

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0112-03

## 植物不同叶片表面特征的偏振光谱特性研究

秦川<sup>1</sup>, 黄敬峰<sup>2</sup>, 王海峰<sup>3</sup>, 孙涵<sup>1, 4</sup>, 张垚<sup>2</sup>, 李莹莹<sup>2</sup>, 华瑾<sup>1</sup>

(1.广西师范学院地理科学与规划学院/北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室

/广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001; 2. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所/浙江省农业遥感与信息技术重点研究实验室, 浙江 杭州 310058; 3.中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900; 4.内蒙古新天元防灾减灾研究院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:**针对农业气象与生态自动化观测对偏振光图像处理的迫切需求,利用带偏振片的便携式光谱仪和室内多角度观测平台对具有毛刺特征的新老玉米叶片、具有绒毛特征的枇杷和金光菊叶片、具有蜡质层特征的茶花和桃树叶片等几组代表性植物进行了偏振反射光谱测量和分析。结果表明:叶片表面毛刺越多、绒毛越多、蜡质层越薄,其偏振反射越低;三种特征中对偏振度的影响最大是蜡质层,毛刺次之,绒毛的影响相对较小;蜡质层对偏振反射和偏振度的影响均很明显。研究结果为农业气象与生态自动化观测以及利用偏振光谱对植物进行遥感识别、分类与监测评估提供了实验基础和科学依据。

**关键字:**偏振反射;植物叶片;叶面特征

**中图分类号:**P49

**文献标识码:**A

## Study on polarization spectrum characteristics of different foliar features of plants

Qin Chuan<sup>1</sup>, Huang Jingfeng<sup>2</sup>, Wang Haifeng<sup>3</sup>, Sun Han<sup>1,4</sup>, Zhang Yao<sup>2</sup>, Li Yingying<sup>2</sup>, Hua Cui<sup>1</sup>

(1.School of Geography &amp; Planning, Guangxi Teachers Education University/ Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf/ Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning, 530001, China;2.Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Application, Zhejiang University/ Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing and Information System, Zhejiang Province, Hangzhou, 310058, China;3. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering and Physics, Mianyang, 621900, China;4. Xintianyuan Institute of Disaster Prevention and Reduction, Inner Mongolia, Hohhot, 010051, China)

**Abstract:** Be aimed at the urgent demand of agrometeorological and ecological automatic observation for polarized light image processing, the portable spectrometer with polarizer and the indoor multi-angle observation platform were applied to measure and analyze the polarized reflectance spectra of several groups of representative plant leaves with deferent foliar features, including the new and old corn leaves with burr feature, the leaves of loquat and coneflower with villi feature, and leaves of Camellia and peach with a waxy layer. The results indicate that, the more burr, the more villi and the thinner of wax layer on leaves surface, the lower of polarized reflectance. In three features, the one has greatest impact on the degree of polarization is the waxy layer the second is burr and the impact of villi is relatively small. The wax layer has obvious impact both on the polarization reflectance and on the degree of polarization. The results of this study provide an experimental and scientific basis for agrometeorological and ecological automatic observation and the application of polarization spectra in the remote sensing identification, classification, monitoring and evaluation of plants.

**Keywords:** polarization reflectance; plant leaf; foliar feature

收稿日期:2017-01-15

基金项目:国家自然科学基金项目(41471277)、国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406027-3)资助。

