

# 不同水分处理对烟草叶片高光谱及红边特征的影响\*

贾方方<sup>1</sup> 马新明<sup>1\*\*</sup> 李春明<sup>2</sup> 蔺世召<sup>1</sup> 李燕强<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学农学院 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院芝麻研究中心 郑州 450002)

**摘 要** 采用 ASD Fieldspec HH 光谱仪, 测定了不同水分处理下两个烟草品种叶片的光谱特性, 分析其红边特征参数的变化规律及其与烟叶生理指标的相关性。结果表明: 不同水分处理之间的烟草叶片光谱反射率差异明显, 但两个品种的变化规律一致。烟草伸根期和旺长期, 近红外光区的光谱反射率随土壤水分的增加而升高, 成熟期则呈相反趋势, 且光谱反射率在旺长期达到最高值。不同水分处理下烟草叶片一阶微分光谱趋势总体一致, 但红边一阶导数光谱差异显著。红边位置随土壤水分减少向长波方向移动, 发生“红移”现象。红边幅值和红边面积在伸根期和旺长期均随土壤含水量的增加而发生“红移”现象, 成熟期则发生“蓝移”现象。烟草叶片的红边位置同其生理指标的相关性要优于其他参数, 同叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量、叶绿素总量、叶片鲜重、叶片干重、叶面积和叶片含水率均呈极显著相关关系; 红边幅值和红边面积与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量、叶绿素总量和叶片含水率之间均呈极显著性正相关, 红边面积同叶片干重呈极显著性负相关关系。

**关键词** 烟草叶片 土壤水分 高光谱 红边特征 生理指标

**中图分类号:** S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2011)06-1330-06

## Effect of water condition on hyperspectral and red-edge characteristics of tobacco leaf

JIA Fang-Fang<sup>1</sup>, MA Xin-Ming<sup>1</sup>, LI Chun-Ming<sup>2</sup>, LIN Shi-Zhao<sup>1</sup>, LI Yan-Qiang<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Sesame Research Centre, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** Red-edge characteristics of two cultivars of tobacco under different water treatments were analyzed by measuring leaf spectra with ASD Fieldspec HH. The relationship between red-edge parameters and physiological indices of tobacco was also determined. The results showed notable differences between leaf spectral reflectance of the two cultivars under different water treatments. However, the trend of change in spectral reflectance was similar in the two cultivars. While near-infrared band reflectance increased with increasing soil moisture during root elongation and vigorous growth stages, it decreased at mature stage. Leaf spectral reflectance was highest at vigorous growth stage. Though first differential spectra of red-edge of tobacco leaf showed similar trends, first derivative spectra were significantly different under different treatments. Red-edge position shifted from short to long wavelength with decreasing soil moisture, causing red shift during tobacco entire growth period. While the slope and area of red-edge increased at root elongation and vigorous growth stages (characterized as red shift), they shifted from long to short wavelength at mature stage (characterized as blue shift). The correlations of red-edge position with physiological indices of tobacco leaf were more significant than those with red-edge slope and area. There were significant correlations among red-edge position with contents of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b and carotenoid; leaf fresh-weight, leaf dry-weight, leaf area and leaf moisture contents. There were also significant positive correlations among red-edge slope and area with chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, carotenoid and leaf moisture contents. The correlation between red-edge area and leaf dry-weight was negative.

**Key words** Tobacco leaf, Soil moisture, Hyperspectra, Red-edge characteristic, Physiological index

(Received Feb. 16, 2011; accepted May 13, 2011)

