

小麦条锈病单叶片光谱和叶绿素含量关系分析

王爽¹ 马占鸿^{1*} 王学进² 何志巍² 王海光¹

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 中国农业大学 理学院, 北京 100193)

摘要 为了利用遥感监测小麦条锈病,研究条锈病侵染后小麦单叶光谱和叶绿素含量变化,人工接种条锈病菌在小麦幼苗上,测得接种 1~24 d 的光谱和叶绿素含量,将其叶绿素含量与光谱及其一阶微分做相关性分析,利用光谱微分参数进行方程的模拟。接种 1~12 d,感染条锈病的叶片叶绿素含量与原始光谱及其一阶微分光谱在可见光波段呈负相关关系,接种 13~24 d,两者在可见光波段呈正相关的关系。接种后 1~12 d 的方程模拟中以 SDb 为变量的模型为最佳模型,接种 13~24 d 的方程模拟中以 SDr/SDg 为变量的模型为最佳模型,说明可利用光谱参数进行条锈病侵染小麦的早期监测。

关键词 小麦条锈病; 光谱; 叶绿素

中图分类号 S 435.121.4⁺2

文章编号 1007-4333(2012)01-0060-05

文献标志码 A

The correlation analysis between spectrum and leaf chlorophyll content in wheat stripe rust infection

WANG Shuang¹, MA Zhan-hong^{1*}, WANG Xue-jin², HE Zhi-wei², WANG Hai-guang¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to monitor the wheat stripe rust infection with remote sensing, the relationship between the spectrum of single leaf and leaf chlorophyll content was studied. The wheat stripe rust pathogen was inoculated into seedlings, and then measured the spectrum and chlorophyll content 1-24 days following inoculation. The correlation between chlorophyll content and spectrum and the first-order differential was analyzed. The equation simulation was made with the spectral parameters. Leaf chlorophyll content was negatively related to either original spectrum or the first-order differential in the visible light spectrum 1-12 days after inoculating wheat stripe rust. However, the relationships became positive 13-24 days after the inoculation. The model was optimal with variable SDb in the simulation equation of 1-12 days after inoculation, but with SDr/SDg for the model of 13-24 days after inoculating wheat stripe rust.

Key words wheat stripe rust; spectrum; leaf chlorophyll

小麦条锈病是由条形柄锈菌小麦专化型 (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 引起的, 我国小麦生产上引起损失最大, 危及范围最广的一种病害^[1]。

光合作用过程中起吸收光能的植被色素有叶绿素(叶绿素 a 和叶绿素 b) 与类胡萝卜素(胡萝卜素和叶黄素), 其中叶绿素是主要吸收光能的主要物

质, 直接影响植被光合作用的光能利用, 由于植被和叶子反射光谱在可见光范围主要受植被色素(叶绿素和类胡萝卜素) 的影响, 在近红外区域则主要受叶子内部结构(生物量、蛋白质和纤维素) 等影响, 因此可以用植被冠层和叶片的反射光谱来估算其生化参数, 特别是色素含量^[2]。红边(Red Edge) 是由于植被在红光波段叶绿素强烈的吸收与近红外波段在叶

收稿日期: 2011-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071642); 公益性行业(农业) 科研专项经费项目(200903035, 200903004)

第一作者: 王爽, 博士研究生, E-mail: wangshuang9981@126.com

通讯作者: 马占鸿, 教授, 主要从事病害流行学和宏观植物病理学, E-mail: mazh@cau.edu.cn

片内部的多次散射而形成的强反射造成的,范围一般在 680~780 nm。红边区域内蕴含着丰富的植被健康状况信息是植被高光谱遥感中的研究热点^[3]。蒋金豹等^[4]研究了高光谱遥感估测病害作物冠层叶片的色素含量是可行的,且估测精度较高。江道辉等^[5]建立了受条锈病影响的小麦叶绿素含量与其高光谱的关系模型,模型有较好的精度。赵祥等^[6]做了基于高光谱数据的小麦叶绿素含量反演,都取得了比较理想的结果 Malthus 等^[7]用地物光谱仪研究大豆和蚕豆斑点葡萄孢子感染后的反射光谱,发现其一阶反射率要高,可用来监测病虫害的感染发生情况。Moshou 等^[8]研究了冬小麦条锈病发展初期健康植株与发病植株反射光谱差异,认为光谱方法有望成为早期病害识别花费少又有效的方法。前人的大多数研究都是在小麦条锈病显症后测得小麦叶绿素含量和光谱反射率之间的关系。

