

文章编号: 1004-4574(2008) 06- 0115- 048

# 冬小麦条锈病害与常规胁迫的定量化识别研究 ——高光谱应用

罗菊花<sup>1, 2</sup>, 黄文江<sup>1</sup>, 韦朝领<sup>2</sup>, 黄木易<sup>1</sup>, 陈云浩<sup>3</sup>, 王纪华<sup>1</sup>

(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; 3 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

**摘要:**通过对人工田间诱发条锈病与常规的水胁迫及肥水协同胁迫的处理, 分析获取的地物光谱数据及提取的归一化植被指数 (NDVI) 和光化学植被指数 (PRI), 定性地研究了条锈病害胁迫与常规胁迫条件下冬小麦冠层光谱特征的差异和规律, 并进一步利用高光谱对冬小麦条锈病与常规胁迫进行了定量化的识别研究。选用 NDVI 和 PRI 建立二维空间坐标, 形成病害胁迫、常规的水胁迫及肥水协同胁迫植被指数的空间分布散点图, 结果表明 NDVI 值大于  $4.324 \times PRI + 0.976$  的区域即为条锈病胁迫发生区域。经验证, 上述定量化表达的分类识别精度达到了 70% 以上。

**关键词:** 高光谱; 条锈病; 肥水胁迫; 定量化

中图分类号: S435.121.4<sup>+</sup>2 文献标识码: A

## Quantitative identification of stripe rust and common stress on winter wheat: application of hyper-spectrum

LUO Ju-hua<sup>1, 2</sup>, HUANG Wen-jiang<sup>1</sup>, WEI Chao-ling<sup>2</sup>, HUANG Mu-yi<sup>1</sup>, CHEN Yun-hao<sup>3</sup>, WANG Ji-hua<sup>1</sup>

(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

3. College of resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** This paper studied the difference and law of canopy spectral characteristics of winter wheat under conditions of stripe rust stress and conventional stress by use of hyperspectral remote sensing and normalized vegetation index (NDVI),  $I_{NDVI}$ . The experiment was carried out under the condition of the stripe rust through artificial inoculation and water stress/fertilizer water stress. Furthermore, the stripe rust stress was identified quantitatively by hyperspectral remote sensing. A two-dimensional spatial coordinate was established based NDVI and photochemical reaction index (PRI),  $I_{PRI}$ , and all stress points were displayed in the spatial coordinate. Finally, the equation  $I_{NDVI} = 4.324I_{PRI} + 0.976$  was obtained, and the points of the stripe rust stress were identified when the  $I_{NDVI}$  of observation point was more than  $4.324I_{PRI} + 0.976$ . It is verified that the accuracy of the equation is more than 70%. It indicates that the equation could offer a discrimination standard for inversion of disease and a elimination of pseudo-information.

**Key words** hyper-spectrum; stripe rust; water and nitrogen stress; quantization

收稿日期: 2008-07-21 修订日期: 2008-10-16

基金项目: 国家“863”计划项目 (2006AA10Z203); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD10A01, 2007BAH12B02)

作者简介: 罗菊花 (1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事病虫害地理信息系统研究; 通讯作者: 黄文江, E-mail: yellowstar0618@com

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,其中冬小麦主要集中种植于河北、河南、山西、陕西、四川、甘肃、江苏、山东、安徽、湖北 10 个省<sup>[1]</sup>;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、发病几率高,是我国乃至世界上发生最广、危害最大的重要病害之一<sup>[2]</sup>。据统计,1950、1964、1990 和 2002 年我国小麦条锈病 4 次大流行,引起小麦产量的直接损失分别为 60 亿、30 亿、26 亿和 4 亿 kg,可见危害之大<sup>[3]</sup>。近年来,条锈病主要发生在河北、河南、山西、山东、陕西、甘肃、四川、湖北、云南、青海、新疆等省区<sup>[4]</sup>。