\* 河南省烟草公司项目(200903-02)资助

\*\* 通讯作者: 马新明(1963~), 男, 教授, 博士, 研究方向为精准农作与信息技术。E-mail: xinmingma@126.com

贾方方(1984~), 女, 硕士研究生, 研究方向为烟草高光谱遥感。E-mail: jiafang840928@163.com

收稿日期: 2011-02-16 接受日期: 2011-05-13

在定量遥感中,利用反射光谱数据以及采用微分技术寻找关键波段,特别是用红边参数来估测作物的生物量、氮素和叶绿素等生化组分含量以及预测作物的病害胁迫等,已经成为作物长势监测、估产、预防病害的一种重要手段<sup>[1-4]</sup>。黄敬峰等<sup>[5]</sup>和张晓艳等<sup>[6]</sup>研究发现,作物生长旺盛期间会出现“红边平台”,生长后期有“蓝移”现象,且在生长前期可利用红边参数来估算叶面积指数。梁守真等<sup>[7]</sup>研究表明红边位置随叶绿素的增加向长波方向移动(红移),红边斜率随内部结构参数的增加而增加,并建立了1个二次方程来描述两者之间的关系。李向阳等<sup>[8]</sup>研究发现运用红边位置估测叶绿素含量的效果较好,从而可以判断烟叶成熟度,并且得出成熟叶片红边位置为693~695 nm,过熟叶片红边位置极值为688 nm。田永超等<sup>[9]</sup>利用多年不同施氮水平和不同水稻品种的田间试验观测资料,系统分析了水稻高光谱红边区域和位置特征与冠层叶片氮浓度的定量关系,发现水稻冠层的红边区域光谱受施氮水平和品种影响较大。程高峰等<sup>[10]</sup>提出水稻冠层反射率随着高温胁迫的加深而下降,且红边位置向短波方向移动。卢艳丽等<sup>[11]</sup>研究发现小麦植株冠层光谱反射率因不同肥力、不同疏剪处理而有较大的差异,表现出不同程度的红边的“红移”和“蓝移”现象。胡昊等<sup>[12]</sup>和代辉等<sup>[13]</sup>的研究进一步认为通过红边参数与农学组分稳定良好的数学关系,可以对农学组分进行预测估算。蒋金豹等<sup>[14]</sup>通过高光谱红边与黄边位置距离可以提前12 d识别出健康与病害胁迫的小麦。然而,这些研究多集中在对水稻、小麦、油菜等作物的生化组分估测、产量预测、病害预防等方面,而利用烟草叶片的光谱反射率及其红边特征来预测烟田土壤水分状况尚鲜见报道。故本试验采用不同烟草品种,研究其不同水分处理下高光谱反射率及红边特征参数的变化,为生产上利用高光谱遥感技术大区域、无破坏、实时快速地监测烟草长势信息,预测干旱胁迫程度和节水灌溉提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设计

试验于2009年在河南农业大学科教示范园区(北纬34°30',东经113°24')进行,采用托盘育苗,当烟苗长至4叶时,盆栽种植,盆钵为聚乙烯花盆,内径38 cm,外径40 cm,深42 cm。试验土壤有机质9.8 g·kg<sup>-1</sup>,全氮0.986 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮0.072 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷0.025 g·kg<sup>-1</sup>,有效钾0.259 g·kg<sup>-1</sup>。供试烟草品种为“烤烟K326”和“云烟87”。试验设3个水分处理,分别为田

间最大持水量的45%、65%和85%。其中65%是正常水分处理,设为对照;45%为干旱胁迫,85%为水分胁迫。用TZS-II W型土壤水分温度测量仪测定土壤的含水量,每隔1 d补充1次水分,遇降雨即将防雨蓬拉上。分别以分析纯(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、KNO<sub>3</sub>和KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>作基肥一次性施入,施氮量按0.2 g·kg<sup>-1</sup>(干土)施用,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O按1:1.5:3比例施用。将土壤与肥料混合均匀后装盆,每盆装风干土20 kg。各处理均重复15次,完全随机排列。于5月15日移栽,行距1.1 m,株距0.5 m,缓苗期后开始控水,管理措施同大田。

### 1.2 叶片高光谱测定

分别在烟株的伸根期(移栽后30 d)、旺长期(移栽后55 d)和成熟期(移栽后80 d)进行叶片光谱测定。每处理选3株无病虫害、长势一致的烟株,连根一起整株取回实验室,选择有代表性的中部叶片,测量叶片的反射率。采用ASD FieldSpec Hand-Held(analytical spectral sevice, USA)波长为350~1 050 nm,光谱采样间隔1.4 nm,光谱分辨率3 nm。用ASD ViewSpec Programs软件读取原始反射光谱数据。在室内严格控制光源的环境条件下进行叶片离体光谱测试,光谱仪光源为50 W卤化灯,距样品表面30 cm,方位角(与样品表面的夹角)75°,测量前均同步测量白板的辐射光谱用于标定,并定时进行系统优化,以10个光谱为1个采样光谱,求其平均值即得该点的光谱反射率。测定时将叶片样品置于反射率近似为0的黑色橡胶上,方向与光源一致,用三角架固定光谱仪探头,并使光谱仪探头垂直向下正对待测叶片正中部,光谱仪视场角为1°,距样品表面垂直高度10 cm(视场直径约1.4 cm)。

