

导数光谱在棉花农学参数测定中的作用

王秀珍¹, 李建龙², 唐延林³

(1 浙江省气象研究所, 浙江 杭州 310004; 2 南京大学 生物系, 江苏 南京 210093;
3 浙江大学 农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029)

摘要:通过大田和室内试验,测定了2个品种的棉花冠层、完全展开倒3叶在不同时期的高光谱反射率及对应叶片的叶绿素、类胡萝卜素含量,分析并证实了棉花导数光谱对消除土壤背景影响及寻找特征波长方面的作用.将导数光谱用于棉花农学参数的测定,发现棉花冠层和叶片光谱都存在红边位移现象,并且红边参数(红边位置、红边幅值、红边面积)与叶面积指数、鲜叶质量、干叶质量和叶绿素含量有显著相关,从而证明用棉花导数光谱测定它的某些农学参数的可行性.

关键词:导数光谱;棉花;农学参数;红边参数

中图分类号:S562

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2004)02-0017-05

Approach the action of derivative spectra for determining agronomic parameters of cotton

WANG Xiu-zhen¹, LI Jian-long², TANG Yan-lin³

(1 Institute of Meteorology, Zhejiang Province, Hangzhou 310004, China;

2 Department of Biology, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

3 Institute of Agriculture Remote Sensing & Information System
Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The hyperspectral reflectances of the canopy, the third unfold leaves from the top of two varieties of cotton were measured by a ASD FieldSpec Pro FRTM in field and indoor in different stages. The concentrations of chlorophyll and carotenoid of leaves corresponding to the spectra were determined. The action of derivative spectra for eliminating the influence of soil backgrounds and determining some characteristic wavelengths of cotton was analysed and confirmed. With applying the derivative spectra to determining agronomic parameters for cotton, there were the phenomena of displacement for their spectra of canopies and leaves. The leaf area indices, fresh leaf mass, dry leaf mass and the chlorophyll contents were significantly correlative to the red edge parameters (the position of red edge λ_{red} , the slope of red edge D_{red} and the area of red edge S_{red}). This indicated it was feasible to determine some agronomic parameters of cotton by the derivative spectra.

Key words: derivative spectrum; cotton; agronomic parameter; red edge parameter

通过监测作物生育期内的光谱变化,研究作物的反射光谱与叶面积指数、地上生物量、鲜叶质量、叶绿素和类胡萝卜素含量等农学参数之间的关系,可以为作物遥感长势监测和遥感估产提供依据^[1,2].近年来,随着高光谱分辨率遥感技术的应用,使得遥

感可以在光谱维上展开,能直接对地物进行微弱光谱差异的定量分析,在植被遥感研究与应用中表现出强大优势^[3].在定量遥感中,常采用导数光谱技术来寻找关键波段如“红边”、“绿峰”等^[4-6],直接利用棉花反射光谱数据来估测其光合有效辐射、长势和

收稿日期:2003-04-09

作者简介:王秀珍(1961-),女,研究员,博士,现从事农业气象和农业高光谱遥感研究.

通讯作者:唐延林(1964-),男,副教授,在职博士研究生.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40271078和30070432)

叶绿素含量等已多见报道^[7-9],对棉花光谱与棉花叶面积指数、地上生物量、叶片叶绿素含量的相关关系研究也较多,但对用导数光谱方法来估测棉花农学参数的研究较少.本文结合棉花生长发育规律,定期测量棉花冠层及其背景的高光谱反射率,并且测量棉花不同叶位叶片的光谱及其叶绿素、类胡萝卜素含量,分析导数光谱对消除测量背景影响和寻找棉花高光谱特征位置的作用,促进棉花高光谱测量的规范性及高光谱分辨率遥感技术在农业遥感中的应用.