在冬小麦的生长发育过程中,会受到条锈病害胁迫、水胁迫以及肥水共同胁迫的影响。快速、大面积、准确的对小麦条锈病的监测和识别是小麦高产、稳产的一个重要因素之一。然而,利用宽波段的遥感技术无法定量的识别冬小麦的条锈病害与其他常规胁迫。随着高光谱遥感技术的出现,利用遥感技术来定量的识别条锈病害与常规胁迫已成为可能。高光谱遥感(hyperspectral remote sensing)是高光谱分辨的简称,属于一种无损测试技术,其成像光谱仪可以收集到上百个非常窄的光谱波段信息,它能以足够的光谱分辨率区分出那些具有诊断性光谱特征的地表物质,而这是传统宽波段及多波段遥感数据所不能达到的<sup>[5-6]</sup>。目前,国内外许多学者已对高光谱遥感技术的应用做了一些研究:如监测与评估自然灾害;估测或反演植被的生物量、叶面积指数、氮素水平、叶绿素含量等;定性研究各种环境胁迫下的作物光谱特征和单纯的病害特征<sup>[7-10]</sup>。但利用高光谱技术对冬小麦病害与常规胁迫的定量化识别方面的研究鲜有报道。本文通过人工田间诱发条锈病以及常规的水胁迫及肥水共同胁迫处理,利用地物光谱数据,提取植被指数,定性的研究了条锈病害胁迫与常规水、肥胁迫条件下的冬小麦冠层光谱特征的差异及规律;并进一步利用高光谱对冬小麦条锈病与常规胁迫进行了定量化的识别研究。为科学管理农田以及高光谱遥感定量化识别条锈病害胁迫提供了理论依据;同时,也为反演条锈病害排除伪信息提供判别标准。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于北京市昌平区小汤山国家精准农业示范研究基地。土壤有机质含量约为 1.4%, 碱解氮含量为 63.3 mg/kg, 速效钾含量为 123.4 mg/kg。试验田长 200m, 宽 80m。

### 1.2 田间试验设计

试验于 2002-2003 年开展,地被分为 4 块,其中西南端 102m × 47m 的区域安排为锈病诱发区(ck),播种品种为易感病的“98-100”。为确保病害诱发成功,播种时采用了 30 kg/hm<sup>2</sup> 的较大播量,并在机播的条幅间预留了专用接种行。旁边东南地块没有进行任何试验处理,以对照的正常生长小麦(ck)。而西北端分别为水胁迫(w0)与水肥共同胁迫(nowo)处理(水胁迫为除天然降水外,全生育期不浇灌水;水肥共同胁迫为除天然降水外,全生育期不浇灌水和 不施肥),水处理和水肥共同处理区是为了获取水、肥胁迫条件下的光谱特征。本试验田南北隔离区宽度 15m,东西隔离区宽度为 10m,其两个隔离区都不种小麦。

### 1.3 供试品种及接种

本实验选用易感条锈病的“98-100”,因为北京及北方大部分地区虽然早春低温持续时间比较长,但春旱比较严重,降雨一般集中在 3-5 月份,这段时间正好满足条锈病发病所需的低温、田间湿度大的条件,所以试验选择在 4 月初采用喷雾法进行接种,该混合小种(28 号、31 号、32 号和水 4)为中国农科院植保所提供。

### 1.4 光谱测量

显症后每隔 5~7d 测定发病区及对照区的冠层光谱,同时对测定点取样,进行生化参量的分析,冠层光谱采用美国 ASD 公司产 ASD FieldSpec Pro(350~2500 nm)型光谱仪测定。采样间隔在 350~1000 nm 范围内为 1.4 nm;在 1000~2500 nm 范围内为 2 nm。光谱分辨率在 700 nm 为 3 nm,1400~2100 nm 范围内为 10 nm。观测时将探头垂直向下,高度始终保持离地面 1.3m,探头为 25 度视场角,地面视场范围直径为 50 cm。每个小区测量 20 次,每次测量前后都用标准的参考板进行校正,通过反射率值和 DN 灰度值  $G_{DN}$  转换公式

$$R_{\text{目标反射率}} = \frac{G_{\text{DN 目标}}}{G_{\text{DN 参考板}}} \times R_{\text{参考板反射率}}$$