关于小麦条锈病的潜育期测定叶绿素和光谱的研究尚未见报道,本研究的内容是小麦单叶光谱对条锈病侵染后的叶片叶绿素含量进行监测,不通过测定光谱与叶绿素含量之间的关系从而建立模型,为条锈病的早期监测,早发现早期进行防治,减少产量的损失起到指导作用。

1 材料与方法

1.1 材料

选用高度感病品种铭贤 169 的盆栽幼苗,条锈病菌种为小种 33 号(CYR33)。将小麦品种用水浸泡 6 h 左右,将水沥出,放上保湿的纱布进行催芽,24 h 后选发芽良好的种子种植,每小盆种植 20 株左右,每 3 盆为一个重复,3 次重复。当麦苗第一片

叶完全展开时进行接种,为了光谱测定的一致性,采取分批接种的方法,连续接种 12 批。采用喷雾方法进行接种,接种浓度为 0.2 mg/mL,设未接种对照。各次接种的苗均在培养箱中保湿 24 h,再放入人工气候室中培养。

1.2 方法

1.2.1 叶绿素含量的测定

当 12 批接种全部完成后第 2 天,开始取样进行叶绿素含量的测定,得到接种后 1~12 d 的叶绿素含量,按照此方法,将接种后从第 13 天到第 24 天的小麦进行叶绿素含量的测定。叶绿素含量采取丙酮与乙醇等比例混合液暗处提取,用 UNmini-1240 紫外可见分光光度计在 663 nm,645 nm 测定 OD 值,利用公式计算出叶绿素含量^[9]。

1.2.2 单叶光谱的测定

应用仪器 TU-1800PC 进行光谱的测定,测定范围是 400~800 nm 的光谱。将接种后从第 1 天到第 24 天的小麦进行单叶光谱的测定。分为 2 次进行测定,接种后 1~12 d(产孢前)和 13~24 d(产生孢子后直至严重度为 100%)。

1.2.3 光谱参数的选定

将小麦单叶的光谱数据进行一阶微分处理,一阶微分技术能够消除或者减弱背景,噪音因素的影响,一阶微分的计算方法如下:

$$\rho'(\lambda_i) = [\rho(\lambda_i + 1) - \rho(\lambda_i - 1)] / 2\Delta\lambda$$

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 $\lambda_i + 1$ 到 $\lambda_i - 1$ 的间隔。表 1 中的高光谱微分指数是在前人^[10-14]的基础上结合小麦病害敏感波段构建的。

表 1 小麦叶片的光谱一阶微分指数

Table 1 Summary of the first derivatives index

微分参数	定义
SDb	蓝边波长(430~500 nm)内一阶微分波段值的总和
SDg	绿边波长(505~560 nm)内一阶微分波段值的总和
SDr	红边波长(680~760 nm)内一阶微分波段值的总和
SDr/SDb	红边波长内一阶微分波段值的总和(SDr)与蓝边波长内一阶微分波段值的总和(SDb)的比值
SDr/SDg	红边波长内一阶微分波段值的总和(SDr)与蓝边波长内一阶微分波段值的总和(SDg)的比值
(SDr-SDb)/(SDr+SDb)	红边内一阶微分波段值的总和(SDr)与蓝边内一阶微分波段值的总和(SDb)的归一化值
(SDr-SDg)/(SDr+SDg)	红边内一阶微分波段值的总和(SDr)与蓝边内一阶微分波段值的总和(SDg)的归一化值

2 结果与分析

2.1 条锈病侵染小麦叶片的叶绿素含量变化

当条锈病侵染小麦叶片产生孢子之前,叶绿素含量有升高的趋势,但较不接种的对照低,如图1。

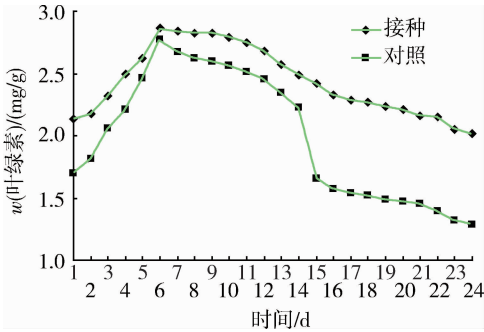


图1 接种1~24 d的小麦的叶绿素含量变化
Fig. 1 Leaf chlorophyll content of wheat after inoculated and ck 1~24

