

2001, 84(3): 435~436.

2 Singh B. U., Padmaja P. G., Seetharama N. *Crop Prot.*, 2004, 23(9): 739~755.

3 Abate T., Huise A. V., Ampofo J. K. O. *Annu. Rev. Entomol.*, 2000 45: 631~659.

4 张汝霖, 于锁英, 徐艳霞, 周安定. 昆虫知识, 1994 31(6): 327~329.

5 牛泽民, 张明德. 昆虫知识, 1999 36(3): 154~155.

6 中国农作物病虫害编辑委员会主编. 中国农作物病虫害(上册). 北京: 农业出版社, 1979. 515~519.

7 张汝霖. 昆虫知识, 1993, 30(4): 206~208.

8 李学军, 王淑贤, 郑国. 昆虫知识, 2005, 42(2): 155~157.

烟蚜为害特征的高光谱比较^{*}

乔红波¹ 蒋金炜^{2**} 程登发^{1***} 陈胜利³ 刘建安⁴ 马继盛²

(1. 中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100094
2. 河南农业大学植物保护学院 郑州 450002; 3. 河南省烟草公司三门峡分公司 三门峡 472000;
4. 河南省烟草公司许昌分公司 许昌 461000)

Comparison of hyperspectral characteristics in tobacco aphid damage. QIAO Hong-Bo¹, JIANG Jin-Wei^{2**}, CHENG Deng-Fa^{1***}, CHEN Sheng-Li³, LIU Jian-An⁴, MA Ji-Sheng² (1. *Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests*, Beijing 100094, China; 2. *Academy of Plant Protection, Henan Agricultural University*, Zhengzhou 450002, China; 3. *Sanmenxia Filiale of Henan Tobacco Company*, Sanmenxia 472000, China; 4. *Xuchang Filiale of Henan Tobacco Company*, Xuchang 461000, China)

Abstract Using ASD Hand-held Spectroradiometers and Chlorophyll Meter SPAD-502 measured the canopy reflectance of tobacco damaged by the tobacco aphid *Myzus persicae*(Sulzer) and the chlorophyll content of tobacco. The results showed that the spectrum of tobacco is a standard vegetation spectrum and the reflectance decreased due to the damage of tobacco aphid, especially in the near infrared band. Based on the results of field investigation, we divided the aphid damage into four degrees: healthy, gentle, moderate and severe. The reflectance of light, moderate and severe decreased 12%, 27%, 52% and 15%, 20%, 38% in green and near infrared band respectively compare to the healthy. With the damage of tobacco aphid, the maximal value of first derivative is 0.031, 0.022, 0.026 and 0.019, moreover, the spectrum move to the direction of long wave. The correlation between all the four bands reflectance and the SPAD value are significant. This research is prospective for applying remote sensing monitoring the insect pests and diseases in tobacco and determining the appropriate control time and methods.

Key words tobacco aphid, hyperspectral remote sensing, reflectance, differential spectrum, SPAD

摘 要 利用手持式高光谱仪测定不同蚜量为害后烟草冠层光谱反射率的变化, 同时使用叶绿素计测量叶绿素含量。结果表明, 烟草光谱呈现标准植被光谱曲线, 烟蚜 *Myzus persicae*(Sulzer)为害造成烟草光谱反射率下降, 近红外波段反射率下降更为明显。和健康烟株相比, 轻度(单株顶尖和上部5片叶蚜量≤15头)、中度(15头<单株顶尖和上部5片叶蚜量≤50头)、重度(单株顶尖和上部5片叶蚜量>50头)危害在绿光波段反射率分别下降12%, 27%, 52%, 在近红外波段分别下降15%, 20%, 38%。对反射率曲线进行微分分析, 健康烟株、轻度、中度和重度为害后的一阶导数最大值分别为0.031, 0.022, 0.026和0.019, 其值随着蚜量增加而下降, 对应的波长重度为害为718.45nm, 其它为716.91nm, 红边位置向长波

^{*} 973项目(2006CB102007), 国家公益性研究专项资金(2004D1B4J155)。
^{**} 与第一作者为同等贡献作者: E-mail: jiangjw56@sohu.com
^{***} 通讯作者: E-mail: dfcheng@ippcaas.cn