计算出目标物的反射率值,将 20 次的反射率值平均得到该小区冠层反射率值。

## 2 数据处理与分析

### 2.1 不同胁迫条件下的冬小麦冠层光谱特征分析

胁迫是指一种显著偏离植物最适应生活条件的环境条件, 这种环境条件引发植物在机体的所有功能性水平上产生变化和反应<sup>[11]</sup>。当作物遭受干旱、病害等逆境胁迫和养分缺乏时, 其光谱特性常发生变化, 利用高光谱研究冬小麦在病害及常规胁迫条件下的冠层光谱特征对于作物的生长发育有重要意义<sup>[12]</sup>。本文将病害胁迫、水胁迫、肥水共同胁迫以及正常处理下的冠层光谱特征作了对比分析。

根据田间小麦的生育期调查, 4月29日为挑旗期, 5月8日为杨花-抽穗期, 5月16日为灌浆期, 5月22日为浆中期, 5月28日为乳熟期。

从挑旗期开始到乳熟期, 是决定冬小麦的穗数、穗粒数和粒重的主要决定时期, 此阶段称作生殖生长阶段<sup>[13]</sup>。这一阶段也是病害胁迫最容易发生且对小麦影响最大的时期, 因此, 本文选用了这个阶段为本研究的重点时期。

随着生育期的推进, 各处理区的冠层光谱在近红外平台处的光谱反射率值逐渐减少, 可见光处的光谱反射率逐渐上升, 但由于各处理的冠层叶面积指数、叶绿素含量变化率不一致, 从而导致不同的冠层光谱变化趋势一致, 但光谱反射率值的变化不一致。

为了方便比较不同胁迫下的冬小麦冠层光谱特征并定性的分析病害与常规胁迫对冬小麦的不同影响, 本文通过归一化植被指数 (NDVI)  $I_{NDVI} = (R_{830} - R_{675}) / (R_{830} + R_{675})$ , 分别计算出冬小麦生殖生长阶段的各生育期的  $I_{NDVI}$  值, 然后做二维散点分析, 最终得出条锈病胁迫与水胁迫、水肥共同胁迫和正常处理下的冬小麦的  $I_{NDVI}$  值随生育期的变化趋势比较图 (图 1)。

由图 1 可以得出, 在生殖生长阶段的各生育期内, 病害胁迫与常规胁迫以及正常处理下的冬小麦的  $I_{NDVI}$  值变化趋势各异且具有一定的规律, 其大致变化规律是:  $S_{ck} > S_{w0} > S_{ck} > S_{nw0}$ 。归一化植被指数  $I_{NDVI}$  是植物生长状况和植被覆盖度的最佳指示因子, 在  $0 < I_{NDVI} < 1$  的条件下,  $I_{NDVI}$  与植被覆盖度呈线性相关, 即随着植被覆盖度的增大而增大<sup>[14]</sup>, 而植被覆盖度又会随着胁迫程度的增强而减小。因此, 对图 1 进行分析后, 由本实验可以得出以下两个结论:

1) 在冬小麦的生殖生长阶段, 不同胁迫条件对冬小麦的限制程度有差异, 其中水肥共同胁迫是冬小麦进行生殖生长的最大限制因子, 条锈病次之, 水胁迫对冬小麦的生殖生长限制程度相对较小。

2) 对本实验而言, 各处理区中, 对于同一种胁迫的不同生育期, 水肥胁迫在生殖生长阶段的各生育期内都是主要的限制因素, 条锈病胁迫在杨花-抽穗期之后对冬小麦生长的影响表现明显, 而水胁迫在灌浆中期之后对冬小麦生长的限制程度最大。此研究可以为农田管理提供科学指导, 并为冬小麦的高产优质提供理论依据。

