

利用多光谱扫描仪测定空心莲子草冠层光谱的影响因素

史梦竹^{1,2*}, 傅建伟^{1,2*}, 郭建英², 李建宇¹, 马明勇³
¹福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013; ²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 100193; ³湖南省农业科学院植物保护研究所, 湖南 长沙 410125

摘要:【背景】太阳光的入射辐射是影响多光谱扫描仪测定植物冠层光谱反射率的主要因素。本研究旨在探讨不同测定条件对空心莲子草冠层光谱特征值的影响, 确定应用多光谱扫描仪测定空心莲子草冠层光谱特征的适宜环境条件。【方法】采用多光谱扫描仪, 在不同天气条件、仪器探头高度、太阳高度角、叶片湿度等外界因素条件下, 测定空心莲子草冠层光谱反射率的变化。【结果】天气条件、仪器探头高度、太阳高度角、叶片湿度 4 个因素对空心莲子草冠层在绿光区 560 nm、黄光区 660 nm 和近红外光区 810 nm 3 个特征波段处的光谱反射率均有显著影响。【结论与意义】利用多光谱扫描仪测定空心莲子草冠层光谱数据, 应选择晴朗无云的天气, 仪器探头距离冠层 1.3 m, 适宜的数据采集时间为 10:00 ~ 14:00, 以保障适度的太阳高度角和干燥的叶面, 从而保持稳定的光谱测量结果。本研究可为完善多光谱扫描评价技术提供理论依据。

关键词: 多光谱扫描仪; 空心莲子草; 冠层光谱; 反射率

Factors affecting the canopy spectrum of the alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, measured by a canopy imaging spectrometer

Meng-zhu SHI^{1,2*}, Jian-wei FU^{1,2*}, Jian-ying GUO², Jian-yu LI¹, Ming-yong MA³
¹Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; ²State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; ³Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China

Abstract: 【Background】The radiation of incident solar rays is the key factor affecting the plant canopy spectral reflectance. This study aimed to evaluate the impacts of environmental conditions on the canopy spectral reflectance by the invasive aquatic weed, *Alternanthera philoxeroides*, thus to establish the appropriate conditions for multispectral radiometer usage. 【Method】The canopy spectral reflectance of *A. philoxeroides* under different weather condition, instrument lens heights, solar elevation angles and leaf moisture levels were measured by a multi-spectral radiometer. 【Result】All of the four factors examined affected the canopy spectral reflectance significantly at 560 nm within the green light region, 660 nm within the red light region and 810 nm within the near-infrared light region. 【Conclusion and significance】The results indicated that the spectral scanning experiment should be carried out during 10:00 to 14:00 am in sunny days and the height of radiometer lens to canopy should be kept at 1.3 m above canopy, thus to ensure modest solar elevation angle and dry plant leaves, because the plant canopy spectral reflectance in these conditions can keep steady. The research could provide a basis for improving evaluation technology of the canopy spectrum.

Key words: multispectral radiometers; *Alternanthera philoxeroides*; canopy spectrum; reflectance

遥感技术是一种远距离、在不直接接触目标物体的情况下, 通过接收目标物体的反射或辐射电磁波, 探测地物波谱信息并获取目标地物的光谱数据与图像, 从而实现对地物进行定位、定性或定量分析的技术(朱述龙和张占睦, 2000)。植物的反射和辐射均来自太阳光, 太阳光照的强弱影响了植物的反射能力, 而影响太阳光反射和辐射的外界条件均可能对光谱测量产生一定影响, 因而, 有必要对不同的特征波段加以分析比较, 明确外界条件对光谱测量差异的影响(Miller *et al.*, 1991)。

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb, 又名喜旱莲子草, 属苋科 *Amaranthaceae* 莲子草属 *Alternanthera* Forsk, 起源于南美洲, 现广泛分布于亚洲、欧洲、美洲、大洋洲和非洲的大多数国家和