红边(680~760 nm)参数为红边一阶微分光谱,红边幅值( $Dr$ )为红边(680~760 nm)内最大的一阶微分值;红边位置( $\lambda_r$ )为最大一阶微分值对应的波长;红边面积( $SDr$ )为红边范围内一阶导数光谱曲线所包围的面积,计算方法为红边一阶微分值的总和。一阶微分光谱计算式如下:

$$D\lambda_i = \rho(\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1}) / 2\Delta\lambda \approx d\rho(\lambda_i) / d\lambda_i \quad (1)$$

式中, $i$ 为光谱通道, $\lambda_i$ 为各波段的波长, $\Delta\lambda$ 为波长 $\lambda_{i-1}$ 到 $\lambda_i$ 的间隔, $\rho(\lambda_i)$ 为波段 $\lambda_i$ 的反射率, $D\lambda_i$ 为 $\lambda_i$ 的一阶微分光谱。

### 1.3 叶片生理指标测定

分别于烟株的伸根期(移栽后30 d)、旺长期(移栽后55 d)和成熟期(移栽后80 d),取测定叶片光谱的同一片烟叶进行叶片生理指标测定。叶绿素a、b含量(chlorophyll a, chlorophyll b)、类胡萝卜素含量(carotenoid)采用分光光度计法测定<sup>[15]</sup>,以UV-1240型分光光度计(杭州科欣进出口有限公司)测定 663

nm、646 nm 和 470 nm 处的 OD 值, 计算单位质量叶片的叶绿素 a、b 及类胡萝卜素含量。叶片鲜重(fresh weight)为采样后用百分之一天平称重。把称鲜重后的叶片置于 105 °C 条件下杀青 15 min, 烘至恒重, 测定叶片干重(dry weight)。叶片含水率(moisture content)=(叶片鲜重-叶片干重)/鲜重 $\times$ 100%。在每次采集烤烟冠层光谱数据时, 取同株烤烟进行测量, 以叶面积=长 $\times$ 宽 $\times$ 0.634 5 表示叶面积<sup>[16]</sup>。

#### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件处理数据和制图, 采用 SPSS 13.0 进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分处理对烤烟叶片高光谱特性的影响

如图 1 所示, 不同水分处理下烟草叶片的高光谱反射率均具有明显的绿峰(510~560 nm)、红谷(640~680 nm)和近红外平台(760~1 025 nm)等绿色植物的反射特征, 且不同水分处理间的反射率差异明显。这是由于近红外波段的反射光谱主要受叶片的细胞排列方式和植被结构的影响<sup>[17]</sup>, 而水分对叶片的细胞结构及植被结构有重要作用。

伸根期和旺长期, 在近红外光区(400~700 nm), “K326”和“云烟 87”都表现为随着水分增多, 反射率增高。在可见光区(750~1 025 nm), 表现为 45%水分处理的反射率明显低于另外两个, 这是因为水分减少使烟叶中叶绿素含量降低所致。成熟期, 可见光区(750~1 025 nm)3 个处理的光谱反射率区分不如近红外光区明显, 但仍具有一定差异, 从“云烟 87”可以看出 45%的水分处理光谱反射率高于另外两个处理。

对比伸根期、旺长期和成熟期 3 个时期烤烟的叶片高光谱反射率发现, 在旺长期光谱反射率明显提高, 其中旺长期 45%水分处理的叶片反射率比伸根期高 28%~57%、比成熟期高 4%~13%, 65%处理的叶片反射率则比另外两个时期高 21%~56%, 85%处理的叶片反射率比另外两个时期高 35%~53%。