另外, 实验还对各处理区的冠层光谱特征进行了分析, 发现条锈病害胁迫与常规胁迫下的冬小麦冠层光谱的变化趋势很相似, 但光谱反射率变化率值不一样。所以, 仍是有规律可循的<sup>[15]</sup>。本研究接下来将借助高光谱对冬小麦条锈病胁迫进行定量化的识别研究。

### 2.2 利用高光谱对冬小麦的不同胁迫的定量化识别

归一化植被指数是植物生长状况和植被覆盖度的最佳指示因子; 光化学指数 (PRI)  $I_{PRI}$  可以作为光能利用率的指示因子。为了能够定量的识别条锈病害与常规胁迫, 本文试图根据冠层光谱数据做出归一化植被指数  $I_{NDVI} = (R_{830} - R_{675}) / (R_{830} + R_{675})$  和光化学指数  $I_{PRI} = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ <sup>[16]</sup>。并利用  $I_{NDVI}$  与  $I_{PRI}$

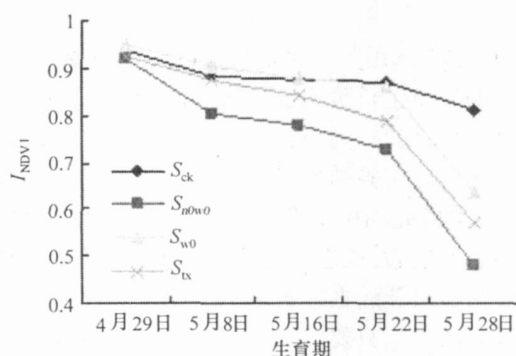


图 1 各处理下  $I_{NDVI}$  值随生育期的变化

Fig 1 Change of  $I_{NDVI}$  with growth period for different treatment

为二维空间坐标,做出了水胁迫、水肥共同胁迫及条锈病胁迫的空间分布散点图(图 2),由图 2 中的冬小麦关键生育期的二维散点图可以看出,条锈病胁迫点大部分位于水胁迫点、水肥共同胁迫点及其正常处理点以上的点位,所以可以通过找到适合的方程作为分界边际对条锈病进行量化的识别。本文首先进行目视绘制理想直线,然后选取理想直线附近的胁迫点拟合,最终得出以  $I_{NDVI}$  与  $I_{PRI}$  为坐标轴的直线方程:  $I_{NDVI} = 4.324 \times I_{PRI} + 0.976$  并认为观测点的  $I_{NDVI}$  只要大于  $4.324 \times I_{PRI} + 0.976$  即为条锈病胁迫点,经检验,此量化表达的分类识别精度达到了 70%。因此,此方程可以用来较好的识别冬小麦条锈病胁迫。

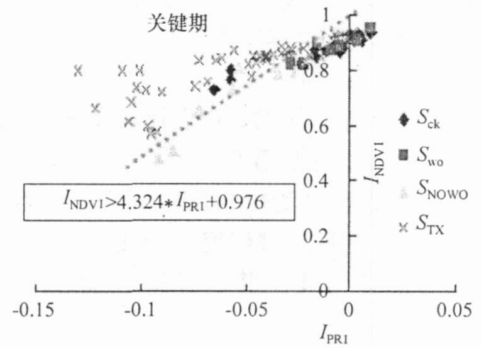


图 2 利用归一化植被指数与光化学指数对冬小麦不同胁迫灾害的量化识别

Fig 2 Quantitative identification of different stress on winter wheat using  $I_{NDVI}$  and  $I_{PRI}$

### 3 结语与讨论

(1) 本文选用归一化植被指数对冬小麦的条锈病胁迫与常规胁迫的差异做了比较分析。研究表明,在冬小麦的生殖生长阶段,不同胁迫对冬小麦生长的限制程度不同,其中水肥胁迫是冬小麦生殖生长阶段的关键限制因子;同时,同一胁迫对冬小麦在不同生育期的影响程度也不同,条锈病胁迫在杨花-抽穗期之后表现较明显。此实验结果表明,杨花-抽穗期对水肥的要求比较高,同时也是条锈病防治的最佳时期。

