模型, 但是低空遥感影像由于受到各种因素的影响可能会造成敏感波段中的某些波段的反射率异常, 所以作者认为用单波段的组合来构建反演模型很可能不能将病害信息正确的反演到影像上, 所以本研究分别以冬小麦条锈病在红波段敏感区的平均反射率和近红外波段敏感区的平均反射率为自变量, 以相应的病情指数为应变变量建立反演模型。

首先本研究对冬小麦条锈病的敏感波段中的红波段 620~718 nm 和近红外波段 770~805 nm 的平均反射率与病情指数进行了相关性分析(图 2, 图 3)。

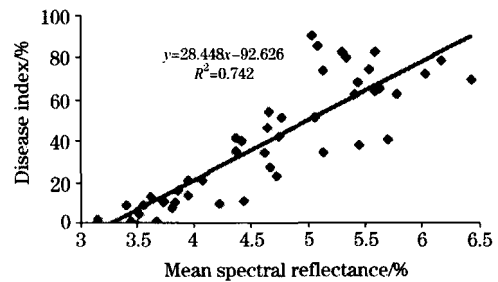


Fig. 2 Correlation between the mean spectral reflectance in red bands and disease index

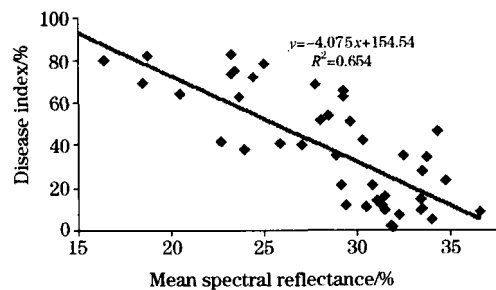


Fig. 3 Correlation between the mean spectral reflectance in near infrared bands and disease index

由以上分析发现红波段 620~718 nm 的平均光谱反射率与病情指数呈极显著正相关关系, 决定系数 R^2 达到 0.742

(图 2); 近红外波段 770~805 nm 的平均光谱反射率与病情指数呈极显著负相关关系, 其决定系数 R^2 达到 0.654 (图 3), 因而 620~718 nm 及 770~805 nm 波段区间是能反映冬小麦病情的波段, 可以作为基于光谱反射率的冬小麦条锈病的最优敏感波段与病情指数建立病情诊断模型。因此以红波段 620~718 nm 的平均光谱反射率(R_1)与近红外波段 770~805 nm(R_2)的平均反射率为自变量, 病情指数(DI)为应变量, 用 45 组地面实测数据进行回归, 得到的多元线性回归模型为: $DI = 19.241 R_1 - 2.207 R_2 + 12.274$, 方程的相关系数为 $R = 0.925$, $F = 127.9 > F(0.01, 2, 46) = 5.10$, 在 $\alpha = 0.01$ 显著水平上回归效果极显著。采用决定系数 R^2 判断实测值和预测值的线性拟合度, 决定系数 $R^2 = 0.856$, 因此该方程的历史拟合度很好(图 4), 可以很好地用来预测冬小麦条锈病的病情严重度^[16]。

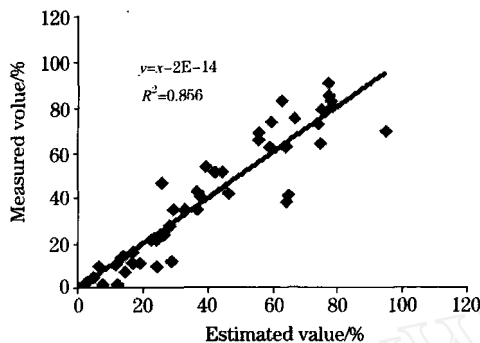


Fig. 4 Relationship between estimated and measured disease index

2.4 PHI 影像的小麦条锈病监测

选用 PHI 影像上的 56(620 nm)~83(724 nm)波段的平均光谱反射率作为 R_1 , 65(768 nm)~105(805 nm)波段的平均反射率为 R_2 利用 ENVI 图像处理软件在遥感图像上进行病情指数的反演, 为了方便对其反演结果分级, 首先将其反演结果标准化到阈值为 0~100% 的范围内, 然后对其进行分级处理, 根据病情的严重程度共分为 4 个级别: 无病(0~5%)、轻微病害(5%~45%)、严重病害(45%~80%)、极严重病害(80%~100%)(图 5)。