方向移动 1.46 nm。蓝光、绿光、红光和近红外 4 个波段反射率和叶绿素含量 SPAD 值存在良好的线性回归关系, 相关系数都达到极显著, 绿光波段反射率对叶绿素含量的回归关系尤为显著; 同时 SPAD 值越大, 光谱反射率越高。该研究对于应用遥感技术大面积监测烟草生产中病虫害的发生, 确定防治适期以及适宜的防治措施具有重要的应用前景。

关键词 烟蚜, 高光谱遥感, 反射率, 光谱微分, SPAD

遥感技术是通过非接触方式探测作物生长状况, 当农作物受到病虫害等受害时, 叶片会出现颜色的改变、结构破坏或外观形态改变等病态, 叶片的反射率会发生变化; 如果害虫吞噬叶片或引起叶片卷缩、脱落、生物量减少, 同样会引起光谱曲线的变化。这样就可以通过监测寄主植物的光谱曲线变化来监测病虫害的发生情况^[1]。用遥感技术探测植食性昆虫取食为害与寄主植物形态、生理学等的变化的关系, 前人已做了不少工作, 例如, Walter 等在室内研究了禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (L.) 为害后, 小麦单叶光谱反射率、叶面积、叶片干重和叶绿素含量的变化^[2]; 何国金等通过分析叶绿素含量与麦蚜量间的动态关系及测定小麦生育期内叶绿素含量变化后, 提出了小麦蚜虫灾害遥感监测的植物生理学依据^[3]。

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 是世界性害虫, 国内各省(区)均有分布。寄主植物繁多, 其中主要是烟草、十字花科蔬菜等。烟草受其严重为害时, 叶片卷缩、变小、变薄, 植株矮小, 果实干瘪。被害烟叶烤后缺乏光泽, 难以回潮, 且易破碎, 所卷烟支吸味不佳, 燃烧性能下降; 烟蚜分泌的蜜露常诱发烟叶煤污病, 使烟叶表面变黑、叶柄基部发脆、腐烂; 烟蚜又是烟草黄瓜花叶病毒病等的传播媒介, 因而对烟草产量、品质的影响较大。烟草叶片受烟蚜为害后, 叶片变形, 叶绿素缺失, 这可以使用高光谱遥感技术来探测, 因此, 本研究目的在于不同蚜量危害后烟株光谱反射率和导数光谱的变化及叶绿素含量与反射率的关系。

1 材料和方法

1.1 试验地点、供试材料和仪器

试验地点为国内优质烟区的河南省三门峡

市卢氏县沙河乡烟田(N: 34°05'714'', E: 110°59'589''), 供试烟草品种为中烟 101。烟蚜自然发生, 发生危害程度分为轻(单株顶尖和上部 5 片叶蚜量 ≤ 15 头)、中(15 头 < 单株顶尖和上部 5 片叶蚜量 ≤ 50 头)、重(单株顶尖和上部 5 片叶蚜量 > 50 头)和健康烟株(无烟蚜)。光谱仪选用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 ASD FieldSpec HandHeld 野外手持式高光谱测量仪。ASD 光谱仪波段值为 325 ~ 1050 nm, 光谱分辨率 3 nm, 采样间隔(波段宽)为 1.41 nm, 视场角 25°并配有 3.5°镜头。

1.2 光谱测量方法

在烟草生育期内, 选择晴朗无风天气, 在 10:00 ~ 14:00 用 ASD FieldSpec HandHeld 便携式野外光谱仪进行烟草冠层光谱反射率测定。测定时光谱仪探头垂直向下, 探头距烟草冠层顶约 1.0 m。测量前同步测量参考板反射和太阳辐射光谱以用于标定, 测量前和测量过程中均用 BaSO₄ 白板进行校正。重复测定 10 次, 统计分析时采用平均值。光谱测量后立即调查烟蚜数量。

1.3 烟草叶片叶绿素含量测定

采用日本 MINOLTA 公司生产的 SPAD-502 型叶绿素计, 测定烟株的每片叶的叶绿素含量, 取平均值作为该株烟的叶绿素含量值, 即 SPAD (specialty products agricultural division) 值。SPAD-502 叶绿素仪根据叶片叶绿素对有色光的吸收特性, 通过测量一定波长的发射光强和透过叶片后的光强进行叶片叶绿素含量的测定。SPAD-502 型叶绿素仪有 2 个发射光源, 分别发射最大波长为 650 nm 的红色光和最大波长为 940 nm 的红外光, 叶绿素吸收波长为 650 nm 的红色光, 但并不吸收波长为 940 nm 的红外光, 940 nm 波长的红外光的发射和接收主要是为

