

基于多光谱成像技术的水稻叶瘟检测分级方法研究

冯雷¹, 柴荣耀², 孙光明¹, 吴迪¹, 楼兵干^{3*}, 何勇^{1*}

1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029
2. 浙江省农业科学院植物保护研究所, 浙江 杭州 310021
3. 浙江大学生物技术研究所, 浙江 杭州 310029

摘要 实时、可靠的植物病害检测是进行科学的植物喷药作业的基础,也是精确农作的关键技术之一。目前水稻稻瘟病害检测鉴定方法存在着专业知识要求高、花费大、效率低等缺点。文章提出了利用包含绿、红、近红外三波段通道的多光谱成像技术对水稻叶瘟病进行检测。研究目的是建立能够快速、准确分析稻叶瘟病情的检测模型,实时过滤掉背景噪声、自然枯叶等干扰因素,实现对水稻生长状况进行及时、有效、非破坏性检测。研究表明,利用多光谱成像技术提取水稻叶面及冠层图像信息,可以快速有效地检测稻叶瘟病情。通过实验建立的稻叶瘟病情检测分级模型,对于营养生长期的水稻苗瘟的识别准确率为98%,叶瘟的识别准确率为90%,为实施科学的稻叶瘟防治提供了决策支持。

关键词 水稻; 稻瘟病; 多光谱图像; 植物保护

中图分类号: TP79, S436.4 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)10-2730-04

引言

我国水稻种植面积约占粮食作物总面积的1/4,而产量接近全国粮食总产量的1/2,在商品粮中占1/2以上,因此水稻在我国粮食生产中占有举足轻重的地位。稻瘟病是水稻生产上最主要的病害之一,广泛分布于世界各稻作区,在水稻的整个生育期都可发病,造成大面积的危害,流行年份一般减产10%~20%,严重的达40%~50%^[1]。其中,尤以稻叶瘟和稻穗瘟引起的损失最大。叶瘟的年发病率在40%至50%;重的可达80%;穗颈瘟可达50%。稻瘟病菌群体组成复杂,且变异较快,抗瘟品种推广3~5年后往往失去抗性。而在农药防治中,病情数据采集目前是依靠肉眼进行病情分级测报。叶瘟病情的分级以包括病斑的显现以及病斑占叶片的面积比例为尺度,划分标准要求比较精确,不同病情级别之间的病斑危害面积与叶面积的比值指标仅相差1%,普通人很难进行准确的病情区分。即使是专家肉眼分析评判,也需要花费大量时间和精力,效率不高。在现代农业生产中,对稻瘟病预测预报、调查分级和防治措施评价等工作的频率、快速、准确程度要求越来越高,这为水稻病害诊断技术

提出了新的研究课题。

研究模拟植保专家的视觉功能并在判别速度、可靠性、持久性等方面超越人眼性能的图像识别处理系统,将会为实现植物病害的智能化检测和防治提供技术支持。多光谱成像技术是将摄入光源经过过滤,同时采集不同可见光谱和红外光谱等波段的数字图像,并进行分析处理的技术。它结合了波谱学分析技术(特征敏感波段提取)和模式检测(数字图像处理)技术的长处,同时可以弥补光谱仪抗干扰能力较弱和RGB数字图像波段感受范围窄的缺点。随着计算机软硬件技术、图像处理技术的迅速发展,多光谱成像技术在农业上的应用,尤其在近距离对植物信息采集研究,有了一些进展。在国外, Guyer^[2]分别研究了植物和土壤在可见光和近红外波段内的光反射特性,指出利用对近红外敏感的摄像机可以轻易将植物与土壤背景分离开来。Shear^[3]选用波长为1100和1600nm的滤光片,通过获得反射率的比值分离植物与背景,准确率达100%。Adams等^[4]利用550nm,650和750nm的光谱图像检测大豆的微量元素含量。Tang等^[5,6]使用多光谱图像对杂草识别和作物营养分析进行了研究。Kim^[7]提出利用550,650和800nm的三通道的多光谱图像对玉米冠层氮肥进行分析。Aleixos^[8]利用RGB和750

收稿日期: 2008-08-10, 修订日期: 2008-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(60605011, 30671213), 国家高技术研究发展计划“863”项目(2006AA10Z234), 公益性行业(农业)科研专项项目(200803037)和宁波市自然科学基金项目(2007A610080)资助

