

用高光谱微分指数识别冬小麦条锈病害研究

李京^{1,2}, 陈云浩^{1,2}, 蒋金豹¹, 蔡洪春¹

1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875

2. 国家遥感中心全球变化与可持续发展研究部, 北京 100875

[摘要] 人工田间诱发不同等级小麦条锈病, 在不同生育期测定染病冬小麦冠层光谱和相应的病情指数。对小麦冠层一阶微分光谱进行分析, 结果表明随病情指数增大, 一阶微分光谱在绿边(500~560 nm)内逐渐增大, 在红边(680~760 nm)内逐渐降低。红边内一阶微分总和(SDr)与绿边内一阶微分总和(SDg)的比值, 能够在症状出现前 12 d 识别出健康作物与病害作物。因此, 微分植被指数 SDr/SDg 能够较为理想地识别作物病害信息。

[关键词] 高光谱; 条锈病; 病情指数; 冬小麦; 病害识别

[中图分类号] 0657.3, S127

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0023-04

Using Hyperspectral Derivative Index to Identify Winter Wheat Stripe Rust Disease

LI Jing^{1,2}, CHEN Yunhao^{1,2}, JIANG Jinbao¹, CAI Hongchun¹

1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. Department of Globe Change and Sustainable Development, National Remote Sensing Center of China, Beijing 100875, China

Abstract: The canopy reflectance of winter wheat infected with stripe rust of different severities through artificial inoculation and the disease index(DI) of the wheat corresponding to the spectra were measured in the field. The results shows that the 1st derivative values increase in the green edge (500~560 nm) and decrease in the red edge (680~760 nm) with DI increasing. The ratio of the sum of derivative within the red edge (SDr) and that within the green edge (SDg) has a good correlation with the healthy or diseased crops 12 days before symptoms appearing. Therefore, the derivative vegetation index SDr/SDg can be used to identify crops disease information effectively.

Key Words: hyperspectral; stripe rust; Disease Index (DI); winter wheat; disease identify

CLC Numbers: 0657.3, S127

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0023-04

0 引言

农作物在生长过程中经常会遭受病害侵袭, 造成作物减产。小麦条锈病就是我国发生最广、危害最大的重要病害之一^[1]。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 14 亿 kg, 可见危害之大^[2]。

传统的条锈病病情监测主要通过人工田间调查的方法进行, 费时、费力, 效率低下。因此, 寻找一种具有简便、快速、自动化程度高、非破坏性、大面积监测作物病害信息的方法, 在现代农业实施中尤为重要。随着高光谱遥感技术的出现, 利用遥感技术监测作物病害成为可能。Carter 等^[3]用多种胁迫方法对不同的物种进行

收稿日期: 2007-02-09

基金项目: 国防科技工业民用专项科研技术项目(JZ20050001-06), 三维信息获取与应用教育部重点实验室项目(2005RS-3), 遥感科学国家重点实验室开放基金项目

作者简介: 李京, 男, 北京海淀区新街口外大街 19 号北京师范大学资源学院, 教授, 主要从事遥感灾害监测研究; E-mail: lijing@ires.cn
陈云浩(通讯作者), 男, 北京海淀区新街口外大街 19 号北京师范大学资源学院, 副教授, 主要从事环境遥感监测及高光谱遥感研究; E-mail: cyh@ires.cn

处理,发现可见光区域反射率持续增大,并且在肉眼观察出症状之前 16 d 就可探测到。

Rinehart 等^[4]利用可见/近红外分光镜对葡萄剪股颖的褐斑病和一年生牧草的硬币圆状斑病进行了研究,发现不同病情的冠层光谱反射率一阶导数在 700 nm, 1400 nm 和 1930 nm 处有着明显的特征;Smith 等^[5]研究表明,可用 725 nm 和 702 nm 处的一阶微分比值监测受泄漏气体胁迫的植被生长状况,从而可以利用高光谱遥感找到管道气体泄漏点。现很多相关研究主要集中在红光和近红外区域,主要因为 690 nm 和 750 nm 处于红光强吸收区和近红外强反射区的交界处,光谱变化比较剧烈,特征明显且敏感。本研究在实测高光谱数据的基础上,充分利用红光区信息,再结合其他波段的信息,构造相应的高光谱微分指数,以便更好地识别小麦的病害信息。

1 材料及方法

1.1 材料

试验于 2005 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,土壤有机质含量为 1.4%,碱解氮含量为 63.3 mg/kg,速效钾含量为 123.4 mg/kg。本试验田块为长 100 m,宽 50 m。