为了快速寻找植被光谱曲线的弯曲点及最大或最小反射率的波长位置、深度等特征参数以及分解重叠的吸收波段,常常对原始光谱进行导数处理而得到导数光谱,目的是强调光谱曲线的变化趋势和压缩均值影响.导数光谱分为一阶导数光谱和高阶导数光谱,由于光谱采样间隔的离散性,实际导数光谱一般是用差分方法来近似计算:

一阶导数光谱

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

二阶导数光谱

$$\rho''(\lambda_i) = \frac{d^2\rho(\lambda_i)}{d\lambda^2} = \frac{\rho'(\lambda_{i+1}) - \rho'(\lambda_{i-1})}{2\Delta\lambda} = \frac{\rho(\lambda_{i+2}) - 2\rho(\lambda_i) + \rho(\lambda_{i-2}))}{4(\Delta\lambda)^2} \quad (2)$$

其中, λ_i 是波段*i*的波长值; $\rho(\lambda_i)$ 是波长 λ_i 的光谱值(如反射率、透射率等); $\Delta\lambda$ 是波长 λ_{i-1} 到 λ_i 的差值,由光谱采样间隔决定.导数光谱技术已广泛应用于减弱大气散射和吸收、背景、仪器噪声对目标物光谱特征的影响^[10,11],一般认为,可用一阶导数处理技术去除部分线性或接近线性的背景、噪声光谱对目标光谱的影响.除上述导数差分计算方法外,也可根据光谱曲线形状采用其他差分计算形式,例如,一阶导数光谱也可表述为

$$\rho'(\lambda_i) = \frac{d\rho(\lambda_i)}{d\lambda} = \frac{[\sum_{j=i+1}^{i+3} \rho(\lambda_j) - \sum_{j=i-3}^{i-1} \rho(\lambda_j)]}{9\Delta\lambda} \quad (3)$$

遥感所测的地物光谱是目标物反射光谱、背景反射光谱及大气吸收和散射光谱的混合光谱,其中,目标物自身光谱、大气散射光谱和地物背景光谱对混合光谱的贡献各不相关.在以标准白板为基准的农作物光谱相对反射率测定中,当光照度恒定时,可以不考虑大气散射光谱的影响,而只需分析背景光谱的影响.

设 $\rho_1(\lambda)$ 、 $\rho_2(\lambda)$ 分别为目标物和背景的相对反

射率, α 为光谱仪视场范围内的目标物盖度($0 \leq \alpha \leq 1$),加权求和可得混合光谱反射:

$$\rho(\lambda) = \alpha\rho_1(\lambda) + (1 - \alpha)\rho_2(\lambda), \quad (4)$$

对(4)式分别求一阶、二阶导数得:

$$\rho'(\lambda) = \alpha \frac{d\rho_1(\lambda)}{d\lambda} + (1 - \alpha) \frac{d\rho_2(\lambda)}{d\lambda}, \quad (5)$$

$$\rho''(\lambda) = \alpha \frac{d^2\rho_1(\lambda)}{d\lambda^2} + (1 - \alpha) \frac{d^2\rho_2(\lambda)}{d\lambda^2}, \quad (6)$$

如果背景光谱可表示为线性或二次型,

$$\rho_2(\lambda) = a_1 + b_1\lambda$$

$$\rho_2(\lambda) = a_2 + b_2\lambda + c_2\lambda^2, \quad (7)$$

则一阶、二阶导数光谱分别为

$$\rho'(\lambda) = \alpha \frac{d\rho_1(\lambda)}{d\lambda} + (1 - \alpha)b_1$$

$$\rho''(\lambda) = \alpha \frac{d^2\rho_1(\lambda)}{d\lambda^2}, \quad (8)$$

$$\rho'(\lambda) = \alpha \frac{d\rho_1(\lambda)}{d\lambda} + (1 - \alpha)(b_2 + 2c_2\lambda)$$

$$\rho''(\lambda) = \alpha \frac{d^2\rho_1(\lambda)}{d\lambda^2} + 2(1 - \alpha)c_2. \quad (9)$$

从(8)、(9)式可以看出:一阶导数光谱可部分消除线性和二次型背景噪声光谱;二阶导数光谱可完全消除线性背景噪声光谱影响,能基本消除二次型背景噪声光谱.当然,实际的背景光谱(特别是野外)要复杂得多,但仍可用高阶导数光谱来消除,例如,四阶导数可消除大气中瑞利散射造成的影响.除此之外,导数光谱还可对某些重叠混合光谱进行分解以便于识别.