### 2.2 不同水分处理对烤烟叶片微分光谱特性的影响

分析不同水分处理下烤烟叶片一阶微分光谱(图 2)发现, 不同处理不同时期的烤烟叶片一阶微分光谱整体趋势一致, 都在 450~550 nm 之间有 1 个小高峰, 650~750 nm 之间 1 个大高峰, 以及 2 个高峰之间形成的 1 个低谷。所不同之处在于高峰和低谷的峰值、谷值和具体位置。

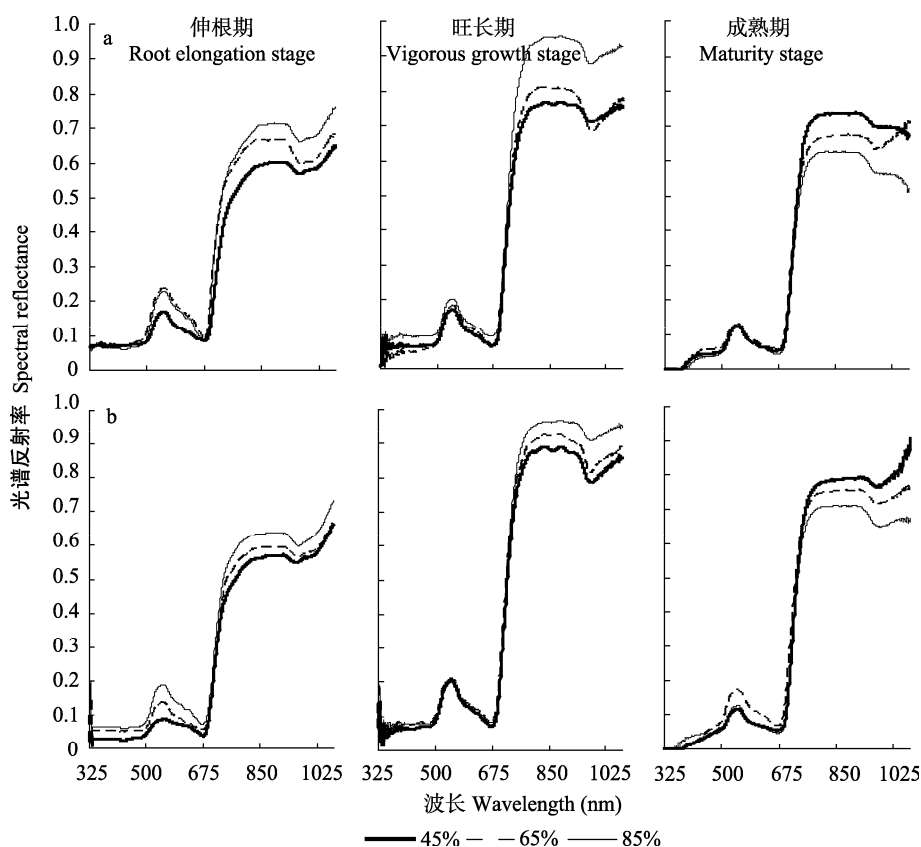


图 1 不同水分处理条件下烤烟“K326”(a)和“云烟 87”(b)的叶片高光谱反射率

Fig. 1 Spectral reflectance of leaf of tobacco “K326” (a) and “Yunyan 87” (b) under different water treatments