地区(Schooler *et al.*, 2007)。自 20 世纪 30 年代传入我国上海,现已遍布我国 20 多个省(市、自治区),发生面积超过 80 万 hm^2 ;由于其在水域和旱地均可泛滥成灾,被列为我国最具危险性的 20 种外来入侵物种之一(曹塄程等, 2004; 张桂芬, 2009)。空心莲子草生活力极强,繁殖速度快,防治困难,化学防治是目前最主要的防治措施(马瑞燕, 2005)。但由于化学防治容易造成环境污染,因此生物防治显得尤为重要。生物防治空心莲子草的主要方法有天敌昆虫防治、生防菌防治、植物竞争替代和化感作用(沈国军等, 2005)。其中,天敌昆虫是最主要的生防方法。美国和澳大利亚是开展空心莲子草生物防治最早、取得成效最显著的国家。1964 年,首次在美国的加利福尼亚州和南卡罗来纳州释放莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* Selma & Vogt,并在南卡罗来纳州成功建立种群(Buckingham, 1996; Vogt *et al.*, 1992)。1986 年 5 月,中国农业科学院从美国佛罗里达州引入莲草直胸跳甲,并进行了寄主专一性测定,确认该跳甲可在我国安全利用(王韧和王远, 1987)。目前在我国,空心莲子草的生物防治主要以释放天敌莲草直胸跳甲为主,且已成功应用于水生型空心莲子草的防除(李宏科和王韧, 1994; 黄大兴等, 1996)。

国内外已有较多关于空心莲子草生物防治的报道,而利用冠层光谱特征评价莲草直胸跳甲对空心莲子草控制效果的研究尚未见报道。为了更好地利用光谱评价莲草直胸跳甲的生防效果,首先要探讨影响试验仪器多光谱辐射仪的外界环境因素。本研究采用多光谱扫描仪测定空心莲子草冠层的光谱特征,探讨不同测定条件对空心莲子草冠层光谱特征值的影响,以期确定应用多光谱扫描仪测定空心莲子草冠层光谱特征的适宜环境条件,完善光谱扫描的评价技术体系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

空心莲子草选自湖南省农业科学院植物保护研究所的野外试验田(30 m × 50 m),覆盖度达 100%。

多波段光谱辐射仪,美国 CROPSCAN 公司生产,型号 MSR87,8 波段设计,中心波长分别为 460、510、560、610、660、710、760、810 nm;波段宽 10 nm;反射率区间 0 ~ 100%;分辨率 0.06%。

1.2 试验方法

本试验选取绿光区(560 nm)、黄光区(660 nm)和近红外光区(810 nm)3 个特征波段研究影响多光谱辐射仪测定空心莲子草冠层光谱的外界因素。

本试验于 2008 年 8 ~ 10 月进行。参考乔红波等(2005)研究冬小麦的冠层光谱反射率的方法,选择未被莲草直胸跳甲取食的空心莲子草试验田,用多波段光谱辐射仪测定在天气情况(有云和晴天)、仪器探头高度(探头与空心莲子草冠层间距离分别为 0.5、1.0、1.3 和 1.5 m)、太阳高度角(10:00、12:00、14:00 和 16:00)、叶面干湿度(干和湿)等不同条件下空心莲子草冠层的光谱反射率。每个处理随机设置 5 个观测点,每点重复测定 10 次,取平均值作为该观测样点的冠层光谱反射率。探头对准冠层中央,垂直向下距冠层顶适当高度进行测定,并采用小键盘操作,将数据记录在数据采集器(DLC, CROPSCAN, Rochester, MN)中,通过 COM 接口输入计算机,再经过仪器自带软件(MSR. BAS、MSR. CNG 和 Cropscan MSR)转换为地物的光谱反射率。

1.3 数据处理

采用单因素方差分析(one-way ANOVA; Duncan)比较多个处理间空心莲子草冠层光谱反射率的差异。以上数据分析采用统计软件 SAS v8 进行。

2 结果与分析

2.1 天气条件对光谱测量的影响

在有云和晴天条件下,空心莲子草冠层光谱反射率在 560、660 和 810 nm 3 个特征波段均具有显著差异(表 1),可见,天气条件对光谱扫描仪的测定结果具有较大影响。