由以上 3 个时相的分级影像比较图可以得出以下结论。

(1) 从上图可以很直观的看出试验区病害发生范围和发生程度随时间变化的过程。4 月 18 日为拔节期, 此时条锈病

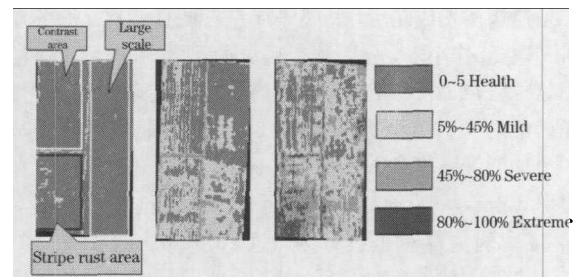


Fig. 5 Disease index images derived from 3 PHI data

- (a): Jointing stage(18th, Apr.);
 (b): Filling stage(17th, May);
 (c): Milky stage(31th, May)

已经接种成功, 部分区域有轻微的发病症状, 5 月 17 日为冬小麦的灌浆初期, 此时局部区域已经严重感染上了条锈病; 5 月 31 日为冬小麦的乳熟期, 此时条锈病接种区域全面感染上了条锈病。此结论与地面实测结果一致。

(2) 从图中条锈病诱发区的病情发展变化可以看出, 条锈病诱发区自北向南方向的病情依次加重, 在 5 月 31 日的图像上显示的尤其明显, 这与接种量自北向南依次加重相吻合, 因为接种浓度较高的小区传播速度较快, 病情也较严重。

3 结语与讨论

刘良云等曾运用多时相的高光谱航空图像成功监测了冬小麦条锈病, 结合冬小麦的光谱差异特征, 用病害冬小麦和正常冬小麦的红波段和近红外波段的平均光谱反射率进行一定的组合来定义病害光谱指数, 并建立了病情指数的遥感反演模型^[14]。此研究虽然比较成功的反演了冬小麦在航空影像上的病情严重度。但是作者认为其忽略了冬小麦条锈病对光谱的敏感性和 PHI 影像上异常波段对反演结果的影响, 在一定程度上消除了光谱的敏感性和差异性^[17], 最终导致反演结果在某些地方出现异常。本研究针对前人的不足做了一定改进, 在去除航空影像上异常波段的基础上, 选用红波段与近红外波段的敏感波段的平均光谱反射率与病情指数建立了冬小麦条锈病的回归预测模型。最终成功地在航空影像上进行了冬小麦条锈病严重度的成功反演。

参 考 文 献

- [1] LI Gang-bo, ZENG Shi-mai, LI Zhen-qi(李广博, 曾士迈, 李振歧). The Comprehensive Management of Wheat Diseases and Pests(小麦病虫害鼠害综合治理). Beijing: Chinese Agricultural Science Press(北京: 中国农业科技出版社), 1989. 185.
- [2] JIANG Yan, HUO Zhi-guo, LI Shi-kui, et al(姜燕, 霍治国, 李世奎, 等). Journal of Natural Disasters(自然灾害学报), 2006, 15(6): 107.
- [3] XIAO Zhi-qiang, LI Zong-ming, FAN Ming, et al(肖志强, 李宗明, 樊明, 等). Chinese Journal of Agrometeorology(中国农业气象学报), 2007, 28(3): 350.
- [4] HUANG Mu-yi, WANG Ji-hua, HUANG Wen-jiang, et al(黄木易, 王纪华, 黄文江, 等). Journal of Anhui Agricultural University(安徽农业大学学报), 2004, 31(1): 119.
- [5] PU Ri-liang, GONG Peng(浦瑞良, 宫鹏). Hyperspectral Remote and Its Applications Sensing(高光谱遥感及其应用). Beijing: High-