这可能由于小麦叶片维持原来的生长过程,随着植株的生长叶绿素含量升高,但受到条锈病的影响,叶绿素含量较对照低。当接种13 d的小麦叶片已经开始产生孢子,这时叶绿素含量逐渐降低,第15天时,叶绿素含量的下降趋势明显降低,由于这时孢子已经大量产生。总之,小麦受到条锈菌的侵染后对叶片的叶绿素含量的影响很大。

2.2 条锈病侵染叶片的光谱特征

当条锈病侵染叶片以后在光谱反射率上表现如图2所示的变化,叶片在可见光区(400~700 nm)的反射率主要是由叶绿素等色素的吸收引起的,630~680 nm波段是叶绿素强吸收带,其中叶绿素在675 nm波长处的吸收峰最为明显,图3随着条锈病的侵入天数,在675 nm附近的光谱的反射率逐渐降低。图3是接种后13~24 d的光谱反射率变化情况,明显可见随着条锈病病情的发展,在550和675 nm附近有强的吸收带。

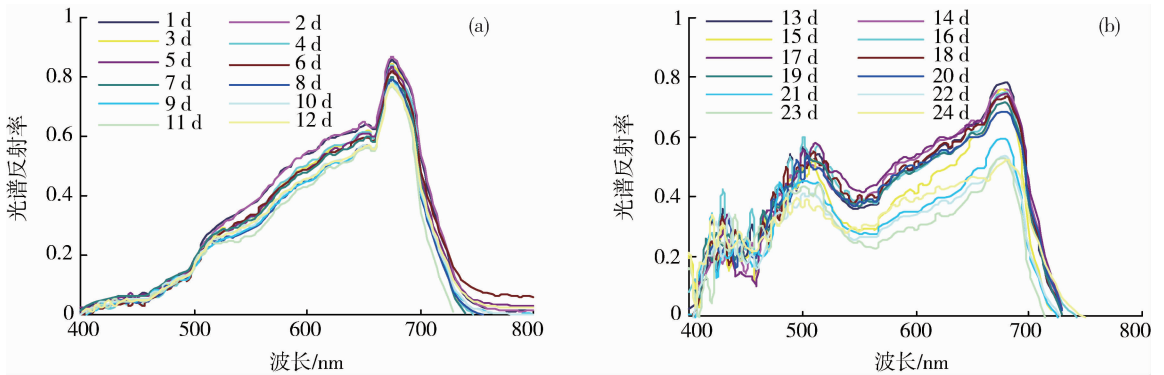
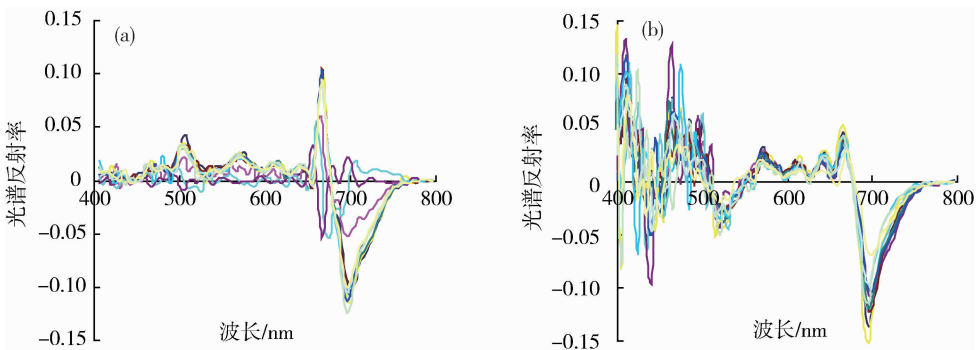


图2 接种1~12和13~24 d的小麦叶片的光谱反射率曲线

Fig. 2 1~12 and 13~24 d of wheat leaf spectrum reflectance curve after inoculation



(a) 图例同图2(a);(b) 图例同图2(b)

图3 接种后1~12和13~24 d的小麦叶片一阶微分光谱曲线

Fig. 3 1~12 and 13~24 d of wheat leaf the first-order differential curve after inoculated