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验材料 试验棉花品种为湘杂2号(记为M1,杂交棉)和苏棉12(记为M2,普通棉),2002年4月29日直播种.

1.1.2 试验地点 设在浙江大学试验场内,东经120°10',北纬30°14'.试验地杂交棉小区面积为5.00 m×3.88 m,普通棉小区面积为5.00 m×3.70 m,实行垄间宽窄行、垄内均匀行,垄间沟壑宽度0.30 m.杂交棉株行距0.42 m×0.80 m,普通棉株行距0.36 m×0.40 m,设3个重复,南北垄向.

1.1.3 肥料设计 设1个肥料水平,6月27日施第1次肥料[混合肥, m (尿素): m (氯化钾): m (过磷酸钙)=1:1:1],标准为260 kg·hm⁻²(折合成N 40.4 kg·hm⁻²、K₂O 107.9 kg·hm⁻²、P₂O₅ 52.6 kg·hm⁻²);7月10日施第2次肥料,施芬兰产复合肥140 kg·hm⁻²[含N、P、K各15%(w)].供试土壤是砂壤土,土壤

含全氮为 $0.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮为 $148.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $1.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 $72.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质 $9.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 6.78.

1.2 试验方法

1.2.1 测量仪器 光谱仪选用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 ASD FieldSpec Pro FR™ 光谱仪, 波段值为 $350 \sim 2500 \text{ nm}$. 其中, $350 \sim 1000 \text{ nm}$ 光谱采样间隔(波段宽)为 1.4 nm , 光谱分辨率为 3 nm ; $1000 \sim 2500 \text{ nm}$ 光谱采样间隔(波段宽)为 2 nm , 光谱分辨率为 10 nm ; 分光光度计选用 BECKMAN DU-600 核酸蛋白质分析仪, 分固定波长和连续波长 2 种工作方式, 光谱采样间隔为 1 nm , 光密度值(D)精度为万分之一; 数码相机用 Olympus C-3040Zoom; 数据分析软件用 SPSS10.0.

1.2.2 测量方法 (1)冠层光谱: 选择晴朗无云无风天气, 于当天 10:00 ~ 14:00, 分别在五真叶期、现蕾期、开花期、开花盛期、裂铃期、吐絮期、吐絮盛期、停止生长期测定它们的冠层光谱反射率. 测量时, 光谱仪视场角为 25° , 传感器探头向下, 距冠层顶垂直高度约 $0.50 \sim 1.00 \text{ m}$ (五真叶期为 0.50 m , 以后为 1.00 m). 每个小区内任选一长相适中的植株, 光谱采样以 10 个光谱为一采样光谱, 每次记录 10 个光谱, 以其平均值作为该小区的光谱反射值, 测量时及时进行标准白板校正(标准白板反射率视为 1, 这样所测得的目标物光谱是无量纲的相对反射率). 测定完冠层光谱后, 立即用数码相机从光谱仪探头的同一位置照相, 照相时加放与光谱仪视场大小相同的铁圈以标出光谱视场范围.

冠层光谱数据测定后, 从对应于测冠层光谱的位置取样, 测定棉花植株的生物物理参数. 采样后按器官分离, 测鲜生物量, 然后置于 105°C 烘箱中杀青 0.5 h , 以 70°C 烘干至恒质量, 测干生物量. 叶面积

指数采用复印扫描与叶片干质量法结合测量(由每次测量对每一品种叶片复印扫描确定所乘系数).

(2)叶片光谱: 定期从各小区选取长相适中的植株 5 ~ 10 株, 取完全展开倒三叶测其光谱, 然后用生化方法测叶片叶绿素和类胡萝卜素含量. 测叶片光谱时, 样品置于反射率近似为零的黑色橡胶上, 光谱仪视场角为 8° , 探头垂直向下, 距样品表面距离 0.10 m ; 光源用光谱仪所带的 50 W 卤化灯, 光源距样品表面距离 0.45 m , 方位角(光源与样品表面之间的夹角) 70° . 每次数据采集前都进行标准白板校正, 光谱采样以 10 个光谱为一采样光谱, 每次记录 10 个光谱, 取平均值.