(2) 本研究利用高光谱对冬小麦条锈病与常规胁迫做出了量化的识别,弥补了利用宽波段遥感技术难以实现的缺陷,推进了遥感技术在农业上的应用逐渐由定性走向定量,促进了高光谱遥感技术在量化识别各种胁迫以及病虫害监测中的应用。文中利用方程  $I_{NDVI} = 4.324I_{PRI} + 0.976$  进行定量地识别条锈病,并认为观测点的  $I_{NDVI}$  只要大于  $4.324I_{PRI} + 0.976$  即为条锈病胁迫点,方程的成功建立为反演病害剔除伪信息提供了很好的判别标准。其中,选用  $I_{NDVI}$  与  $I_{PRI}$  作为空间二维坐标来试图进行条锈病与常规胁迫的识别分析是本文的创新点。本方程是在冬小麦的关键生育期——灌浆期建立的,具有一定的实用性,但也存在一定的局限性,因此,该方程的外延性有待进一步研究。

### 参考文献:

[ 1 ] 王海光, 马占鸿, 蔡成静, 等. 高光谱在小麦条锈病严重度分级识别中的应用 [ J ]. 光谱学与光谱分析学报, 2007, 27(9): 1911- 1814

[ 2 ] 李广博, 曾士迈, 李振岐. 小麦病虫害鼠害综合治理 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1989: 185- 186.

[ 3 ] 姜燕, 霍治国, 李世奎, 等. 全国条锈病长期预报模型比较研究 [ J ]. 自然灾害学报, 2006 15(6): 107- 113

[ 4 ] 黄木易, 王记华, 黄文江, 等. 高光谱遥感监测冬小麦条锈病的研究进展 [ J ]. 安徽农业学报, 2004, 31(1): 119- 122

[ 5 ] 张杰林, 曹代勇. 高光谱遥感技术在煤矿区环境监测中的应用 [ J ]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 157- 162.

[ 6 ] 黄木易, 王记华, 黄文江, 等. 冬小麦条锈病的光谱特征及遥感监测 [ J ]. 农业工程报, 2003 19(6): 152- 156

[ 7 ] 闫峰, 李茂松, 王艳姣, 等. 遥感技术在农业灾害监测中的应用 [ J ]. 自然灾害学报, 2006 15(6): 131- 137

[ 8 ] Shibayama M, Munakata K A. Spectroradiometer for field use. V. Radiometric prediction of grain yields for ripening rice plants [ J ]. Japan journal of crop science, 1986 55(1): 53- 59.

[ 9 ] Huang W J Huang M Y, Liu L Y. Inversion of the severity of winter wheat yellow rust using proper hyperspectral index [ J ]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 2005 21(4): 97- 103

[ 10 ] 蒋金豹, 陈云浩, 黄文江. 病害胁迫下冬小麦冠层叶片色素含量高光谱遥感估测研究 [ J ]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(7): 1362- 1366

[ 11 ] 陈贵, 周毅, 郭世伟, 等. 水分胁迫和不同形态氮素营养对苗期水稻光合特性的影响 [ J ]. 南京大学学报, 2007, 30(4): 78- 81

[ 12 ] 冯先伟, 陈曦, 包安明, 等. 水分胁迫条件下棉花生理变化及其高光谱响应分析 [ J ]. 干旱区地理, 2004 27(2): 250- 255.

[ 13 ] 于振文, 等. 作物栽培学各论 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2003 27- 28

[ 14 ] Kenneth M. Hyperspectral mixture modeling for quantifying sparse vegetation cover in arid environments [ J ]. Remote Sensing of Environment 2000 72: 360- 374

[ 15 ] 郑威, 陈述彭. 资源遥感纲要 [ M ]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 393- 396

[ 16 ] 梅安新, 彭望禄, 秦其明, 等. 遥感导论 [ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2001