了消除叶片厚度等方面对测量结果的影响。红光到达叶片后，一部分被叶片的叶绿素所吸收，剩下透过叶片被接收器转换为电信号。通过接收器接收到的光强和发射光强比较，确定叶片叶绿素的含量。表示为 SPAD 单位：

$$SPAD = Klg\left[\frac{IR_t / IR_0}{R_t / R_0}\right]$$

其中， K 为常数； IR_t 为接收到的 940 nm 红外光强度； IR_0 为发射红外光强度； R_t 为接收到的 650 nm 红光强度； R_0 为发射红光强度。

1.4 数据处理

光谱数据由光谱仪采集后传入计算机，并转换为反射率数据，用光谱仪自带的光谱反射曲线分析软件进行数据分析处理（波长范围 325 ~ 1 050 nm）。使用软件 SAS 线性回归模型对反射率和 SPAD 值进行回归分析。

一阶导数光谱的近似计算公式是：

$$\rho'(\lambda_i) = \frac{\rho(\lambda_i + 1) - \rho(\lambda_i - 1)}{2\Delta\lambda}$$

式中， λ_i 为每个波段的波长， $\rho'(\lambda_i)$ 为波长 λ_i 的一阶导数光谱， $\Delta\lambda$ 是波长 $\lambda_i - 1$ 到 λ_i 的间隔。

2 结果与分析

2.1 烟蚜为害后烟草冠层光谱反射率的变化

烟草受不同蚜量取食为害后的光谱反射率曲线如图 1 所示。图 1 中，曲线 1 表示无蚜烟株的光谱，曲线 2、3 和 4 分别表示轻度、中度和重度受害烟株的光谱曲线。测定时，烟草已发育至旺长末期，烟叶面积很大，因此土壤背景对光谱测量几乎无影响，几种光谱曲线均表现为标准的植被曲线。

图 1 中，4 条光谱曲线在可见光区均有一绿峰和红谷，在 690 ~ 740 nm 之间，反射率急剧上升，此后相对平稳，但反射率随受害程度加重而下降，近红外波段处下降更为显著，同时，健康烟株的“红边效应”比受害烟株明显，“红边”是由于红光波段强烈地吸收和近红外波段强烈反射造成的。图 1 中，曲线 1 至 4 在绿光波段的反射率分别为 0.364、0.305、0.264 和 0.172，2

至 4 的下降率分别为 12%，27%，52%；在近红外波段的反射率分别为 0.850、0.721、0.675 和 0.526，2 至 4 的下降率分别为 15%，20%，38%。

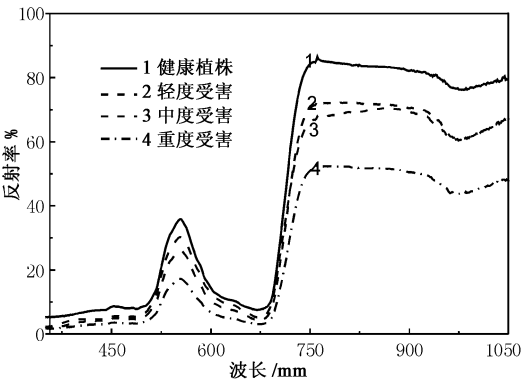


图 1 烟草受不同蚜量取食为害后冠层光谱反射率曲线

2.2 烟草受不同蚜量取食为害后反射率一阶导数的变化

光谱微分技术对反射光谱进行模拟和计算不同阶数的微分值以迅速地确定光谱弯点及最大最小反射率的波长位置。一般认为，可用微分处理去除部分线性或接近线性的背景、噪声对目标光谱的影响^[5]。因此，使用导数光谱技术能使土壤对作物光谱反射值的影响减小。通常采用 2 个因子描述红边特征：红边斜率和红边位置，即红边一阶导数光谱反射率最大值与其所对应的波长。红边位置定义为红光到近红外区光谱曲线的变形点。红边位置和红边斜率可以利用高光谱数据通过导数运算精确得到，