- er Education Press(北京: 高等教育出版社), 2000.
- [6] Malthus T J, Maderia A C. Remote Sensing of Environmene, 1993, 45: 107.
- [7] Adams M L, Philpot D, Norvellet W A. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(18): 3663.
- [8] WU Di, ZHU Deng-sheng, HE Yong, et al(吴迪, 朱登胜, 何勇, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(7): 1496.
- [9] Rinehart G L, Cathoun J H, Schabbenberger O. Australian Science Turfgrass Management, 2002, 5(6): 2.
- [10] CAI Cheng-jing, WANG Hai-guang, AN Hu, et al(蔡成静, 王海光, 安虎, 等). Journal of Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forest, Natural Science Edition(西北农林科技大学学报·自然科学版), 2005, 33: 31.
- [11] WU Shu-wen, WANG Ren-chao, CHEN Xiao-bin, et al(吴曙雯, 王人潮, 陈晓斌, 等). Journal of Shanghai Jiaotong University(Agriculture Science)(上海交通大学学报·农业科学版), 2002, 20(1): 73.
- [12] HUANG Wen-jiang, HUANG Mu-yi, LIU Liang-yun(黄文江, 黄木易, 刘良云). Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2005, 21(4): 97.
- [13] YUE Yue-min, WANG Ke-lin, ZHANG Bing, et al(岳跃民, 王克林, 张兵, 等). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2008, 23(4): 471.
- [14] LIU Liang-yun, HUANG Wen-jiang, HUANG Mu-yi, et al(刘良云, 黄文江, 黄木易, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2004, 8(3): 275.
- [15] SHAO Hui, WANG Jian-yu, XUE Yong-qi(邵晖, 王建宇, 薛永祺). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 1998, 2(4): 251.
- [16] WANG Da-cheng, WANG Ji-hua, JIN Ning, et al(王大成, 王纪华, 靳宁, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2008, 24(9): 196.
- [17] ZHAO Ying-shi, et al(赵英时, 等). Principle and Method of Remote Sensing Application Analysis(遥感应用分析原理与方法). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2003. 50.

Monitoring Stripe Rust of Winter Wheat Using PHI Based on Sensitive Bands

LUO Ju-hua^{1, 2}, HUANG Wen-jiang^{1*}, GU Xiao-he¹, JI Ning¹, MA Li¹, SONG Xiao-yu¹, LI Wei-guo¹, WEI Zhao-ling²

1. National Engineering Research Center For Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

2. Resources and Environment College of Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract Forty six points representing different severity degree of stripe rust were established in winter wheat field. The canopy reflectance was collected by an ASD hand-held spectrometer at each point. Meanwhile, the diseases index was investigated. These data were used for the following analysis. Firstly, the relationships between diseases index and reflectance of bands in the range of 300-1 500 nm were analyzed. The sensitive bands were selected for stripe rust detecting. Secondly, considering the character of PHI image, red bands (620-718 nm) and near infrared bands (770-805 nm) were assigned as the best bands. Finally, the mean reflectance of red bands (620-718 nm) and near infrared bands (770-805 nm) was calculated respectively to construct the reverse model with the observed diseases indexes: $DI=19.241R_1-2.20667R_2+12.2744$. With this model, the severity degree of stripe rust of winter wheat was monitored successfully in PHI image.

Keywords Pushbroom imaging spectrometer (PHI); Sensitive bands; Stripe rust; Disease indexes

(Received Feb. 11, 2009; accepted May 16, 2009)

* Corresponding author