作者简介: 冯雷, 1971年生, 浙江大学生物系统工程与食品科学学院副教授 e-mail: hylab@zju.edu.cn

*通讯联系人 e-mail: bglou@zju.edu.cn; yhe@zju.edu.cn

nm 的光谱图像进行柑橘的探伤和分级,成功率分别为 93% 和 94%, Leckie^[9] 利用 448, 525, 553, 593, 667, 780 和 2 200 nm 等 7 个波段的松树冠层光谱图像,分析蚜虫对松树的侵害程度。Senajr^[10] 利用 550, 650 和 800 nm 的三通道的多光谱图像对玉米粟蚕蛾幼虫的侵害程度进行检测。在国内,冯雷使用多光谱成像技术对油菜氮含量实时监测进行了研究,吴迪^[11]应用多光谱成像技术检测了茄子灰霉病。

本研究提出以稻瘟病菌作为病原物,分析基于感病水稻叶片的多光谱图像,确定稻叶稻检测的图像特征,拟建立能准确反映稻叶瘟病害的检测模型和病害程度的定量描述模型,对稻叶瘟进行早期、准确、非破坏性诊断。

1 材料与方法

1.1 实验设计方法

实验按照水稻品种抗病性鉴定方法执行,供试水稻品种为籼稻原丰早品种,供试菌为稻瘟病菌病原菌灰梨孢 *Pyricularia grisea* 菌株 ZB₁,由浙江农科院植物保护研究所提供。在燕麦片培养基上培养稻瘟病菌的分生孢子,接种用的分生孢子悬浮液浓度为 2×10^5 个 \cdot mL⁻¹。供试品种经浸种、催芽后,播于育秧盆中,待稻苗长到第 3~4 叶时在人工气候箱内进行喷雾接种,在 RH > 86% 条件下于 25~28 °C 恒温下黑暗保湿 24 h,再移出室外进行隔离光照、喷水保湿培养,在第 3, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35 d 进行叶片和冠层的数据采集。水稻叶瘟病情等级按照 GB/T 15790—1995 标准划分。

1.2 多光谱图像检测平台概述

实时的多光谱图像检测平台主要由一个多光谱的 Duncan MS3100 3CCD 多光谱摄像系统和计算机组成,相机离地高 2 m,照明光源为 2 个 APPLE275W 灯。Duncan MS3100 3CCD 多光谱摄像系统的图像分辨率为 1 039 × 1 392。此系统将摄入光源经过滤,实时分离成绿 (550 nm), 红 (650 nm), 近红外 (800 nm) 3 个波段通道的单色图像,通过 PCI 1424 (National Instrument 公司) 的数据接收板连接到计算机。每个电子耦合组件 (charged coupled device, CCD) 输出信号放大倍数和曝光时间如表 1 所示。

Table 1 Each CCD gain and time of exposure in 3 channels

通道	输出信号放大倍数, dB	曝光时间, ms
绿	12.6	23.5
红	12.6	23.0
近红外	12.6	17.0

1.3 图像数据处理

稻叶瘟检测的多光谱图像处理算法用 Matlab 软件实现,包括背景噪声的消除和枯叶的灰度分析^[12, 13]。基于 Matlab 的图像处理过程分为 5 步。(1) 利用在近红外图像中,叶面与背景图像的灰度值差异较大的特性,将背景和叶面图像分离;同时计算出叶面在图像的像素点值;(2) 利用在红通道图像中,枯黄部位叶面与健康叶面灰度值差异较大的特性,将枯黄部位叶面与健康叶面图像分离,标记枯黄叶面区域;

(3) 在红通道图像中,利用叶尖判定算法,将枯黄叶尖与其他枯黄部位叶面图像分离;(4) 在红、绿通道图像中,根据稻瘟病菌侵入机理,利用枯黄叶尖边缘灰度值差异判定算法,将自然枯黄叶尖与发病枯黄叶尖图像分离;同时计算出发病叶面在图像的像素点值;(5) 根据发病部位叶面积与总叶面积像素点的比值,计算得出该图像中叶瘟病害的评价等级。

用图像进行叶瘟分级,与苗瘟分级最显著的区别在于需要剔除因营养自然缺失造成的叶面部分图像。营养缺失造成的叶面枯黄,其表象一般是从叶尖开始发生;而属于真菌病害的稻叶瘟,可以从叶面的任何部位入侵,进行危害。因此需要从图像中预先将枯黄叶尖筛选出来。水稻叶片的形状特征是修长,且边沿光滑(图 1),因此,本研究使用的枯黄叶尖判定算法为:如果在枯黄区域对象边沿像素点中,存在有一点,其上方、下方、左方、右方相临像素点中至少有 3 个被判定属于背景区域,则此对象为枯黄叶尖。