供试品种为京冬 8 号,设 5 个梯度处理,2 个重复,在返青期进行田间匀苗,保证各处理在苗期的叶面积指数均匀。条锈病接种方法:2005 年 4 月 18 日 17 时采取喷雾法接种条锈病菌,21 d 后,诱发接种区域冬小麦开始出现条锈病症状。

1.2 数据测量

1) 冠层光谱测量

光谱测量采用 ASD FieldSpec Pro 光谱仪,测量时间为北京时间 10:30–14:30。观测时探头垂直向下,高度始终离地面 1.3 m,探头视场角 25°,地面视场范围直径为 50 cm,每小区测量 20 次,取平均值作为该小区的光谱反射值,各小区测量前后立即进行参考板校正。

2) 获取病情指数

小麦病情严重程度用病情指数表示。其获取方法为:每块小区选取对称的 5 点,每点约 1 m² 面积,每 m² 选取 20 株小麦,分别调查其发病情况,严重度分为 9 个梯度,即 0%、1%、10%、20%、30%、45%、60%、80%和 100%。由调查人员计数各个梯度发病小麦叶数目,由记录人员分别记录各严重度的小麦叶片数,然后回到室内,根据记录结果利用公式(1)计算出病情指数(Disease Index, DI)

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

式中 x 为各梯度的级值, n 为最高梯度值 9, f 为各梯度的叶片数^[6]。

1.3 数据处理方法

获取小麦冠层的反射光谱数据,对原始光谱曲线进行一阶微分处理,一阶微分技术可以消除或减弱部分背景、噪声光谱的影响。一阶微分光谱的计算方法为^[7]

$$\rho'(\lambda_i) = [\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})] / 2\Delta\lambda \quad (2)$$

式中, λ_i 为各波段波长, $\rho'(\lambda_i)$ 为一阶微分光谱, $\Delta\lambda$ 为波长 λ_{i+1} 到 λ_{i-1} 的间隔。

2 数据处理与分析

2.1 病害小麦冠层光谱特征

从图 1 可见,小麦冠层光谱反射率随病情指数的增大在可见光范围内逐渐增大,在近红外区域逐渐降低,这是因为冠层光谱反射率的大小在可见光范围内由叶绿素浓度决定,在可见光范围内反射率增大说明色素吸收降低,即色素浓度降低;在近红外区域植被的反射率主要受叶子内部结构、生物量、蛋白质、纤维素等影响^[8-9],发病小麦在近红外区域反射率降低,说明植被的内部结构已遭到破坏。

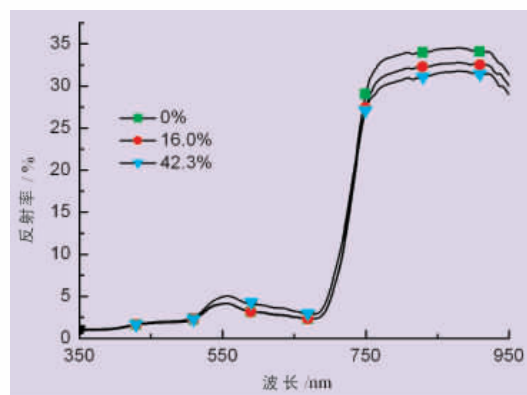


图 1 灌浆期不同 DI 的小麦冠层反射率

Fig. 1 Reflectance of wheat canopy with different DI in milking Period

2.2 一阶微分光谱特征

从图 2 可见,在同一生育期内,随病情指数的增大,在绿边内一阶微分值逐渐增大而在红边内却减小,并且在红边内有明显多峰现象,其中主要有 2 个,1 个在 700 nm 附近,主要由植物叶片的叶绿素密度决定,另 1 个在 725 nm 处,主要是由细胞壁反射决定的^[5]。

从图 3 可见,在不同生育期,小麦病情指数越来越大,其冠层一阶微分在绿边内逐渐增大、在红边内逐渐减小,且有多峰现象,但其曲线逐渐趋于平坦。小麦接种病菌后 9 d,人工观察小麦无病症特征出现,但其一阶微分光谱在绿边和红边出现明显变化,见图 4。因此,可以利用绿边(500~560 nm)和红边(680~760 nm)的一阶微分光谱组建植被指数,监测作物病害信息。

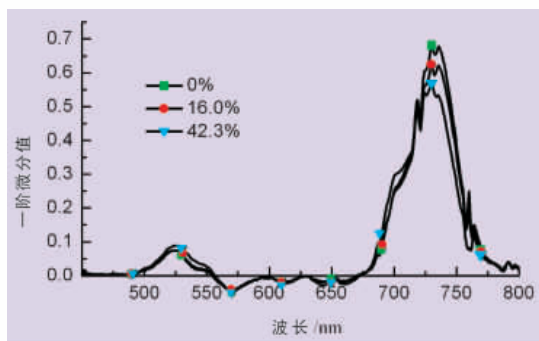


图 2 灌浆期不同 DI 的小麦冠层一阶微分值
Fig. 2 Value of 1st derivative of wheat canopy with different DI in milking Period