作者简介:秦川(1989-),男,广西南宁市人,硕士研究生,主要从事遥感与地理信息应用研究。Email:qinch806@126.com

## 1 引言

偏振光遥感是多年来备受关注的一种对地观测技术<sup>[1]</sup>,与传统遥感相比,在目标识别和信息提取方面具有得天独厚的优势,在环境、气象、军事、海洋、空间探测等方面具有广阔的应用前景,在应用偏振光图像进行作物发育期特征识别和作物分类等方面也同样大有作为。国外早在 20 世纪 70 年代就已高度重视,并在目标的偏振散射特征、偏振信息的处理和特征提取、偏振遥感仪器的研制等方面做了大量的实验和研究。国内有关偏振遥感的研究起步较晚,基础也较薄弱,特别是对于植物偏振特性的研究较少,但也取得了一些有价值的研究成果。如赵云升等人<sup>[2]</sup>通过研究旱金莲、海桐和橡皮树等植物单叶的偏振反射特性发现,植物叶片的偏振反射特性与植物本身的性质、测量波长、观测角度有很大的关系;宋开山等<sup>[3]</sup>研究了不同物候期的玉米单叶偏振反射特征与物候期、方位角、光线入射角、探测角、波段等主要因素的关系,以及东北杨树、山榆、白桦、柞树、曲柳等五种高大落叶乔木单叶的偏振特性<sup>[4]</sup>;孟夏等<sup>[5]</sup>测量并采用斯托克斯矢量法计算了绿萝、银杏、苹果三种叶片的多角度偏振光谱偏振度,进而通过模型分析了叶绿素、水分含量与叶片多角度光谱偏振度的关系。但上述研究对叶片的表面特征分类尚不够清晰,为此,本文侧重研究叶片表面毛刺、绒毛和蜡质层的偏振反射光谱特征,为农业与生态自动化观测系统中应用偏振光图像开展作物偏振光遥感识别、分类和应用<sup>[6-12]</sup>研究提供依据。

## 2 实验材料与方法

### 2.1 实验样本

实验样本分为三组:第一组为新、老玉米叶片,玉米叶片表面有细小的毛刺,新叶的毛刺较少,随着玉米植株的生长,毛刺会逐渐增多加密;第二组为枇杷和金光菊叶片,这两种叶片表面都长有细密的绒毛,其中枇杷新叶表面绒毛密集,金光菊表面绒毛较为稀疏,但绒毛更长;第三组为茶花和桃树叶片,茶花叶片表面蜡质层较厚,镜面反射明显,而桃叶表面蜡质层则较薄,镜面反射不如茶花叶片明显。样本采集时间为 2016 年 7 月 14 日至 29 日,采集地点为浙

江大学紫金港校区实验地。样本采集后立即放入保鲜箱携带至光谱实验室测量。

### 2.2 实验设计

第一组样本主要用于分析玉米新老叶片的毛刺偏振光谱特性。按照同株相比原则,每植株从上往下连续采集 5 张叶片从新叶到老叶构成一组样本,共采集 15 株计 75 个样本。测量结果按顺序编号记录,以免在数据处理时发生混淆。

第二组样本主要分析叶片绒毛的偏振光谱特性。选择金光菊和枇杷 2 种植物,每种植物各取相近成熟度叶片 15 个样本。先将采集来的带有绒毛的样本固定在载物台上,测量其偏振反射光谱,然后用干毛巾擦去表面绒毛后再用同样方法测量,供分析比较绒毛的偏振反射特性。

第三组样本主要分析叶片蜡质层的偏振光谱特性。选择茶花和桃树 2 种植物,与第二组样本的采集方法相同,每种植物各取相近成熟度叶片 15 个样本。由于蜡质层不易破坏,故只进行一次测量,仅对比分析不同表面蜡质层的偏振反射特性。

### 2.3 偏振反射光谱测量

测量设备是美国 ASD 公司生产的 FieldSpec3 Hi-Res 便携式高光谱仪,观测波段范围为 350~2500nm;多角度观测平台由浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所提供,包括光源、载物台和探测控制系统等部分组成。工作方式是以 150w 直流卤钨灯为光源,光源支架在 0°~180°之间可调,探测支架的方位角在 0°~360°之间可调(180°为镜面反射方向)。

本次测量设计:光谱仪的光纤探头放置在探测支架上,探头视场角为 8°,探测天顶角在 0°~90°之间可调,探头中心始终对准载物台中心。偏振镜头安装在光纤探头前,起偏波段为 420~720nm,旋转间隔 3°。

测量方法:首先将光源和 ASD 光谱仪打开预热 10~30 分钟,待仪器状态稳定后再开始测量。观测平台的入射天顶角调整为 30°,探测方位角为 180°,探测天顶角为 30°。