2.3 一阶微分的光谱特征

将光谱采用一阶微分处理后得出如图 3 曲线图,一阶微分处理后,可以更好的滤除各种因素对样本光谱的影响,提高分析的精度。

2.4 光谱与叶绿素含量的相关性分析

图 4 是将光谱反射率及其一阶微分与叶绿素含量做相关性分析,由图 4(a)可以看出,在接种 1~12

d 的小麦的光谱反射率及一阶微分的光谱反射率与叶绿素含量在可见光波段呈负相关关系。由图 4 (b)可见,在接种 13~24 d 的小麦的光谱反射率及其一阶微分的反射率与叶绿素含量在可见光波段呈正相关关系,在近红外光区呈负相关关系。因此,可见光和近红外是叶绿素含量反射和吸收的敏感区域。

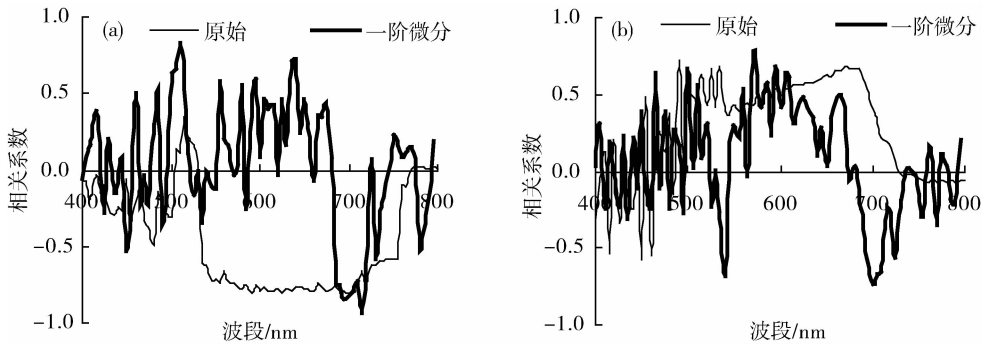


图 4 接种 1~12 和 13~24 d 叶片叶绿素含量和光谱反射率及一阶微分的关系曲线

Fig. 4 Correlation curve between spectrum reflectance, first derivative and leaf chlorophyll content of 1-12 and 13-24 d after inoculated

通过相关性分析,根据定义的高光谱微分指数,结合叶绿素的敏感波段,进行了相关分析,如表 2 所

示,接种 1~12 d 光谱参数 SDb 与叶绿素含量的相关系数最高,接种 13~24 d SDr/SDg 与叶绿素含量

表 2 叶绿素含量和光谱微分参数之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between the leaf chlorophyll content and hyperspectral defferential index

高光谱指数	1~12 d 相关系数	13~24 d 相关系数	高光谱指数	1~12 d 相关系数	13~24 d 相关系数
SDb	0.885**	0.791**	SDr/ SDg	-0.484	0.838**
SDg	0.599*	0.602*	(SDr- SDg)/(SDr+SDg)	-0.566*	0.726**
SDr	-0.854**	-0.801**	(SDr- SDb)/(SDr+SDb)	-0.831**	0.631*
SDr/SDb	-0.832**	0.533*			

注: * 和 ** 分别代表达到 0.05 和 0.01 的显著水平。下表同。

的相关系数最高。

2.5 小麦接种后叶绿素的高光谱估算模型

由表 2 可见,利用相关系数达到极显著水平的高光谱参数进行方程的模拟。从表 3 可见,叶绿素

含量高光谱线性模型拟合的 R² 全部通过了极显著的检验水平,对于接种后 1~12 d 的方程模拟中以 SDb 为变量的模型为最佳模型,接种 13~24 d 的方程模拟中以 SDr/SDg 为变量的模型为最佳模型。

表 3 叶绿素含量和光谱参数之间的线性模拟方程

Table 3 Linear simulation equations between the leaf chlorophyll content and hyperspectral variables

光谱参数	1~12 d 方程模拟	R ²	光谱参数	13~24 d 模拟方程	R ²
SDr	y = -0.336 2x + 0.089 7	0.730 0**	SDb	y = 0.124 1x + 0.024 4	0.625 1**
SDb	y = 0.010 7x + 0.106 3	0.782 9**	SDr	y = -0.230 7x - 0.349 4	0.641 6**
SDr/SDb	y = -2.215 8x - 0.095 4	0.691 7**	SDr/SDg	y = 6.878 7x - 5.067 7	0.701 8**
(SDr-SDb)/(SDr+SDb)	y = -0.368x + 2.361 4	0.690 7**	(SDr-SDg)/(SDr+SDg)	y = 0.246 2x + 0.278 9	0.527 0**

