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 Walter 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,张霞,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 turkestani*.

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

Abstract The spectrum of cotton leaves infested in different levels by *Tetranychus turkestani* (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 ($\sum d\lambda_{680\sim750}$) increased with the increase of infestion level. The red edge is a good indicator of cotton leaves infestation levels by the spider mite.

Key words *Tetranychus turkestani*, 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: chenpc8888@sina.com

***通讯作者,E-mail: nyzhb-sh@xj.cninfo.net

收稿日期:2006-02-09,修回日期:2006-04-13

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

摘 要 对土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani*(Vgarov *et* Nikolski)为害程度不同(0, 1, 2, 3, 4级)的棉叶进行光谱测试,并按螨害级数测定光谱测试后棉叶的叶绿素和类胡萝卜素含量。结果表明:随着螨害的逐渐加重,棉叶的叶绿素含量逐渐下降,类胡萝卜素含量逐渐上升。光谱测试结果:在可见光区,绿峰两侧波段的光谱反射率随螨害加重逐渐增大,差异明显;在近红外区,748~863 nm 波段的光谱反射率随螨害加重逐渐减小,差异极显著。同时,利用一阶微分求取不同螨害级数棉叶的红边并计算红边参数,通过分析发现,棉花受叶螨危害后单叶光谱的红边发生明显的蓝移现象,红边振幅、红边振幅与最小振幅的比值以及红边峰值面积的值随着螨害加重逐渐减小,结果认为红边能很好地反映棉叶受棉叶螨危害的程度。

关键词 土耳其斯坦叶螨,棉叶,生理变化,光谱特征,红边

病虫害监测是病虫害综合防治的重要组成部分,及时、快速、准确的监测机制对农作物病虫害的早期发现和防治具有重大的意义。当前农作物病虫害监测工具和手段不够发达,主要靠基层测报人员在实地用目测手查的方法观察有无病虫害发生及其为害程度,或用捕捉虫蛾等办法判断病虫害暴发的可能性。这些传统的监测方法费时费力不说,其获取信息的滞后性还严重影响病虫预报准确率。为了提高病虫害监测的精度和水平,采用高科技手段,特别是遥感监测已成为病虫害监测的重要研究方向之一。

高光谱遥感属于一种无损测试技术,它能以足够高光谱分辨率区分那些具有诊断性光谱特征的地表物质,这是传统宽波段和多波段有遥感所不具有的,因而在遥感地物定量分析上具广阔的应用前景。近几年来,利用高光谱遥感技术监测植物病虫害已引起了国内外许多研究者的兴趣[1],并由此展开了一些研究工作。Malthus 等考察了大豆受蚕豆斑点葡萄孢感染后的光谱反射率变化情况,发现受感染的程度与可见光反射率的相关性一阶导数比原始的反射率要高,故可以用一阶导数来监测病虫害的感染情况[2]。Adams 等利用大豆黄萎病光谱二阶导数设计的发黄指数对病情评价进行了研究[3]。Zhang 等在加利福尼亚州,通过分析马铃薯晚疫病近地冠层高光谱数据后认为,高光谱遥感在马铃薯晚疫病的监测中,近红外区域(特别是 700~1 300 nm)比可见光区域更有价值[4]。Kobayashi 等研究发现水稻光谱反射率比值可以用来评价水稻稻瘟病[5]。国内,吴曙雯等对 4 个感染不同等级稻叶瘟的水稻冠层反射光谱进行了研究分析[6]。黄木易对冬小麦条锈病的单叶、冠层光谱特征进行了较为深入的研究[7]。乔红波对麦蚜、白粉病危害后的冬小麦冠层光谱进行的测量与分析[8]。

棉叶螨是新疆棉区危害棉花的主要害虫之一,几乎每年都能在一些地区暴发成灾,对棉花产量造成严重的损失。利用高光谱遥感技术监测棉叶螨方面的研究至今未见报道。本试验从单叶水平上研究了土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani*(Vgarov *et* Nikolski)危害棉叶的一些重要生理指标以及光谱特征的变化,为我们理解棉叶螨高光谱遥感监测机理,进行受害棉花群体冠层光谱特征的研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料的选取

试验材料来自于新疆石河子大学实验站棉叶螨自然发生较重的棉田,该地于 2005 年 4 月 29 日播种,采用膜下滴灌,不作水肥处理,种植品种为新陆早 13 号。所选的受叶螨为害程度不同的叶片全部位于棉株中部主径上,共选取 100 片,其中 0 级 31 片,1 级 38 片,2 级 22 片,3 级 8 片,4 级(干枯)1 片。棉叶受螨害程度分级标准参照武予清等[9]。