测量步骤:首先对 ASD 光谱仪进行白板标定,接着用双面胶将样本固定在载物台上;载物台有黑色衬底,以避免反射光对样品的影响;将样本表面尽

量展平,以防止叶片表面起伏影响样本的偏振反射率;旋转偏振镜头的偏振角从 0°开始,调节光源的入射天顶角,镜头由手动旋转到固定刻度卡位;RS3 软件自动连续采集 15 次读数,并求其平均作为该偏振角下的测量值。然后每间隔 15°旋转偏振镜头,用上述同样方法测量并记录下每个状态的反射光谱,直到偏振片旋转至 180°为止。

2.4 数据处理

利用光谱仪自带的 ViewSpecPro6 软件对光谱

进行预处理,剔除不起偏的 350~420nm 和 720~2500nm 波段,并用 Excel 软件进行数据分析,通过分类排序的方法筛选出每个样本的最高反射率  $R_{max}$  和最低反射率  $R_{min}$ ,再根据(1)、(2)式分别计算出偏振反射因子和偏振度:

$$R_q=\frac{R_{max}-R_{min}}{2}$$
(1)

$$DOP=\frac{R_{max}-R_{min}}{R_{max}+R_{min}}$$
(2)

对每组样本的计算结果按波段一一对应求出平

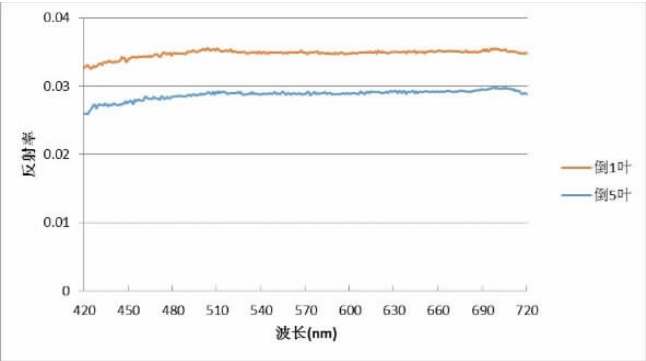


图 1a 玉米新叶与老叶的偏振反射光谱

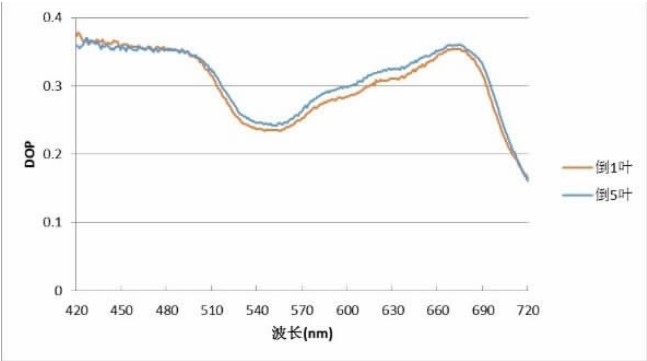


图 1b 玉米新叶与老叶的偏振度

图 1 玉米新老叶片毛刺的偏振光谱特性

表 1 三组实验样本的最小、最大值

实验样本		反射率 $R_q$		偏振度 $DOP$	
		最小值	最大值	最小值	最大值
第一组	玉米新叶	0.0325	0.0355	0.1659	0.3781
	玉米老叶	0.0259	0.0299	0.1614	0.3697
	枇杷(有绒毛)	0.0181	0.0216	0.0772	0.2736
第二组	金光菊	0.0126	0.0146	0.0777	0.3642
	枇杷(无绒毛)	0.0312	0.0357	0.1232	0.5488
第三组	茶花	0.0831	0.1079	0.2942	0.4544
	桃树	0.0150	0.0166	0.0866	0.4085

均值和最小、最大值。

3 三组样本的偏振光谱特性分析

3.1 叶片毛刺的偏振光谱特性

玉米新叶毛刺较少,老叶毛刺较多。新叶为从根部往上数的倒数第 1 张叶片,老叶为倒数第 5 张叶片,实验测量结果如图 1、表 1 所示。

由图 1 和表 1 可见,毛刺较少的新叶(倒 1 叶)反射率较高,在 0.0325~0.0355 之间(表 1);老叶毛刺较多(倒 5 叶),反射率较低,在 0.0259~0.0299 之间,即叶片的毛刺越多,偏振反射越低。新叶与老叶的偏振度差别不大,其变化范围分别在 0.1659~0.3781 和 0.1614~0.3697 之间。