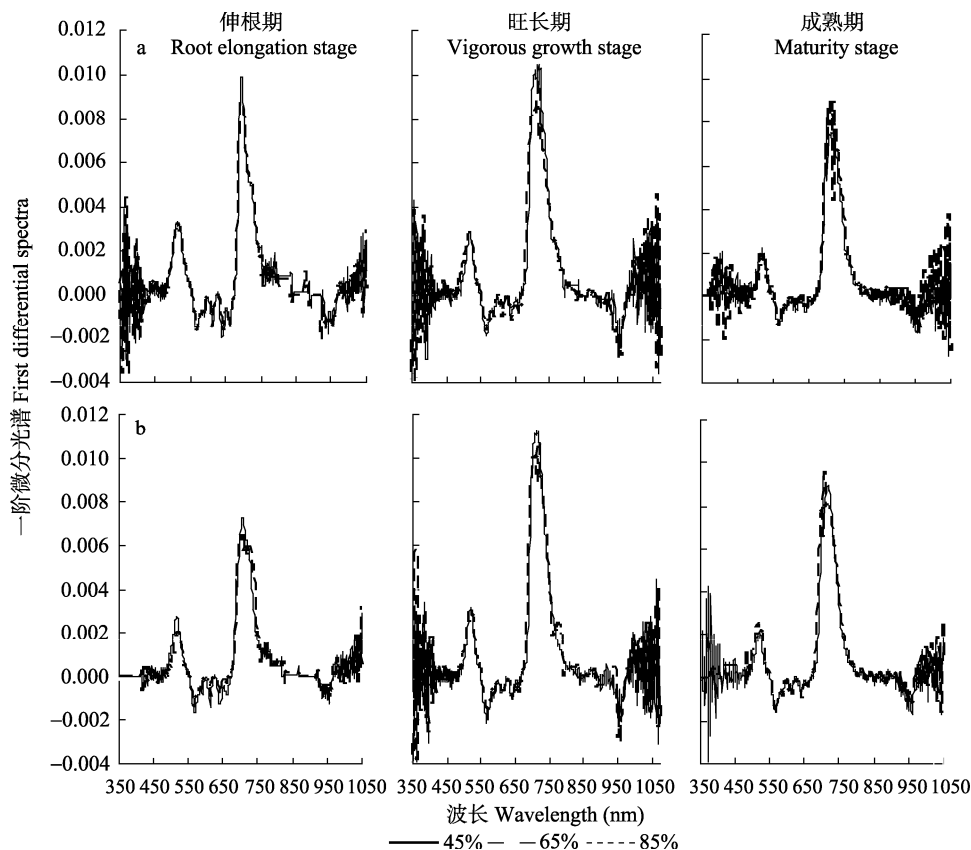


图2 不同水分处理下烤烟“K326”(a)和“云烟87”(b)叶片一阶微分光谱

Fig. 2 First differential spectra of leaf of tobacco “K326” (a) and “Yunyan 87” (b) under different water treatments

分析微分光谱的“红边”,可以更为清晰地描述烤烟光谱变化特征及规律。图3为不同水分处理下烤烟叶片红边一阶导数光谱,叶片光谱的红边在690~720 nm之间产生1个高峰;不同水分处理下烤烟叶片的红边一阶导数光谱差异显著。

从图4可见,试验的两个品种烤烟叶片的红边位置在整个生育期内处于690~720 nm之间,且红边位置随着土壤水分减少向长波方向移动,发生红移现象,这与前人的研究相符<sup>[4]</sup>。

不同水分处理之间红边幅值和红边面积的变化规律同图1所示的近红外光区烤烟叶片的反射率一致。伸根期到旺长期,随着烤烟生长旺盛,叶绿素增多,叶片充实,结构复杂,红边位置、红边幅值和红边面积都逐渐增大,呈“红移”现象。旺长期到成熟期,叶片衰老,红边位置、红边面积和红边幅值都发生了“蓝移”现象。这与前人的研究一致<sup>[18-20]</sup>。

### 2.3 红边参数与烟草叶片生理指标之间的关系

如表1所示,烟草叶片高光谱参数同其生理指标之间的相关性较好。红边位置( $\lambda_r$ )同叶绿素a含量、叶绿素b含量、类胡萝卜素含量、叶绿素总量和叶片含水率均呈极显著正相关;同叶面积、叶片鲜重和叶片干重均呈极显著性负相关。红边幅值( $D_r$ )同

叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素总量呈极显著性正相关,同叶片含水率和类胡萝卜素含量呈显著相关关系。红边面积( $SD_r$ )同叶绿素a含量、叶绿素b含量、类胡萝卜素含量、叶绿素总量和叶片含水率均呈极显著性正相关,同叶片干重呈极显著性负相关,同叶片鲜重呈显著性负相关关系。

### 3 结语

本文对不同水分处理下不同品种烟草的叶片反射率及红边特征参数进行了比较,同时对红边参数与叶片生理指标的相关性进行了分析,结果表明:

1)不同水分处理间烤烟叶片的反射特征差异明显,两个品种间规律一致。伸根期和旺长期,在近红外光区的反射率随土壤含水量的增加而升高,成熟期则相反。这是由于近红外光区的反射率主要受叶片内部结构和细胞层数的影响。土壤含水量高则烟叶生长越快,叶片内部结构也更复杂,导致近红外光区的反射率升高。成熟期,充足的土壤含水量使烟叶充分展开,而干旱胁迫则导致烟叶生长缓慢,叶片小而厚,细胞层数较多,导致反射率升高。从而可以由叶片在近红外光区的光谱反射率来预测不同时期的田间土壤含水量。

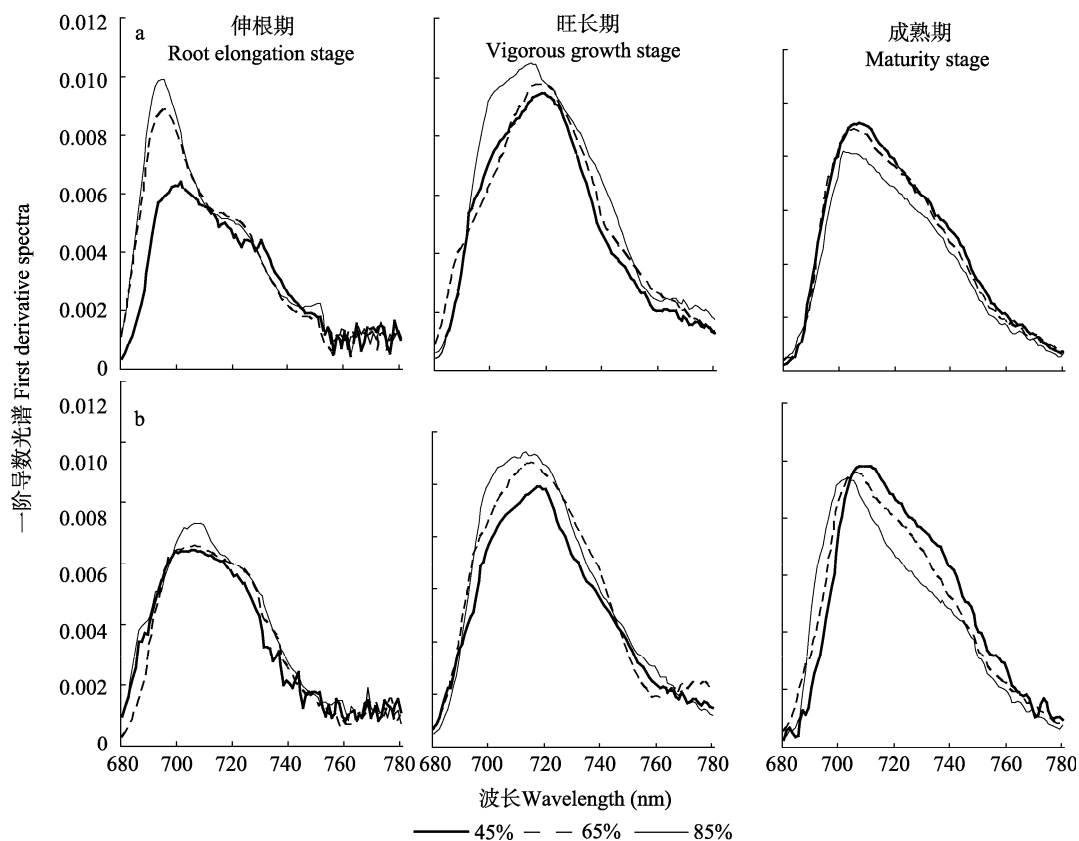


图3 不同水分处理下烤烟“K326”(a)和“云烟87”(b)叶片红边一阶导数光谱

Fig. 3 First derivative spectra of red edge of leaf of tobacco “K326” (a) and “Yunyan 87” (b) under different water treatments