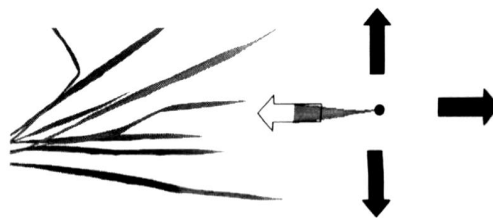


Fig 1 Distinguishing brown splinter from oryza sativa leaf

在稻瘟病菌侵入植株过程中,稻瘟病菌形成附着胞,附着胞在细胞壁产生黑色素沉积,最终形成黑色素层。通过黑色素层,稻瘟病菌得以穿透寄主叶片表面,侵染寄生。黑色素是稻瘟菌穿透表皮侵入稻株不可缺少的物质,因此在面积较大的染病区域,可以显示出叶面健康部分与染病部分边缘交界处色差明显(图 2)。而对于因为营养自然缺失造成的叶面枯黄,其边界则无上述特征。因此在自然枯黄叶尖和因稻瘟病菌侵染引起的枯黄叶尖的分离中,首先将在红、绿色通道图像锐化,使得发病和健康区域交界轮廓清晰分明。在此图像中,如果枯黄叶尖区域边沿像素点中,存在有一点,其相临叶面像素点与此点的灰度值之差大于灰度数据有效范围 (0~255) 的 2/5,即约等于 100,则此枯黄叶尖区域被判定为发病面积;否则判定为自然枯黄叶尖。

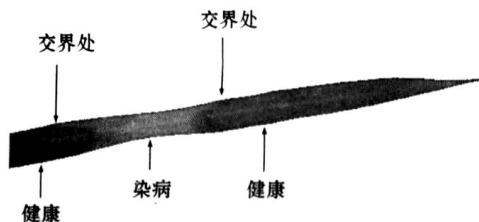


Fig 2 Image of disease region of leaf blast

2 结果与讨论

图 3 为 OL YMPUS FE230 数码相机 (图像分辨率为 2 304 × 3 072) 在 1 m 距离和 MS3100 多光谱相机在 2 m 距离采集的水稻叶面图像。可以看出,由于有近红外通道数据作

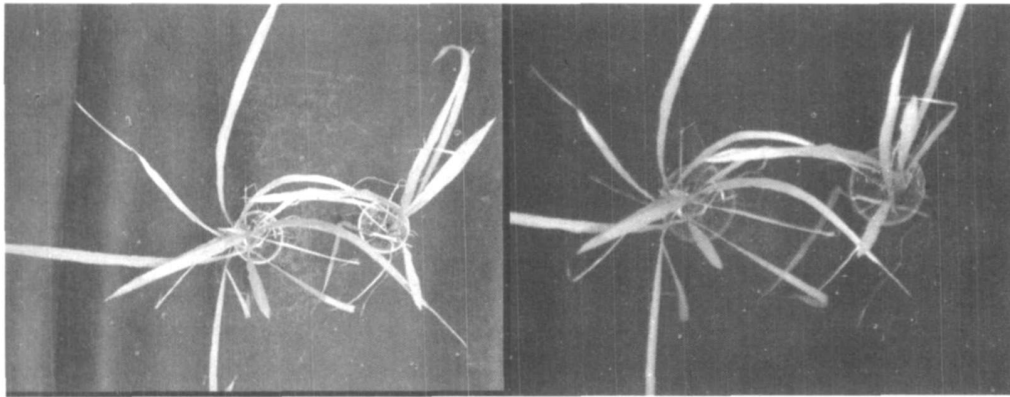


Fig 3 Image between digital camera (left) and multi-spectral camera (right)

用,在区分植物冠层和不同背景物质,以及区分植物叶片不同健康状况部位时,MS3100多光谱图像比一般普通数码图像效果更明显。尤其是在水稻叶瘟品种抗病性鉴定试验中,一般情况接种后4d植株开始出现病斑,8~10d后人眼鉴定检查病情。在本试验中,第3天已经可以通过MS3100多光谱图像观查到了植株叶片病斑的隐约显现。用植物病理学的观点来解释产生这种现象的原因是由于病菌侵染水稻,首先附着胞产生的侵入丝填充在细胞间隙中,使健康叶片的细胞结构和间隙发生变化,并不断丧失水分,造成水分对近红外反射能力的下降;随着侵入丝进一步穿透叶片细胞,叶绿素逐渐被破坏,光合作用的能量吸收减弱,导致细胞的持水量、叶绿素含量和光合作用强度下降,从而引起受害水稻近红外区和绿光区反射能力减弱,红光区反射能力增强。这些因素通过在绿,红,近红外3个波段通道组成的水稻叶面多光谱图像得到了反映,同时也证明多光谱图像可以弥补普通RGB图像波段感受范围窄的不足。