棉花受害级共分为 5 级:0 级:棉叶无受害症状;1 级:棉叶上有黄白点;2 级:棉叶上有红黄斑,连片面积为全叶面积的 1/3 以下;3 级:棉叶上红黄斑连片面积为全叶面积的 1/3~2/3;4 级:棉叶上红黄斑连片面积为全叶面积的 2/3 以上,或叶片脱落。

1.2 光谱测定

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

采用 ASD Fieldspec FR2500 型野外便携式全波段光谱仪与 ASD Leaf Clip 结合，在棉田进行棉花单叶光谱测定。光谱测量范围 350 ~ 2 500 nm，光谱区的分辨率 350 ~ 1 000 nm 为 3 nm，1 000 ~ 2 500 nm 为 10 nm，设定视场角为 5°，扫描时间不设，每片棉叶按左、中、右各测试 1 条稳定的光谱曲线，每片叶片测试前后用 ASD Leaf Clip 上所带参考白板进行校正。

1.3　棉叶的叶绿素和类胡萝卜素含量测定

将测完光谱的棉叶迅速带回实验室，按不同螨害级数归类并进行以下生理指标测定（螨害级数为 4 级的因仅 1 片棉叶，故未做生理指标测定）。

将棉叶去脉剪碎成 1 ~ 2 mm 见方的碎片并混匀，在常温和黑暗条件下用体积分数为 95% 丙酮—乙醇溶液（体积比为 2∶1 的丙酮和无水乙醇混合液配成 95% 的水溶液）浸提至叶片发白，然后用 722 型分光光度计在 440 nm、645 nm 和 663 nm 下进行比色测定，最后利用公式计算得到叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量[10, 11]。

1.4　棉叶螨种类的鉴定

将雄性棉叶螨制成玻片后，在 38 ℃下烘 2 ~ 3 d，然后在显微镜下观察其阳茎末端形状，确定棉叶螨种类。

1.5　数据处理

本试验中所有的光谱反射率数据和生理指标数据用常规的统计分析方法进行分析。获取的光谱数据用 EXCEL 2000 处理，计算出不同螨害级数棉叶的光谱反射率的平均值和标准差，并且作出相应的光谱曲线图。生理指标数据用 SPSS 13.0 软件的方差分析法分析，在方差分析的显著性检验中，平均值用新复极差法（SSR 法）选择划分。

2　结果分析

2.1　不同螨害级数棉叶的叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

叶绿素与类胡萝卜素在植物光合作用过程中起着吸收光能的作用，尤其是叶绿素，对植被的光能利用有着直接关系。由表 1 可以看出，叶绿素含量与棉叶受螨害程度呈负相关，类胡萝卜素含量与棉叶受螨害程度呈正相关。与 0 级相比，螨害级数从 1 级到 3 级，棉叶的叶绿素 a 含量下降 3.39%，27.77%，50.56%，叶绿素 b 含量下降 3.21%，23.26%，41.18%，总叶绿素含量下降 3.35%，26.88%，48.70%。棉叶叶绿素和类胡萝卜素含量有规律的明显的变化为利用遥感技术监测棉叶螨的发生发展情况提供了可能。

表 1　土耳其斯坦叶螨为害棉叶的叶绿素和类胡萝卜素含量变化（$mg/(g \cdot FW)^{-1}$）　（鲜质量）

螨害级数	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	总叶绿素含量	类胡萝卜素含量
0 级	1.505a	0.374a	1.879a	0.080c
1 级	1.454b	0.362a	1.816b	0.081c
2 级	1.087c	0.287b	1.374c	0.121b
3 级	0.744d	0.220c	0.964d	0.197a

注：数据后标有的 a，b，c，d 表示不同螨害级数棉叶的该项生理指标在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

2.2　不同螨害级数棉叶的反射光谱特征分析

植物叶片在可见光区的光谱特征主要受叶绿素等色素的影响，随着土耳其斯坦叶螨为害加重，棉叶的叶绿素含量逐渐减少，这必然会导致可见光区某些波段发生相应的变化。由图 1 中的右上角图可见，在可见光区的 400 ~ 527 nm 和 575 ~ 716 nm 波段，棉叶的光谱反射率随着螨害的加重逐渐增加，特别是螨害级数在 2 级及 2 级以上表现更明显。其中，1 级、2 级、3 级、4 级受害棉叶的反射光谱在 421 ~ 513 nm 波段差异显著，在 614 ~ 702 nm 波段差异极显著，而 0 级与 1 级受害棉叶的反射光谱仅在 455 ~ 486 nm 波段差异显著。因此，当棉叶螨为害症状不明显时，可能无法利用叶片在可见光区光