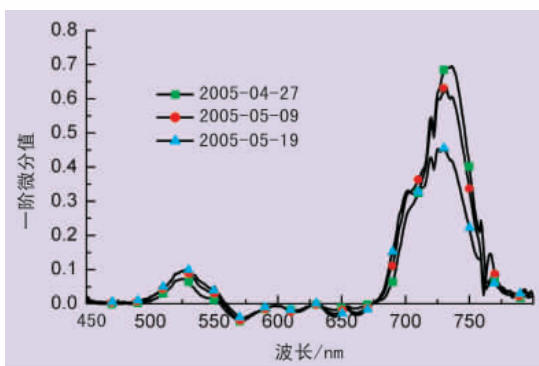


图 3 在不同生育期的一阶微分曲线
Fig. 3 1st derivative curve in different growth stages

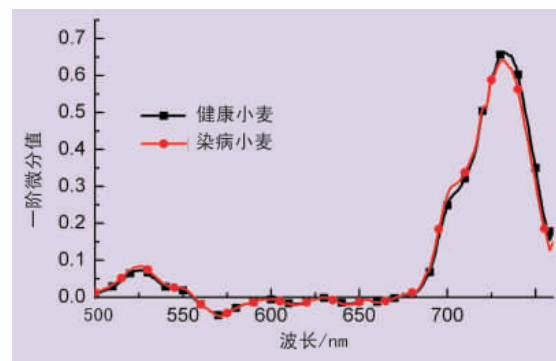


图 4 接种 9 d 后健康与染病小麦一阶微分曲线图
Fig. 4 1st derivative curve of healthy and infected wheat 9 days after inoculation

由于微分光谱能够较好地消除或减弱背景的影响, Smith^[5]等研究表明当植被覆盖度达到 20% 以上时, 土壤背景对一阶微分光谱的影响比较小。一阶微分光谱在红边内具有多个极大值(图 5), 且随胁迫程度和生育期的改变而变化, 不够稳定, 无法用不同生育期或不同严重度小麦同一波段处的微分值监测病害小麦的光谱特征。因此, 根据小麦染病后的光谱特征, 利用红边内一阶微分的总和 (SDr) 与绿边内一阶微分的总和 (SDg) 的比值作为植被指数识别染病小麦, 取得较好的

效果, 见图 6。自 4 月 18 日接种病菌后, 尽管 4 月 27 日肉眼无法观察出症状, 但 SDr/SDg 已有明显差异, 能够很好区分健康作物与病害作物, 随着病情加重, 健康作物与病害作物的 SDr/SDg 差异越来越大, 5 月 30 日达到最大, 随后减小是因为小麦逐渐趋于成熟, 其活力逐渐下降, 健康作物和病害作物的生命特征趋于一致。

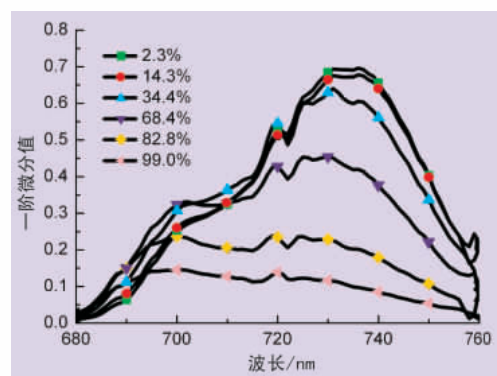


图 5 红边内一阶微分随 DI 的变化
Fig. 5 Changes of 1st derivative of infected wheat with DI in red region

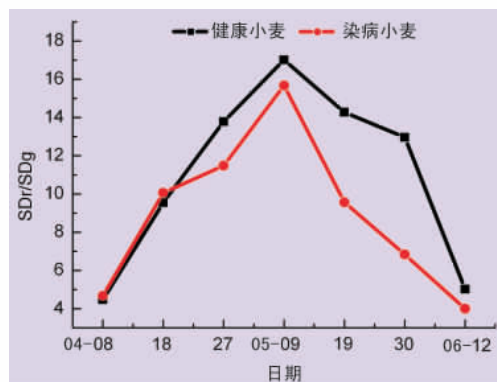


图 6 健康与染病小麦 SDr/SDg 随时间的变化
Fig. 6 Temporal changes in ratio of SDr and SDg of healthy and infected wheat