3 讨论与结论

蒋金豹等^[14]利用光谱仪器测定小麦条锈病显症后的不同发病程度小麦冠层光谱和叶片色素含量;安虎等^[15]利用测定小麦条锈病发病后的一天的小麦和发病小麦单叶以及不同严重度的发病叶片反射率的不同,从而建立模型;而本研究在潜育期以及显症后每天的单片叶的光谱反射率和叶绿素含量,建立了小麦条锈病潜育期和显症后的模拟模型。本研究利用单片叶室内测定光谱反射率,操作稳定,但室内的环境是否适应大田的试验,所建立的模型是否具有普适性有待进一步研究。光谱特征与叶绿素含量之间的关系模型将为小麦条锈病的遥感监测,乃至病害的早期预测提供参考。

本研究通过人工接种小麦条锈病在人工气候室内进行培养,测定接种后1~24 d的光谱与叶绿素含量,探讨两者之间的关系,选用光谱参数进行方程的模拟。通过光谱的变化情况,在产生孢子前能够发现病害,早发现,早防治,减少产量的损失。

本研究得出以下结论:

1)当条锈病侵染小麦后的叶绿素含量,在感病的初期,叶绿素含量逐渐升高,但较对照同低,在产生孢子后,叶绿素含量明显降低,当接种1 d后,叶绿素含量较对照低。因此,当受到病害侵染后叶绿素含量是衡量其指标之一。

2)将感染条锈病的叶片叶绿素含量与原始光谱及其一阶微分光谱进行相关性分析,接种1~12 d,两者在可见光波段呈现负相关关系,接种13~24 d,两者在可见光波段呈现正相关的关系。因此,可以利用光谱的变化情况来监测小麦条锈病。

3)选用相关性较大的光谱参数进行方程的模拟,接种后1~12 d的方程模拟中以SDB为变量的模型为最佳模型。接种13~24 d的方程模拟中以SDr/SDg为变量的模型为最佳模型。

本研究结果对利用高光谱遥感监测作物病害以

及作物长势方面具有重要的实践意义。

参 考 文 献

- [1] 李光博,曾士迈,李振歧. 小麦病虫草鼠害综合治理[M]. 北京: 中国农业科技出版社,1989:185-186
- [2] 唐延林,王纪华,黄敬峰. 水稻成熟过程中高光谱与叶绿素类胡萝卜素的变化规律研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):167-173
- [3] 赵德龙,李建华,宋子健. 高光谱技术提取植被生化参数机理与方法研究进展[J]. 地球科学进展,2003,18(1):94-99
- [4] 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):1363-1367
- [5] 江道辉,李章成,周清波,等. 条锈病影响下冬小麦叶绿素含量的高光谱估计[J]. 农业信息科学,2007,23(1):376-380
- [6] 赵祥,刘素红,王培娟,等. 基于高光谱数据的小麦叶绿素含量反演[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(3):36-39
- [7] Malthus T J, Maderia A C. High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field bean leaves infected by botrytis fabae[J]. Remote Sensing of Environment, 1993,45:107-116
- [8] Moshou D, Brav C, West J, et al. Automatic detection of yellow rust in wheat using reflectance measurements and neural network[J]. Computers and Electronics in Agricultural, 2004, 44:173-188.
- [9] 张宪政. 植物叶绿素含量测定一丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学,1986(3):26-28
- [10] 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
- [11] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等. 水稻叶面积指数的高光谱遥感估测模型[J]. 遥感学报,2004,8(1):81-88
- [12] 孙雪梅,周启发,何秋霞. 利用高光谱参数预测水稻叶片叶绿素和籽粒蛋白质含量[J]. 作物学报,2005,31(7):844-850
- [13] Penouelas J, Baret V, Vilella I. SemiOempirical indices to access carotenoids Wchlrophyll a ratio from leaf spectral reflectance[J]. Photosynthetica, 1995, 31:221-230
- [14] 梅安新,彭望碌,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001
- [15] 安虎,王海光,刘荣英,等. 小麦条锈病单片病叶特征光谱的初步研究[J]. 中国植保导刊,2005(11):8-11

责任编辑:王燕华