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

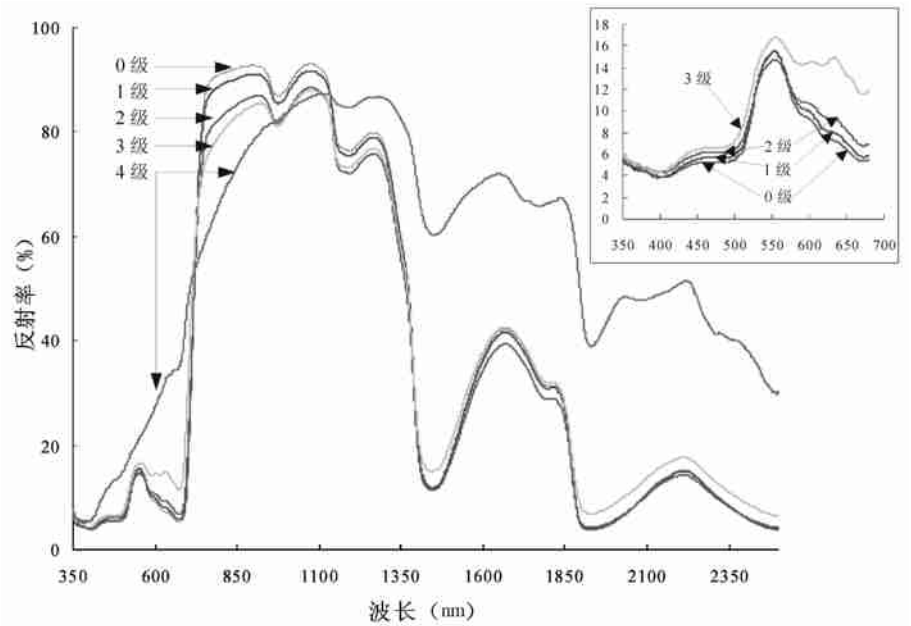

图 1 不同螨害级数棉叶的光谱曲线图

右上角图是 350～680 nm 范围不同螨害级数棉叶的光谱曲线

谱反射率的变化来监测棉叶螨的为害程度；而当为害症状明显时，可以在 614～702 nm 波段中选择敏感波段来监测棉叶螨的为害程度。

在近红外区，受害棉叶反射光谱的变化与土耳其斯坦叶螨刺吸取食，破坏棉叶下表皮的栅栏组织和海绵组织密切相关。由图 1 可见，近红外区的 734～959 nm 波段，棉叶的光谱反射率随着受害的加重逐渐减小，不同螨害级数棉叶的反射光谱在 748～863 nm 波段差异极显著，在 864～912 nm 波段差异显著。因此对于遥感监测棉叶螨来讲，近红外区比可见光区更具价值，可以在 748～863 nm 波段中选取监测棉叶螨早期危害的敏感波段。

2.3 不同螨害级数棉叶的红边及红边参数分析

红边是由于植物在红光波段叶绿素强烈的吸收与近红外波段光在叶片内部的多次散射而形成的强反射造成的。当绿色植物叶绿素含量高、生长旺盛时，“红边”会向红外方向偏移（称红移，即往长波方向移动）；当植物由于感染病虫害（Vane &Goetz，1998）或因污染或物候变化而“失绿”时，则“红边”会向蓝光方向移动（称蓝移）[12]。图 2 是不同螨害级数棉叶的红边，从图中可以看出，棉花受叶螨为害后单叶光谱的红边发生明显的蓝移现象，并且螨害越重，蓝移的距离越大（蓝移距离可见表 2）。

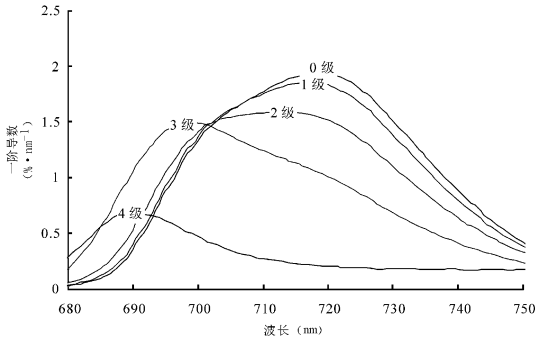

图 2 不同螨害级数棉叶的红边

红边参数是通过计算光谱反射率在 680～750 nm 之间的一阶微分得到，这些参数[13]包括：（1）红边位置（λ_{red}）：当一阶微分值达最大时所对应的波长；（2）红边振幅（$d\lambda_{red}$）：当波长为红边时的一阶微分值。（3）最小振幅（$d\lambda_{min}$）：波长 680～750 nm 之间的最小一阶微分值；（4）红边振幅与最小振幅的比值（$d\lambda_{red}/d\lambda_{min}$）；（5）红