3.2 叶片绒毛的偏振光谱特性

枇杷叶片表面绒毛密集,长度较短,分布均匀,且易擦除;相比之下,金光菊叶片表面绒毛较为稀疏,绒毛较长,起伏较大,不易擦除。实验测量结果如表 1、图 2 所示。

由表 1、图 2a~b 可见,枇杷叶片表面偏振反射较高,在 0.0181–0.0216 之间,而偏振度较低,在 0.0772–0.2736 之间;金光菊叶片表面偏振反射较低,在 0.0126–0.0146 之间,偏振度较高,在 0.0777–

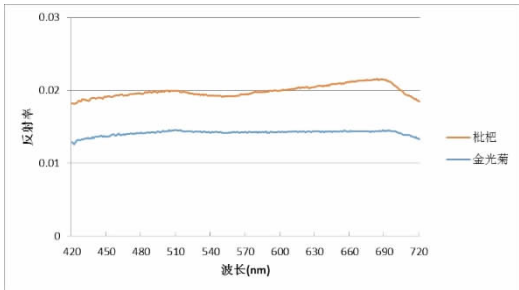


图 2a 枇杷与金光菊叶片的偏振反射光谱

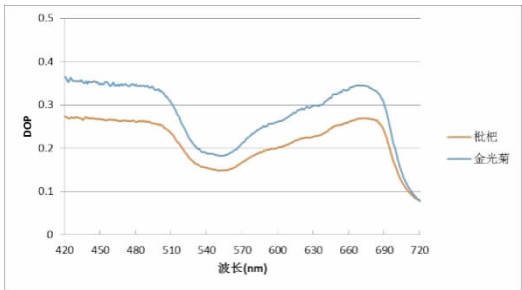


图 2b 枇杷与金光菊叶片的偏振度

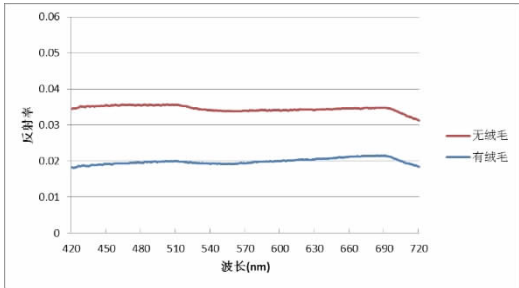


图 2c 枇杷叶片擦去绒毛前后的偏振反射光谱

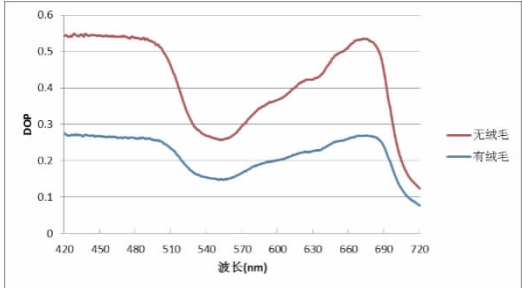


图 2d 枇杷叶片擦去绒毛前后的偏振度

图 2 叶片绒毛的偏振光谱特性

0.3642 之间,差异较为明显。说明叶片表面绒毛密集程度对偏振度影响越大,对偏振反射影响较小。  
由表 1、图 2c 可见,有绒毛的枇杷叶片表面偏振反射率在 0.0181–0.0216 之间,擦去绒毛后,其偏振反射率达 0.0312–0.0357,即有绒毛偏振反射较低,去绒毛后偏振反射明显升高,两者差异十分明显。

0.5488 之间,表明绒毛对叶片的偏振反射具有显著影响。

3.3 叶片蜡质层的偏振光谱特性

茶花叶片和桃树叶片均为表面光滑无绒毛的叶片,其中茶花叶片的蜡质层较厚,桃树叶片的蜡质层较薄。由表 1 和图 3 可见,茶花叶片的偏振反射率随着波长的增加呈上升趋势,而桃树叶片的偏振反射率几乎不随波长变化;茶花叶片的偏振反射率在 0.0831–0.1079 之间,偏振度为 0.2942–0.4544,而桃