(3)叶绿素、类胡萝卜素测量: 对应测光谱的叶片测叶绿素、类胡萝卜素含量, 叶绿素含量采用丙酮法测定^[12], 类胡萝卜素含量采用国标(GB12291-90)方法测定.

2 结果与分析

2.1 冠层、叶片及背景光谱

对比图 1 和图 2, 可以发现: 经过导数处理

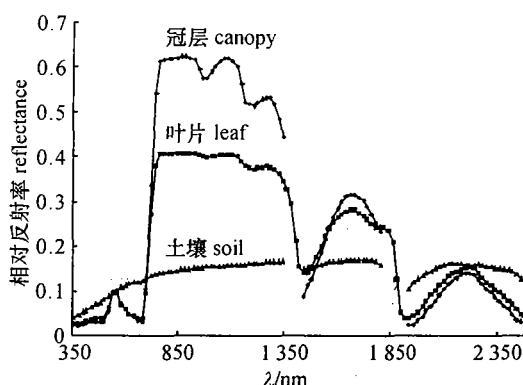


图 1 棉花冠层、叶片及土壤背景的光谱比较(M2, 7月30日)

Fig.1 Comparison among the spectra of cotton canopy, leaf and soil backgrounds (M2, Jul.30)

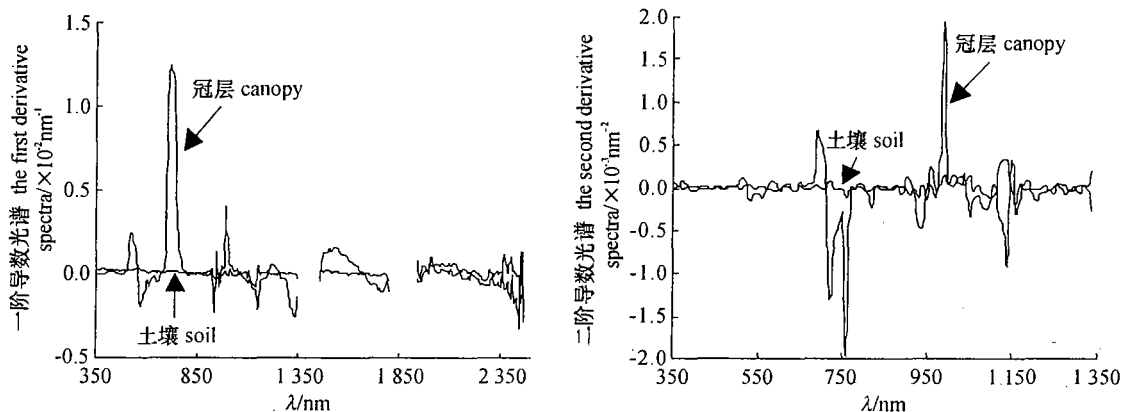


图 2 棉花冠层和土壤背景的一阶、二阶导数光谱比较(M2, 7月30日)

Fig.2 Comparison between the first and second derivative spectra of cotton canopy and that of soil backgrounds (M2, Jul.30)

后,土壤背景光谱在可见光范围内被大部分去除,冠层光谱也得到明显改善.另外,导数光谱给出了冠层和叶片光谱中的反射峰、谷和其他一些特征位置(如红边、绿峰、蓝边),这些峰谷对应特定的吸收物质,它们有可能为通过遥感方法来估测冠层和叶片中的生化组分及其含量提供依据.另外,对比图1、2还可知,叶片光谱的峰谷位置比冠层光谱相应的峰谷位置“蓝移”2 nm.