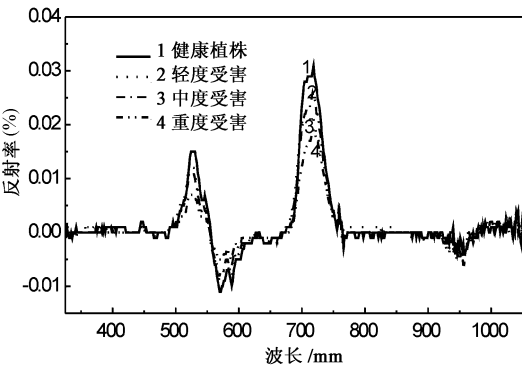


图 2 烟草受不同蚜量取食为害后光谱反射率曲线的一阶导数

通过一阶导数的光谱曲线峰值确定红边位置和斜率。

图2为烟草受不同蚜量取食为害后光谱反射率曲线的一阶导数,从图中可以看出一阶导数光谱反射率最大值随着蚜量增加而下降,1到4的导数值最大值分别为0.031,0.022,0.026和0.019,对应的波长λ为718.45 nm,其余为716.91 nm,波长向长波方向移动1.46 nm。

2.3 叶绿素SPAD值与光谱反射率的关系
烟蚜为害后,烟叶光谱反射率和叶绿素

SPAD值的关系如图3所示。图3中1,2,3和4分别为蓝光、绿光、红光和近红外波段,4个波段反射率对SPAD值都呈显著的线性回归关系,从回归模型的 R^2 值看,拟合效果绿光>蓝光>红光>近红外波段,对回归模型进行F测验,结果表明各模型均能较好地拟合反射率与SPAD之间的关系($P<0.0001$),从回归模型 R^2 及F值的显著性考虑,4个波段中绿光波段反射率对叶绿素含量的回归关系尤为显著;同时SPAD值越大,光谱反射率越高。

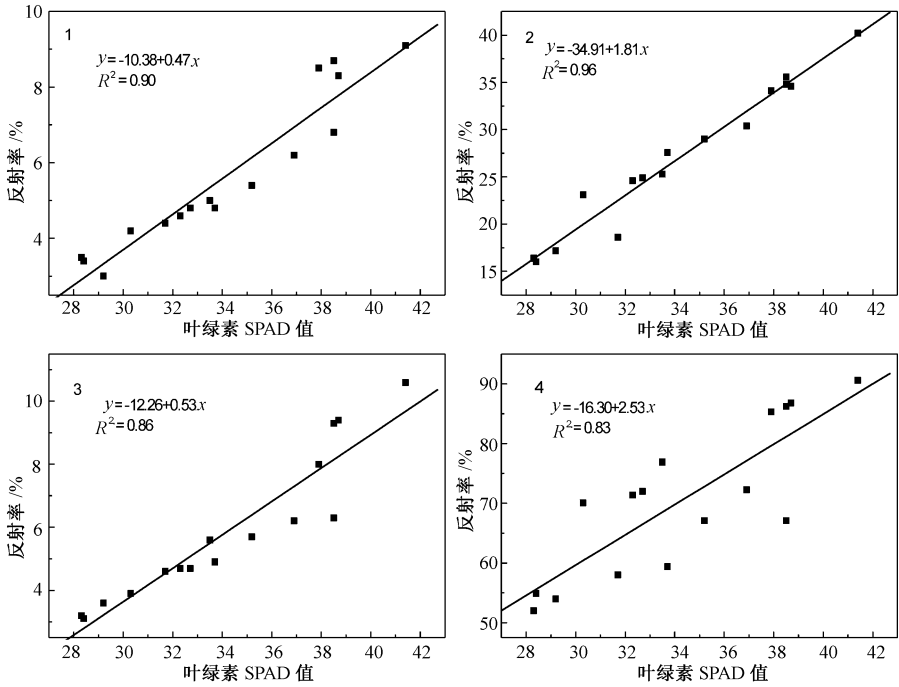


图3 图3叶绿素SPAD值与光谱反射率相关关系
图中1,2,3和4分别示蓝光、绿光、红光和近红外波段

3 结论与讨论

烟草受不同蚜量取食为害后,烟叶光谱反射率下降,近红外的下降尤甚,而且无虫烟株的红边效应比受害烟株的明显。在绿光和近红外波段,反射值下降率分别为52%和38%,与无虫烟株相比,不同蚜量烟株的反射值均表现出较大的下降,主要原因可能是,烟蚜聚集在烟叶背面刺吸危害,导致烟叶细胞色素含量变化,从而引起烟叶外部颜色和形态改变,同时,其分泌