通过对140幅水稻叶面多光谱图像的分析处理结果显示:在无自然枯叶条件下,苗瘟的识别准确率为98%;在有自然枯叶条件下,叶瘟的识别准确率为90%,其中自然枯黄和染病枯黄叶尖的识别率为85%。依据此模型计算得到的图

像中染病叶面的像素点与总叶面的像素点比值,能够准确检测并划分稻叶瘟病害程度的等级。

由于本研究处理的是二维图像,如果自然枯黄叶尖面积较小,深色边缘不明显,且在图像中恰好衬托在健康叶面上方,则会误诊为病斑。此稻叶瘟检测分级算法适用于营养生长期的水稻,未考虑长期后的稻穗对图像的影响。

3 结 论

在温室环境条件下,在水稻营养生长期用多光谱成像技术提取受到叶瘟感染后的叶面及冠层图像信息,分析检测了稻叶瘟病情。实验结果显示,与普通相机相比,MS3100多光谱相机对叶瘟病斑的识别敏感度更高,能够在人眼难以观察到植物病害发生时,显示出病斑所在位置。研究建立的稻叶瘟病情分级模型,对于营养生长期的水稻苗瘟的识别准确率为98%,叶瘟的识别准确率为90%,能够对稻叶瘟病情状况进行快速、准确、非破坏性检测,为实现实时检测分析水稻生长状况,科学合理地指导化学药剂喷洒量、保护环境和避免病菌产生抗药性提供了可靠的技术支持。

参 考 文 献

- [1] SUN Shu-yuan, JIN Min-zhong, ZHANG Zhi-ming(孙淑沅, 金敏忠, 张志明). Rice Blast and Its Prevention(水稻稻瘟病及其防治). Shanghai: Shanghai Science & Technology Publishing Company(上海: 上海科技出版社). 1986.
- [2] Guyer D E, Miles G E, Schreiber M M. Transactions of the ASAE, 1986, 29: 1500.
- [3] Shear S A, Thomasson J A, Meneill S G. Transactions of the ASAE, 1996, 39: 1209.
- [4] Adams M L, Noryell W A, Philpot W D. Agronomy Journal, 2000, 92: 261.
- [5] Tang L, Tian L, Steward B L. Transactions of the ASAE, 2000, 43: 1019.
- [6] Borhan M S, Panigrahi S, Lorenzen J H. Transactions of the ASAE, 2004, 47: 599.
- [7] Kim Y, Reid J F, Hansen A, et al. Proceeding of ASAE, 2001, No. 011178.
- [8] Aleixos N, Blasco J. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 133: 121.
- [9] Leckie D G, Cloney E. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 7: 61.
- [10] Sena Jr D G, Pinto F A C, Queiroz D M, et al. Biosystems Engineering, 2003, 85: 449.
- [11] 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.
- [12] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital Image Processing Using Matlab. USA: Peason & Prentice Hall, 2004.

[13] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing, 2nd Edition, USA: Peason & Prentice Hall, 2002.

Identification and Classification of Rice Leaf Blast Based on Multi-Spectral Imaging Sensor

FENG Lei¹, CHAI Rong-yao², SUN Guang-ming¹, WU Di¹, LOU Bing-gan^{3*}, HE Yong^{1*}

1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2. Institute of Plant Protection, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China

3. Institute of Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract Site-specific variable pesticide application is one of the major precision crop production management operations. Rice blast is a severe threat for rice production. Traditional chemistry methods can do the accurate crop disease identification, however they are time-consuming, require being executed by professionals and are of high cost. Crop disease identification and classification by human sight need special crop protection knowledge, and is low efficient. To obtain fast, reliable, accurate rice blast disease information is essential for achieving effective site-specific pesticide applications and crop management. The present paper describes a multi-spectral leaf blast identification and classification image sensor, which uses three channels of crop leaf and canopy images. The objective of this work was to develop and evaluate an algorithm under simplified lighting conditions for identifying damaged rice plants by the leaf blast using digital color images. Based on the results obtained from this study, the seed blast identification accuracy can be achieved at 95%, and the leaf blast identification accuracy can be achieved at 90% during the rice growing season. Thus it can be concluded that multi-spectral camera can provide sufficient information to perform reasonable rice leaf blast estimation.

Keywords Rice; Rice blast; Multi-spectral image; Plant protection

(Received Aug. 10, 2008; accepted Dec. 20, 2008)

* Corresponding author