2.2 仪器探头高度对光谱测量的影响

本试验所用多光谱扫描仪的田间观测直径约为光谱扫描仪探头距离冠层高度的一半(参见仪器说明书),因此,仪器高度对空心莲子草冠层反射率也会产生一定影响。研究结果表明,在 560 和 660 nm 波段处,随着仪器探头高度从 0.5 m 升高到 1.5 m,空心莲子草冠层的反射率随之显著提高,但在 810 nm 波段处,空心莲子草冠层的反射率则随之显著降低(表 2)。除了在 560 nm 波段处,探头高度为 0.5、1.0 m 的 2 个处理间空心莲子草冠层光谱反射率无显著差异外,在同一波段的各处理间均具有显著差异(表 2)。

表 1 天气条件对空心莲子草冠层光谱反射率的影响
Table 1 Effects of weather conditions on the canopy reflectance spectrum of *A. philoxeroides*

波长 Wavelength /nm	反射率 Reflectance/%		<i>F</i> , <i>df</i> , <i>P</i>
	晴天 Sunny day	有云 Cloudy day	
560	10.02 ± 0.04a	8.51 ± 0.03b	<i>F</i> = 930.47, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001
660	9.76 ± 0.05a	6.57 ± 0.01b	<i>F</i> = 3475.44, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001
810	25.15 ± 0.07b	29.33 ± 0.04a	<i>F</i> = 3000.44, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同行数据后附不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, ANOVA; Duncan)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$, ANOVA; Duncan).

表 2 仪器探头高度对空心莲子草冠层光谱反射率的影响
Table 2 Effects of instrument lens height on the canopy reflectance spectrum of *A. philoxeroides*

波长 Wavelength /nm	仪器探头高度 Height of instrument lens to canopy/m	反射率 Reflectance/%	<i>F</i> , <i>df</i> , <i>P</i>
560	0.5	8.73 ± 0.02a	<i>F</i> = 161.45, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	1.0	8.77 ± 0.06a	
	1.3	10.03 ± 0.14b	
	1.5	10.67 ± 0.02c	
660	0.5	5.07 ± 0.03a	<i>F</i> = 461.25, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	1.0	6.31 ± 0.10b	
	1.3	8.68 ± 0.20c	
	1.5	10.41 ± 0.03d	
810	0.5	45.51 ± 0.14a	<i>F</i> = 2004.48, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	1.0	39.97 ± 0.10b	
	1.3	37.21 ± 0.08c	
	1.5	34.37 ± 0.09d	

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, ANOVA; Duncan)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, ANOVA; Duncan).

2.3 叶面湿度对光谱测量的影响

叶面湿度对空心莲子草冠层在 560、660 和 810 nm 波段处反射率的影响均较大,潮湿的空心莲子草叶面的冠层光谱反射率均显著高于干燥的空心莲子草叶面(表 3)。这可能是因为潮湿的叶面增加了空心莲子草对光的反射能力,使得空心莲子草的光谱反射率在各特征波段均发生明显变化。

2.4 太阳高度角对光谱测量的影响

太阳高度角与昼夜中的时间变化密切相关,因此,本研究采用一天中的不同时间代表不同的太阳高度角(吴曙雯等,2002)。在 10:00、12:00、14:00 和 16:00 4 个时段进行的空心莲子草冠层光谱测定

结果表明,太阳高度角对空心莲子草冠层在不同波段的反射率具有较大影响(表 4)。在 560、660 和 810 nm 波段处,冠层光谱反射率在 10:00 ~ 14:00 呈显著下降趋势;在 560 和 660 nm 处,16:00 时冠层光谱反射率回升,在 810 nm 处则继续下降。

表 3 叶面湿度对空心莲子草冠层光谱反射率的影响
Table 3 Effects of leaf wetness on the canopy reflectance spectrum of *A. philoxeroides*

波长 Wavelength /nm	反射率 Reflectance/%		<i>F</i> , <i>df</i> , <i>P</i>
	干叶 Dry leaves	湿叶 Wet leaves	
560	10.02 ± 0.04b	11.10 ± 0.01a	<i>F</i> = 880.15, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001
660	9.76 ± 0.05b	10.75 ± 0.03a	<i>F</i> = 275.78, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001
810	25.15 ± 0.07b	27.59 ± 0.12a	<i>F</i> = 316.33, <i>df</i> = 1, 8, <i>P</i> < 0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同行数据后附不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, ANOVA; Duncan)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$, ANOVA; Duncan).