2.2 冠层、叶片光谱的红边参数

2.2.1 冠层、叶片光谱的红边特征 红边是绿色植

物光谱最明显的特征之一,它是指绿色植物反射光谱位于红光范围(680~760 nm)这一段的光谱.植被光谱的红边参数主要有:(1)红边位置(λ_{red}):红光范围(680~760 nm)内一阶导数光谱最大值所对应的波长;(2)红边幅值(又称红边斜率 D_{red}):红光范围(680~760 nm)内一阶导数光谱的最大值;(3)红边峰值面积(简称红边面积 S_{red}):680~760 nm的一阶导数光谱所包围的面积.

试验发现:棉花冠层光谱的红边具有“双峰”现象(图3),其“主峰”都位于718 nm处,“次峰”波长大

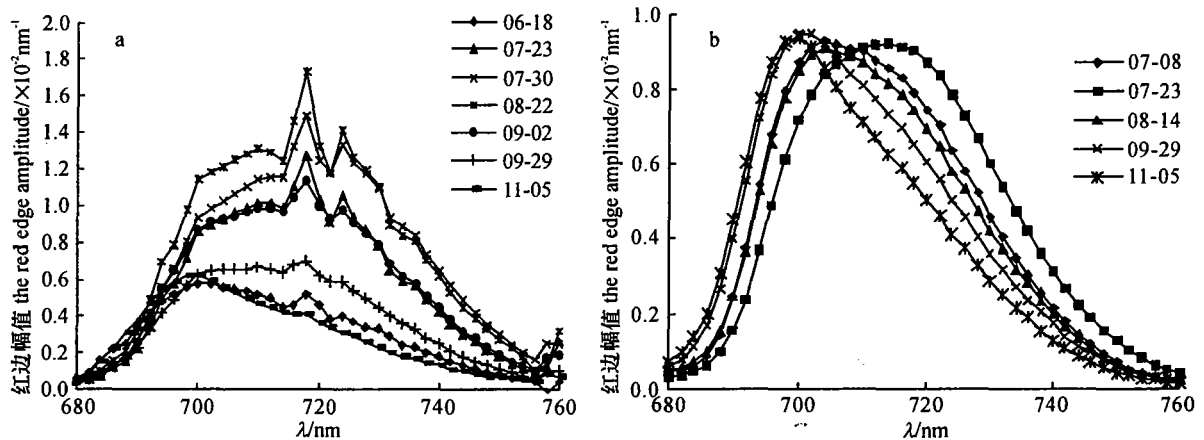


图3 棉花冠层(a)、叶片(b)的红边光谱(M2)

Fig.3 The red edge spectra of canopy (a) and leaf (b) for cotton (M2)

于“主峰”波长.试验的2个棉花品种冠层反射光谱的红边位置在整个生育期内处于695~720 nm之间.在整个生育期间,随发育期推移,现蕾期前红边位置呈“红移”现象;从现蕾期到裂铃期(普通棉M2)或吐絮盛期(杂交棉M1),红边位置保持不变,呈“红边平台”现象;从裂铃期或吐絮盛期开始,红边位置呈“蓝移”现象.叶片光谱的红边只有单峰,其红边位置

λ_{red} 在开花前呈“红移”、开花后呈“蓝移”现象.

2.2.2 红边参数与农学参数的相关关系 分别计算冠层反射光谱红边参数 λ_{red} 、 D_{red} 、 S_{red} 与叶面积指数、地上鲜生物量、地上干生物量、鲜叶质量和干叶质量之间及叶片反射光谱红边参数 λ_{red} 、 D_{red} 、 S_{red} 与叶片叶绿素、类胡萝卜素含量之间的相关系数,如表1所示.