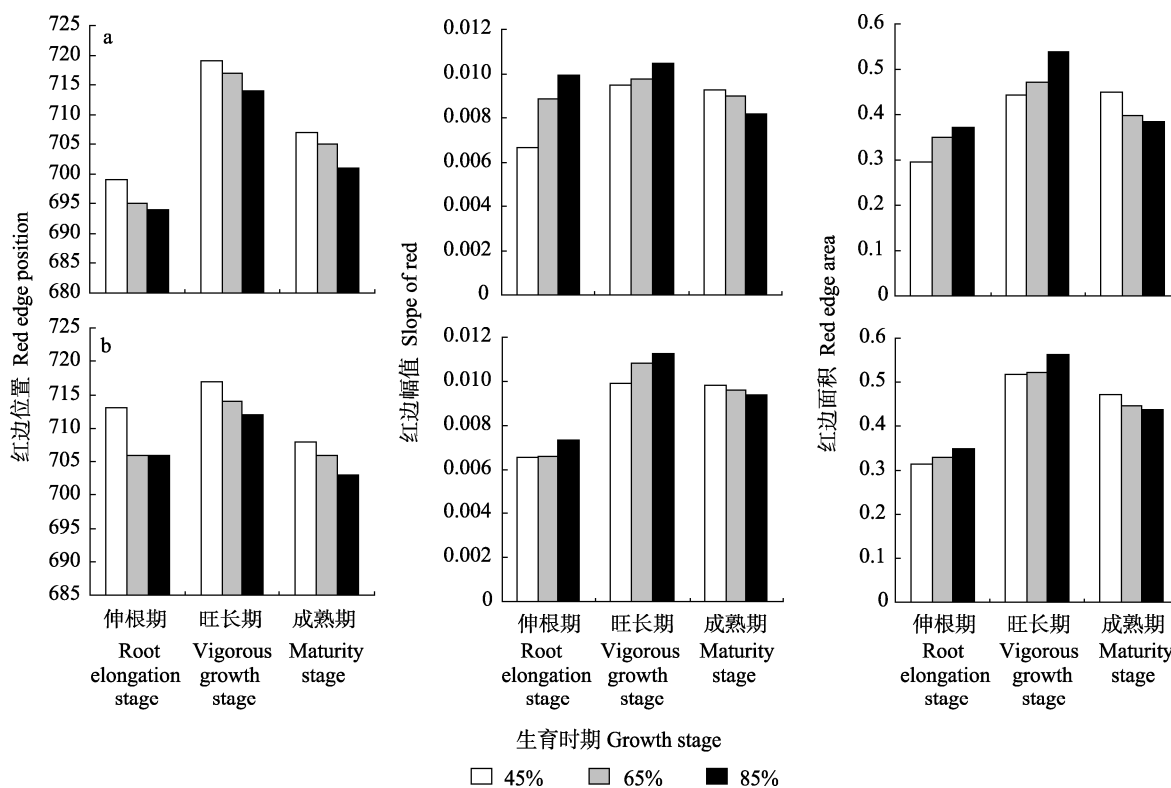


图4 不同水分处理下烤烟“K326”(a)和“云烟87”(b)叶片红边参数变化规律

Fig. 4 Changes of the red edge parameters of leaf of tobacco “K326” (a) and “Yunyan 87” (b) under different water treatments

表 1 烟草叶片高光谱红边参数同生理指标之间的相关分析( $n=54$ )Table 1 Correlation analyses between red edge parameters of hyperspectra and physiological indices of tobacco leaf ( $n=54$ )

红边参数 Red edge parameter	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	类胡萝卜素 Carotenoid	叶绿素总量 Total chlorophyll	叶面积 Leaf area	叶片鲜重 Leaf fresh weight	叶片干重 Leaf dry weight	叶片含水率 Leaf moisture content
红边位置 Red edge position	0.67**	0.66**	0.77**	0.67**	-0.66**	-0.72**	-0.75**	0.46**
红边幅值 Red edge slope	0.35**	0.37**	0.30*	0.36**	0.22	0.15	0.11	0.32*
红边面积 Red edge area	0.71**	0.71**	0.70**	0.71**	-0.18	-0.30*	-0.36**	0.45**

\*\*和\*分别表示相关性达 0.01 极显著和 0.05 显著水平 \*\* and \* indicate significant correlation at 0.01 and 0.05 levels (2-tailed), respectively.