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

边峰值面积($\sum d\lambda_{680\sim750}$):680 ~ 750 nm 之间的光谱一阶微分值包围的面积。

表2 为不同螨害级数棉叶红边参数的变化规律。红边振幅、红边振幅与最小振幅的比值以及红边峰值面积的数值随着螨害加重逐渐减小,并且受害程度不同,减小的程度也不同;最小振幅在螨害级数从 0 级到 3 级时逐渐增大,而4 级时又减小,造成这种现象的原因可能是因为螨害为4 级的叶片已干枯。

表 2 不同螨害级数棉叶红边参数变化规律

螨害级数	λ_{red}(nm)	$d\lambda_{red}$	$d\lambda_{min}$	$d\lambda_{red}/d\lambda_{min}$	$\sum d\lambda_{680\sim750}$
0 级	718	1.9387	0.0307	63.1661	80.7720
1 级	717	1.8532	0.0357	51.8954	78.0159
2 级	713	1.5906	0.0547	29.0718	70.2923
3 级	699	1.4981	0.1842	8.1349	61.7587
4 级	690	0.6858	0.1656	4.1407	22.8051

3 结论与讨论

3.1 土耳其斯坦叶螨为害棉叶后,造成棉花叶片的叶绿素含量下降,类胡萝卜素含量上升。同时,叶螨的刺吸取食破坏了棉叶下表皮组织,使叶片细胞结构发生变化。以上这些在光谱上表现为:在可见光区,绿峰两侧波段的光谱反射率随螨害加重逐渐增大,差异明显;在近红外区,748 ~863 nm 波段的光谱反射率随螨害加重逐渐减小,差异极显著;在中红外区,光谱反射率随螨害加重无明显变化规律。

3.2 利用一阶微分提取了不同螨害级数棉叶的红边,并对红边参数进行了分析,结果表明:棉花受叶螨为害后单叶光谱的红边发生明显的蓝移现象,红边参数中的红边振幅、红边振幅与最小振幅的比值以及红边峰值面积随着螨害加重逐渐减小,且变化非常明显。因此,红边能很好地反映棉叶受棉叶螨危害的程度。

3.3 单叶研究避免了冠层条件下的复杂因子所引起的干扰,对于我们理解棉叶螨危害棉花的光谱特征和进一步研究棉叶螨遥感监测起着一定的作用。在野外条件下,植物冠层光谱的复杂性大大增加。如太阳高度角、土壤背景、叶片阴影、植被覆盖度、冠层结构等因素都将影响冠层光谱。同时,其它的胁迫(如病害、缺素、干旱)也能造成叶片的失绿、斑点、坏死,或者叶片温度的变化也会对冠层光谱产生很大影响。因此,在单叶研究中得到的光谱关系可能很难用于田间冠层的识别,但单叶研究中得到的一些结果却往往能对冠层光谱的研究起一定的指导作用,如理解监测机理、选择敏感波段等。

本试验证明棉叶螨为害程度可以在棉叶的光谱中得到响应,并认为近红外区比可见光区更具利用的价值。试验的下一步研究的重点将是对受害不同的棉花冠层光谱的研究。

参 考 文 献

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

2 Malthus T. J., Maderia A. C. *Remote Sens. Environ.*, 1993, **45**: 107~116.

3 Adams M. L., Philpot W. D., Norvell W. A. *Int. J. Remote Sens.*, 1999, **20**(18): 3 663~3 675.

4 Zhang M. H., Qin Z. H., Liu X., Ustin S. L. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 2003, **4**: 295~310.

5 Kobayashi T., Kanda E., Kitada K., Ishiguro K., Torigoe Y. *Am. Phytopathol. Soc.*, 2001, **91**(3): 316~323.

6 吴曙雯,王人潮,陈晓斌,沈掌泉,史舟.上海交通大学学报(农业科学版),2002,**20**(1):73~74.

7 黄木易.冬小麦条锈病害的高光谱遥感监测(硕士学位论文).安徽:安徽农业大学,2004. http://ckrd.cnki.net/grid20/Navigator.aspx?ID=20

8 乔红波.麦蚜、白粉病为害后冬小麦冠层高光谱的测量与分析(硕士学位论文).北京:中国农业科学院,2004. http://ckrd.cnki.net/grid20/Navigator.aspx?ID=20

9 武予清,刘芹轩,钟昌珍.河南农业大学学报,1997,**31**(3):217~220.

10 杨敏文.光谱实验室,2002,**19**(4):478~481.

11 李合生 主编.植物生理生化实验原理和技术.北京:高等教育出版社,2000.134~137.

12 浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用.北京:高等教育出版社,2000.90.

13 王秀珍,王人潮,李云梅,沈掌泉.浙江大学学报(农业与生命科学版),2001,**27**(3):301~306.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n