的蜜露对烟叶叶片也造成一定程度的污染,在光谱上因此表现出差异。前人在麦蚜和蝗虫上的研究也有类似结果^[2-4]。相对于无虫植株而言,一阶导数光谱反射率最大值随着烟蚜取食危害程度的加重而下降,并且向长波方向移动(红移)。发生红移的结果也表明,烟蚜为害后,烟叶细胞结构发生改变,继而造成细胞含水量、叶绿素含量和光合作用强度下降。

在蓝光、绿光、红光和近红外波段,其反射率对SPAD值都呈显著的回归关系,SPAD值越

大, 光谱反射率越高。这表明, 烟蚜为害造成叶绿素含量下降, 烟叶光合作用强度也因之降低。

烟株的光谱反射率曲线一方面反映了它们对太阳光从可见光到近红外区间各波段的反射强度, 另外也反映出烟株由于内部组织结构、冠层结构的不同在各波段反射光谱结构的差异性, 这种差异性正是区别烟叶是否受胁迫以及胁迫程度的基础。同时, 地面光谱的变化规律对于航空、卫星遥感图像解译具有重要意义。

烟蚜在为害烟草的同时还传播病毒, 给烟草生产造成毁灭性的打击。利用高光谱遥感技术监测烟草受烟蚜取食为害后光谱特征的变化及差异情况, 同时测定叶绿素含量, 这对于应用遥感技术大面积监测烟草生产中病虫害的发生, 确定防治适期以及适宜的防治措施具有重

要的应用前景。本试验在地面遥感平台上小范围内进行, 下一步将结合航空、卫星平台, 探索遥感技术在烟草生产中病虫害监测中的应用。

参 考 文 献

1 王正军, 张爱兵, 李典谟. 昆虫知识, 2003 40(2): 97 ~ 100.

2 Walker E. R., Tracy M. B. *Crop Sci.*, 1999, 39: 1 835 ~ 1 840.

3 何国金, 胡德永, 金小华, 杨建国, 李国扬. 遥感技术与应用 2002, 17(3): 119 ~ 124.

4 季荣, 张鑫, 谢宝瑜, 李哲, 刘团结, 等. 昆虫学报 2003, 46 (6): 713 ~ 719.

5 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社, 2000. 53.

6 马建文, 韩秀珍, 哈斯巴干, 张跃进, 汤金仪, 等. 国土资源遥感, 2003, 55: 51 ~ 55.

土耳其斯坦叶螨为害棉叶的生理变化及
光谱特征分析^{*}

陈鹏程^{**} 张建华^{***} 李眉眉 雷勇辉

(石河子大学 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室 新疆石河子 832003)

Physiological change and hyperspectral character analysis of cotton leaves infested by *Tetranychus turkestan*.

CHEN Peng-Cheng^{**}, ZHANG Jian-Hua^{***}, LI Mei-Mei, LEI Yong-Hui (Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xijiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract The spectrum of cotton leaves infested in different levels by *Tetranychus turkestan* (Ugarov et Nikolski) were measured using ASD Leaf Clip. Meanwhile, the contents of chlorophyll and carotenoid in these cotton leaves were measured. The results showed that the chlorophyll contents decreased and the carotenoid contents increased with more heavy infestation. The spectral reflectance increased in both sides of green peak and significantly decreased at 748 ~ 863 nm of near-infrared region with the increase of infestation. We found that the red edge of the infested cotton leaves remarkably moved to short wavelength. The slope of red edge($d\lambda_{red}$) and the ratio of the slope of red edge to the minimum slope($d\lambda_{red}/d\lambda_{min}$) and the area of red edge($\sum d\lambda_{680-750}$) increased with the increase of infestation level. The red edge is a good indicator of cotton leaves infestation levels by the spider mite.

Key words *Tetranychus turkestan*, cotton leaf, physiological change, hyperspectral character, red edge

^{*} 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室项目资助——兵团棉花病虫害测报 GIS 系统的开发(200316)。

^{**}E-mail: chenp888@sina.com

^{***}通讯作者, E-mail: myzhl-sh@xj.cninfo.net

收稿日期: 2006-02-09, 修回日期: 2006-04-13