3 探讨与结论

条锈病小麦的冠层光谱反射率随病情加重, 在绿边内逐渐增大, 而在红边内逐渐减小; 其一阶微分光谱与冠层光谱具有相同的特征, 一阶微分在红边内具有双峰, 甚至多峰现象。

在小麦接种病菌后 9 d, 当肉眼无法观察出病症时, 健康小麦与病害小麦的一阶微分光谱在绿边内和红边内具有显著差异, 说明绿边与红边是识别小麦条锈病害的敏感区域。

由于单波段信息易受外界因素的影响, 不够稳定, 本文特选择绿边 (500~560 nm) 一阶微分之和与红边 (680~760 nm) 一阶微分之和构建植被指数。在整个生

育期内, SD_r/SD_g 完全能够区分健康作物与病害作物, 且能够在肉眼观察到症状前 12 d 识别出病害信息。因此, 可以利用高光谱植被指数 SD_r/SD_g 监测和识别作物病害信息。

参考文献 (References)

- [1] 李光博, 曾士迈, 李振歧. 小麦病虫害鼠害综合治理 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1989: 185-186.
LI Guangbo, ZENG Shimai, LI Zhenqi. Integrated management of wheat pests [M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1989: 185-186.
- [2] 万安民. 小麦条锈病的发生状况和研究现状 [J]. 世界农业, 2000 (5): 39-40.
WAN Anming. The occurring status and studying actuality of wheat stripe rust [J]. World Agriculture, 2000(5): 39-40.
- [3] CARTER G A, MILLER R L. Early detection of plant stress by digital imaging within narrow stress-sensitive wavebands [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 50: 295-302.
- [4] RINEHART G L, CATHOUN J H, SCHABENBERGER O. Remote sensing of stripe patch and dillar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass turf using visible and near-infrared spectroscopy [R]. Australian Turfgrass Management, 2002.
- [5] SMITH K L, STEVEN M D, COLLS J J. Use of hyperspectral derivative ratios in the red-region to identify plant stress responses to gas leaks [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 92: 207-217.
- [6] HUANG W J, HUANG M Y, LIU L Y, *et al.* Inversion of the severity of winter wheat yellow rust using proper hyperspectral index [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 97-103.
- [7] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 52-53.
PU Ruiliang, GONG Peng. Hyperspectral remote sensing and its applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 52-53.
- [8] GAUSMAN H W, ALLEN W A, CARDENAS R, *et al.* Relation of light reflectance to histological and physical evaluation of cotton leaf maturity [J]. Appl Optics, 1970, 9: 545-552.
- [9] SIMS D A, GAMON J A. Relationship between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structure and developmental stages [J]. Remote Sens Environ, 2002, 81: 337-354.

(责任编辑 王芷)

·科技智力游戏·

轻松一刻——九宫填数

该游戏的填数规则为: ① 在 9×9 的大九宫格内, 出题者已给出若干数字, 其他宫位的数字空留, 需要读者根据逻辑推理填写剩下空格里的数字; ② 填满数字的大九宫格里, 数字之间的关系必须满足: 各行与各列都有 1 到 9 的数字, 每个实线所标 3×3 的小九宫格里也有 1 到 9 的数字, 且每个数字在各行、列及各个小九宫格里只能出现一次, 即既不能重复也不能缺少。答案请见下期。

九宫1 难度系数 ◆◆◆◆◇

	6							3
		3	9					8
						9	6	
			6	4	7			9
6				3	5	7	1	
	8		1	9	2			3
	1		2			8		7
		7	4					
	5			7	8			

九宫2 难度系数 ◆◆◆◆◇

	2			5		8		
			7	8	4		2	
7	6		9					
2			4			3		
			3	9		4	7	
			8					5
	1					5		
6		4			2		9	

上期答案

九宫1 难度系数 ◆◆◆◆◇

8	1	2	3	5	7	6	9	4
7	5	3	6	9	4	1	8	2
9	6	4	2	8	1	3	5	7
1	9	6	7	4	8	5	2	3
4	3	8	5	2	9	7	1	6
5	2	7	1	6	3	8	4	9
6	7	9	4	1	5	2	3	8
2	8	5	9	3	6	4	7	1
3	4	1	8	7	2	9	6	5

九宫2 难度系数 ◆◆◆◆◇

6	4	9	3	2	7	5	8	1
5	3	8	4	1	9	6	2	7
7	1	2	6	8	5	4	9	3
9	8	5	1	4	2	3	7	6
3	7	1	8	9	6	2	5	4
4	2	6	5	7	3	9	1	8
8	5	7	9	3	4	1	6	2
1	9	3	2	6	8	7	4	5
2	6	4	7	5	1	8	3	9

(供稿 李建才 责任编辑 赵佳)