从整个生育期来看, 旺长期烟草叶片的光谱反射率明显高于伸根期和成熟期, 这是因为旺长期叶片内部结构充实, 叶片厚度增加, 叶绿素含量也达到了高峰。成熟期, 叶片衰老, 组织结构发生变化, 叶片的叶绿素含量和水分含量也减少, 所以减弱了光谱反射。

2)烟草叶片的红边特征受水分的影响较大, 不同水分处理下烤烟叶片的红边一阶导数光谱差异显著, 试验的两个品种烤烟叶片的红边位置均随着土壤水分减少向长波方向移动, 发生红移现象, 这个结果同其他学者的研究具有良好的一致性<sup>[4,19]</sup>。红边幅值和红边面积在伸根期和旺长期均随着土壤含水量的增加而发生红移现象, 成熟期则随着土壤含水量的增加发生蓝移现象。红边特征随土壤含水量的变化规律也为预测土壤含水量提供了理论依据。

3)叶片光谱红边参数同其生理指标间的相关性良好。红边位置、红边幅值和红边面积都同叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量和叶绿素总量呈极显著性正相关, 红边位置和红边面积同叶片鲜重、叶片干重和叶片含水率之间也都有不同程度的相关性。通过红边参数与烟草叶片生理指标良好的相关性, 可以对不同水分处理下烟草叶片的生理指标进行预测。

用高光谱遥感提取烟草叶片的反射率, 并分析红边特征参数的变化规律, 结合同生理指标的相关分析, 可以为预测烟草的生长状况及农田水分胁迫程度提供理论依据, 但是要真正达到快速、大面积地预测作物长势及土壤水分状况, 还需同航空遥感和卫星遥感相结合, 这也是高光谱遥感领域发展的重要方向。

## 参考文献

- [1] Ju C H, Tian Y C, Yao X, et al. Estimating leaf chlorophyll content using red edge parameters[J]. *Pedosphere*, 2010, 20(5): 633-644
- [2] Feng W, Yao X, Zhu Y C, et al. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat[J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(3): 394-404
- [3] Muhammed H H. Hyperspectral crop reflectance data for characterising and estimating fungal disease severity in wheat[J]. *Biosystems Engineering*, 2005, 91(1): 9-20
- [4] Peñuelas J, Filella I, Biel C, et al. The reflectance at the 950-970nm region as an indicator of plant water status[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14(10): 1887-1905
- [5] 黄敬峰, 王渊, 王福民, 等. 油菜红边特征及其叶面积指数的高光谱估算模型[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 22-26
- [6] 张晓艳, 王丽丽, 封文杰, 等. 花生红边特征及其叶面积指数的高光谱估算模型[J]. *山东农业科学*, 2010(3): 11-15, 19
- [7] 梁守真, 施平, 马万栋, 等. 植被叶片光谱及红边特征与叶片生化组分关系的分析[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 804-809
- [8] 李向阳, 刘国顺, 史舟, 等. 利用室内光谱红边参数估测烤烟叶片成熟度[J]. *遥感学报*, 2007, 11(2): 269-275
- [9] 田永超, 杨杰, 姚霞, 等. 水稻高光谱红边位置与叶层氮浓度的关系[J]. *作物学报*, 2009, 35(9): 1681-1690
- [10] 程高峰, 张佳华, 李秉柏, 等. 不同温度处理下水稻高光谱及红边特征分析[J]. *江苏农业学报*, 2008, 24(5): 573-580
- [11] 卢艳丽, 李少昆, 白由路, 等. 冬小麦冠层光谱红边参数的变化及其与氮素含量的相关分析[J]. *遥感技术与应用*, 2007, 22(1): 1-7
- [12] 胡昊, 白由路, 杨俐苹, 等. 不同氮营养冬小麦冠层光谱红边特征分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1317-1323
- [13] 代辉, 胡春胜, 程一松. 冬小麦冠层光谱红边特征分析[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 80-83
- [14] 蒋金豹, 陈云浩, 黄文江. 利用高光谱红边与黄边位置距离识别小麦条锈病[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(6): 1614-1618
- [15] 张志良, 瞿伟菁. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 67-70
- [16] 刘国顺. *烟草栽培学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 38-39
- [17] Mutanga O, Skidmore A K, Wieren S. Discrimination tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry[J]. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2003, 57: 263-272
- [18] Miller J R, Hare E W, Wu J. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance model[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(10): 1755-1773
- [19] Danson F M. Red edge response to leaf area index[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16(1): 45-53
- [20] Pinar A, Curran P J. Grass chlorophyll and the reflectance red edge[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(2): 351-357