表 4 太阳高度角对空心莲子草冠层光谱反射率的影响
Table 4 Effects of solar elevation angle on the canopy reflectance spectrum of *A. philoxeroides*

波长 Wavelength /nm	测定时间 Measure time	反射率 Reflectance/%	<i>F</i> , <i>df</i> , <i>P</i>
560	10:00	10.02 ± 0.01a	<i>F</i> = 854.96, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	12:00	8.82 ± 0.03b	
	14:00	7.45 ± 0.04d	
	16:00	7.91 ± 0.06c	
	16:00	7.91 ± 0.05b	
660	10:00	8.80 ± 0.02a	<i>F</i> = 581.60, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	12:00	7.03 ± 0.04b	
	14:00	5.99 ± 0.07c	
	16:00	7.01 ± 0.05b	
	16:00	7.01 ± 0.05b	
810	10:00	36.48 ± 0.03a	<i>F</i> = 2285.24, <i>df</i> = 3, 16, <i>P</i> < 0.0001
	12:00	30.31 ± 0.03b	
	14:00	23.35 ± 0.04c	
	16:00	22.40 ± 0.07d	
	16:00	22.40 ± 0.07d	

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, ANOVA; Duncan)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, ANOVA; Duncan).

3 结论与讨论

不同植物在光谱反射和辐射特性等方面会表现出一定的差异,从而在光谱曲线上形成对该物体具有诊断意义的光谱特征。利用多光谱遥感技术监测作物生长状况和病虫害发生情况,进行作物产量估计、植被覆盖度估算、地表植被分类、森林灾害

监测等,已得到越来越广泛的应用(陈程鹏等,2006;方红亮和田庆久,1998)。

由于多光谱扫描仪采集的光谱数据主要是植物冠层的光谱反射率,因此,太阳光的入射与辐射是影响数据采集的主要因素。已有研究表明,天气条件、叶片湿度和太阳高度角也是影响植物冠层反射率的重要因素。如 Adcock *et al.* (1990) 认为,有云的情况对作物冠层光谱反射率有很大影响;为减少大气条件对光谱测量的影响,光谱采集应该在相对稳定的大气条件下进行,并在最短时间内完成,以降低太阳入射与辐射的变化对作物冠层反射率的影响。乔红波等(2005)研究证实,光谱数据采集最好在接近中午时分进行。Pinter (1986) 研究发现,叶片湿度对可见光波段的光谱反射率影响较大,对近红外波段的影响则不显著。Guan & Nutter (2001) 研究发现,叶面湿度能显著增加紫花苜蓿 *Medicago sativa* L. 冠层光谱的反射率。

绿色植物的光谱反射曲线具有较好的一致性:560 nm 附近绿光区具有较高的光谱反射率,660 nm 红光区的光谱反射率较低,而在进入近红外区 720 nm 波段光谱反射率开始急剧上升,并在近红外区维持很高的光谱反射率(乔红波等,2005)。前人的研究多选取绿光区 560 nm、红光区 660 nm 和近红外区 810 nm 3 个特征波段进行光谱分析(乔红波等,2005;吴曙雯等,2002;张俊华和张佳宝,2008),因此,本研究也选取这 3 个特征波段来探讨影响多光谱辐射仪测定空心莲子草冠层光谱的外界因素。