表1 棉花冠层、叶片光谱红边参数与农学参数的相关系数¹⁾

Tab. 1 Correlation coefficient between the parameters of red edge of canopy and leaf spectra and agronomic parameters for cotton

红边参数	地上鲜生物量	地上干生物量	鲜叶质量	干叶质量	叶面积	$w(\text{Chl-a})$	$w(\text{Chl-b})$	$w(\text{Chl})$	$w(\text{Car})$
red edge parameter	m_{AF}	m_{AD}	m_{FL}	m_{DL}	指数 I_{LA}				
λ_{red}	0.389**	0.086	0.531**	0.492**	0.635**	0.727**	0.630**	0.714**	0.536**
D_{red}	0.276	-0.020	0.436**	0.371*	0.511**	-0.220*	-0.305**	-0.244*	-0.153
S_{red}	0.336*	0.022	0.478**	0.414**	0.537**	0.420**	0.284**	0.392**	0.319**

1) Chl-a、Chl-b、Chl 和 Car 分别表示叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素

从表1可见,红边位置(λ_{red})与文中所讨论的除地上干生物量(m_{AD})外的8个农学参数都有极显著相关,红边面积(S_{red})与这8个农学参数之间也达到了显著相关,另外, I_{LA} 、 m_{FL} 、 m_{DF} 、 $w(\text{Chl-a})$ 、 $w(\text{Chl-b})$ 、 $w(\text{Chl})$ 与3个红边参数都有显著相关,这表明可

用红边参数来估测这些农学参数.地上干生物量(m_{AD})与3个红边参数之间的相关都未达显著水平,原因可能是质量大、含水率高的棉铃,其表面积较小,对冠层光谱的反射率贡献也较小的缘故,这有待进一步研究.

3 结论

导数光谱在分析植被高光谱特征,从中找出植被化学组分的吸收中心位置,及消除测量背景的影响和分解混合光谱等方面具有广阔的应用前景.本试验中,用通过导数光谱得到的一些变量来估测棉花的农学参数,达到了较好的效果,这应归功于导数光谱减少或消除了测量背景光谱影响的作用.

随着高光谱技术的发展和运用,伴随高光谱数据的大量增多,背景及测量环境对光谱数据的影响会越来越大,导数光谱技术将为解决这类问题提供有力工具.

参考文献:

- [1] GAUSMAN H W, ALLEN W A, CARDENAS R, et al. Relation of light reflectance to histological and physical evaluations of cotton leaf maturity[J]. *Appl Optics*, 1970, 9(4): 545 - 552.
- [2] CARD D H, PETERSON D L, MATSON P A, et al. Prediction of leaf chemistry by the use of visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. *Remote Sens Environ*, 1988, 26(1): 123 - 147.
- [3] VANE G, Terrestrial imaging spectrometry: current status, future trends[J]. *Remote Sens Environ*, 1993, 44(1): 109 - 127.
- [4] CURRAN P J, DUNGAN J L, GHOLZ H L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine[J]. *Tree Physiology*, 1990, 7(1): 33 - 48.
- [5] MILLER J R. Season patterns in leaf reflectance red edge characteristics[J]. *Int J Remote Sens*, 1991, 12(7): 1 509 - 1 523.
- [6] FILELLA D, PEN-UELAS J. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status[J]. *Int J Remote Sens*, 1994, 15(7): 1 459 - 1 470.
- [7] 潘学标,张立桢,王延琴,等. 不同遗传型棉花品种光谱反射特性研究[J]. *棉花学报*, 1998, 10(2): 107 - 110.
- [8] 张宏名,李庆基,王家圣. 棉花枯、黄萎病的遥感探测法研究[J]. *植物保护*, 1991, 17(6): 6 - 8.
- [9] DALEXIOS N R, DOMENIKIOTIS C, TZORTZIOS S T, et al. Cotton yield estimation based on NOAA/AVHRR produced NDVI[J]. *Phys Chem Earth(B)*, 2001, 26(3): 247 - 251.
- [10] PHILPOT W D. The derivative ratio algorithm: avoiding atmospheric effects in remote sensing[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1991, 29(3): 350 - 357.
- [11] LI Y. Use of second derivatives of canopy reflectance for monitoring prairie vegetation over different soil backgrounds [J]. *Remote Sens Environ*, 1993, 44(1): 81 - 87.
- [12] 蒋德安,朱 诚. 植物生理学实验指导[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999. 20 - 23.

【责任编辑 李晓卉】