由表 1、图 2d 可见,去绒毛前后其偏振度的变化差异明显,分别在 0.0772–0.2736 和 0.1232–

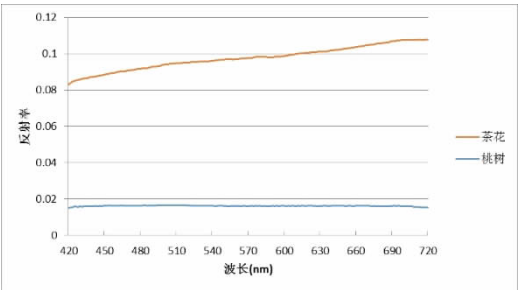


图 3a 茶花与桃树叶片的偏振反射光谱

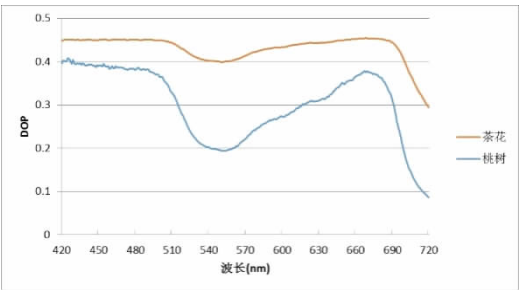


图 3b 茶花与桃树叶片的偏振度

图 3 叶片蜡质层的偏振光谱特性

树叶片偏振反射率为 0.0150–0.0166, 偏振度在 0.0866–0.4085 之间。实验结果表明:叶片蜡质层越厚,偏振反射越强,对偏振度的影响越大。。

## 4 结论

(1)植物叶片表面毛刺越多、绒毛越多、蜡质层越薄,其偏振反射越低。

(2)对偏振度的影响是蜡质层最大,毛刺次之,绒毛相对较小。

(3)蜡质层对偏振反射和偏振度的影响均很明显,对作物分类识别具有重要的应用价值。

(4)植物偏振光图像是作物发育期识别、分类和长势、灾害评估等深化研究与应用的新的有效信息源。该研究为农业气象与生态自动化观测以及利用偏振光谱对植物影像进行遥感识别与检测提供了实验基础和理论依据。

### 参考文献:

- [1] 林跃春, 郭金海, 雷阳.浅析偏振光遥感的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34 (2): 147–151.
- [2] 赵云升, 黄方, 金伦, 等.植物单叶偏振反射特征研究 [J]. 遥感学报, 2000, 4 (2): 131–135.
- [3] 宋开山, 赵云升, 金伦.不同物候期的玉米单叶偏振反射特征分析 [J]. 东北师大学报, 2000.32 (4): 112–115.
- [4] 宋开山, 张柏, 赵云升.东北主要高大落叶乔木单叶的偏振特性研究 [J]. 东北师大学报, 2004, 36 (1): 88–94.
- [5] 孟夏, 谢东辉, 汪艳, 等.叶片多角度偏振光谱特性影响因素的实验研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34 (3): 619–624.
- [6] 韩怀阳, 王俊飞.虚拟仪器技术的农田气象信息远程监测系统开发探析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (2): 59–61.78–81, 84.
- [7] 周冬梅, 欧阳兆云, 张和稳, 等.田阳干旱指数对早玉米产量影响的农业气候评价 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (3): 75–78..
- [8] 熊文兵, 罗永明, 曾鹏, 等.广西森林火险等级精细化监测与预报系统研究 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (2): 38–41.
- [9] 黄雪松, 陆虹, 廖雪萍, 等.广西典型石漠化区旱涝灾害分布特征及防御对策 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (2): 59–61.
- [10] 邓雅倩, 林确略, 彭武坚.大容山国家森林公园旅游气候舒适度评价 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (3): 45–49.
- [11] 李文慧, 杨斌, 黄永璘, 等, 无人机遥感在三维地形建模中的应用初探 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (4): 45–49.
- [12] 胡胜, 胡东明, 汪瑛, 等.双线偏振多普勒雷达及其探测技术的应用 [J]. 广东气象, 2006, (4): 12–16.