本研究发现,在有云阴天和晴天条件下,空心莲子草冠层的光谱反射率在 3 个特征波段均具有显著差异,表明天气条件对光谱测量的影响较大。由于多光谱扫描仪的田间观测直径是仪器探头距离冠层高度的一半,仪器探头高度对空心莲子草冠层光谱反射率也具有显著影响;在 560 和 660 nm 波段,随着仪器探头升高,空心莲子草冠层的反射率也随之提高;但在 810 nm 波段的结果却与之相反。叶片湿度对空心莲子草冠层在各个波段的反射率也有显著影响,冠层反射率在叶片潮湿时显著高于叶片干燥时的处理。通过在不同时间测定空心莲子草冠层光谱,发现太阳高度角对空心莲子草冠层在各个波段的反射率影响也较大。因此,在使用多光谱扫描仪(8 波段)测定空心莲子草冠层光谱数据时,应尽量选择晴朗无云的天气,适宜的数据采集时间为 10:00 ~ 14:00,以保障适度的太阳高

度角,且在此时间段植物叶片上的露水已经蒸发,从而降低了叶片湿度对光谱测量的影响。

参考文献

- 曹勘程,郭美霞,张向才,田宇,吕平香,柏亚男. 2004. 我国主要的外来恶性杂草及防治技术. 中国植保导刊,24(3):5-8.
- 陈鹏程,张建华,雷勇辉,李眉眉. 2006. 高光谱遥感监测农作物病虫害研究进展. 农业信息科学,(2):388-391.
- 方红亮,田庆久. 1998. 高光谱遥感在植被监测中的研究综述. 遥感技术与应用,13(1):68-76.
- 黄大兴,李伟群,邓国荣. 1996. 引入曲纹叶甲防治空心莲子草研究. 广西植保,(1):1-4.
- 李宏科,王韧. 1994. 空心莲子草叶甲的越冬保护和大量繁殖释放研究. 生物防治通报,10(1):11-14.
- 马瑞燕. 2005. 喜旱莲子草//万方浩,郑小波,郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京:科学出版社,715-739.
- 乔红波,程登发,孙京瑞,田喆,陈林,林芙蓉. 2005. 麦蚜对小麦冠层光谱特性的影响研究. 植物保护,31(2):21-26.
- 沈国军,徐正浩,俞谷松. 2005. 空心莲子草的分布、危害与防治对策. 植物保护,31(3):14-18.
- 王韧,王远. 1987. 我国南方生物防治空心莲子草的必要性评价. 农垦综防,(2):32-44.
- 吴曙雯,王人潮,陈晓斌,沈掌泉,史舟. 2002. 稻叶瘟对水稻光谱特性的影响研究. 上海交通大学学报:农业科学版,20(1):73-84.
- 张桂芬. 2009. 中国主要入侵物种的发生为害与扩张//万方浩,郭建英,张峰. 中国生物入侵研究. 北京:科学出版社,26-31.
- 张俊华,张佳宝. 2008. 不同生育期冬小麦光谱特征对叶绿素和氮素的响应研究. 土壤通报,39(3):586-592.
- 朱述龙,张占睦. 2000. 遥感图像获取分析. 北京:科学出版社.
- Adeock T E, Nutter F W and Banks P A. 1990. Measuring herbicide injury to soybean (*Glycine max*) using a radiometer. *Weed Science*, 38: 625-627.
- Buckingham G R. 1996. Biological control of alligatorweed *Alternanthera philaxroide* the world's first aquatic weed success story. *Castanea*, 61: 232-243.
- Guan J and Jr, Nutter F W. 2001. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. *Plant Disease*, 85: 865-874.
- Jr, Pinter P J. 1986. Effect of dew on canopy reflectance and temperature. *Remote Sensing of Environment*, 19: 187-205.
- Miller J R, Boyer M G, Belanger M and Hare E W. 1991. Seasonal patterns in leaf reflectance red edge characteristics. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1509-1523.
- Schooler S S, Yeates A G, Wilson J R U and Julien M C. 2007. Herbivory, mowing, and herbicides differently affect production and nutrient allocation of *Alternanthera philoxeroides*. *Aquatic Botany*, 86: 62-68.
- Vogt G B, Quimby P C and Kay S H. 1992. Effects of weather on the biological control of alligator weed in the Lower Mississippi Valley region, 1973-1983. *USDA Technical Bulletin*, 1766: 143.