

## 叶面尘对作物反射光谱及氮营养监测的影响

王涛, 刘洋, 吴海云, 左月明\*

山西农业大学工学院, 山西 太谷 030801

**摘要** 光谱检测技术已成为作物营养诊断的重要手段,但复杂的大田环境也增加了光谱的不确定性。以叶面尘对国道旁玉米反射光谱的影响为研究内容,分析了除尘前后叶片反射率及一阶导数光谱的差异,进而考察了叶面尘干扰下的氮营养光谱监测模型预测精度。结果表明:相对于无尘叶片,叶面尘使得叶片在可见光和短波红外光区的反射率增加,而在近红外光区的反射率减少;三边位置、蓝边斜率和黄边斜率在除尘前后无变化,而有尘叶片的红边斜率和三边面积均较无尘叶片减小;叶面尘干扰下的全氮含量光谱监测模型 $R^2$ 减小,预测精度降低。试验对叶面尘作为光谱检测干扰条件作了初步探讨,为今后叶面尘影响评价及建立修正模型提供理论依据。

**关键词** 叶面尘; 反射光谱; 氮营养

**中图分类号:** S127 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)07-1895-04

### 引言

遥感、高光谱信息的诊断实现了作物氮营养的定量、无损、实时监测,并为施肥决策提供了技术支持<sup>[1]</sup>。作物光谱反射特性主要受叶片的色素含量、组织结构、叶龄及群体的叶面积指数、叶片分布等影响,同时在大田中还会受到太阳角度、仪器探测角度及土壤水分、土壤类型、土表残茬等外部环境的影响,这些干扰在一定程度上可以通过构建导数光谱或植被指数予以减小。

随着我国北方城市、工业、道路交通等建设的快速发展,大气中含尘量显著增加,加之气候干旱少雨,空气中的尘土极易被吸附滞留在粗糙湿润的叶片表面。叶面尘遮蔽了光的入射,也必然会影响作物冠层光谱的反射,进而影响植物的正常生理活动<sup>[2]</sup>。目前在高光谱遥感探测过程中,叶面尘常常被忽略,有关作物光谱特征及有效光谱信息提取时所受的干扰、对作物理化参数监测模型稳健性的影响等问题还研究的不够充分。本研究以国道旁栽培的玉米为研究对象,分别对叶片在除尘前后的反射光谱、一阶导数光谱的差异作了分析比较,探讨了叶面尘对氮营养光谱监测模型精度的影响,为今后提出叶面尘修正模型提供理论基础。

### 1 实验部分

#### 1.1 取样地

于2011年在108国道晋中段道路两侧15米范围内处于抽雄期玉米大田中进行光谱采集和采样。取样地在试验当日及7天前无大风、降雨天气。

#### 1.2 光谱采集

采用美国ASD (Analytical Spectral Device)公司生产的FieldSpec3便携式近红外光谱仪,该仪器可通过无线网络由笔记本电脑操作控制,波长范围:350~2500 nm;仪器分辨率:3nm@700 nm, 10nm@1400 nm, 10nm@2100 nm;采样间隔:1.4 nm(350~1000 nm区间), 2 nm(1000~2500 nm区间)。光谱仪每次扫描时间0.1 s, 10条原始扫描光谱自动平均得到输出曲线。光谱采集时,打开内置于植物探测器(图1)的低功耗卤素光源,并用探测器上的叶片钳将叶片中部较宽(避免叶脉)的部分夹紧,光谱采集区域为直径2 cm的圆形,通过光纤将光谱信息反馈回光谱仪。使用植物探测器可隔绝大气、自然光等外部环境的随机噪声,从而尽可能地将叶面尘作为唯一的叶片光谱干扰因素。

随机选取无病虫害植株的穗位叶进行除尘前后两次光谱测定。第一次采集含叶面尘的叶片光谱后,用去离子水将叶面尘洗净、风干,再将叶片钳定位在第一次光谱采集的圆形

收稿日期: 2011-10-17, 修订日期: 2011-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871445)资助

作者简介: 王涛, 1980年生, 山西农业大学工学院博士研究生

e-mail: wtilyok@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: zyueming88@yahoo.cn

区域,进行无尘叶片的光谱采集。测定前对系统配置作优化和白板校正。取样地内共随机选取了 24 个叶片样本。数据分析软件为 ViewSpec Pro 和 MATLAB7.3。



Fig. 1 Spectral measurement on leaf with the plant probe

### 1.3 叶片全氮测定

叶片光谱采集后,将整叶取下并编号带回实验室,用凯氏定氮法进行全氮含量(total nitrogen content, TNC)测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶片全氮含量测定值

所取 24 个玉米叶片样本全氮含量的化学分析测定值见表 1。

Table 1 Measured TNC at laboratory

项目	最大值/%	最小值/%	平均值/%	样本数
全氮含量	2.73	1.22	1.95	24

### 2.2 除尘前后叶片光谱

通过对玉米叶片在除尘前后的光谱曲线(图 2)分析可知,两曲线在 720 和 1 360 nm 附近的两次相交,使得叶面尘对叶片在可见光(350~720 nm)、近红外(720~1 360 nm)、短波红外(1 360~2 500 nm)三个区域的反射率产生了“两增一减”的不同增减效应。

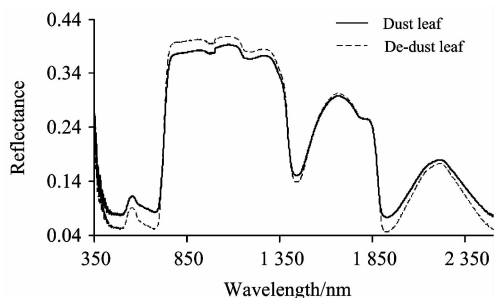


Fig. 2 Reflectance spectra of dust and de-dust leaf

有尘叶片在可见光各波段的反射率比无尘叶片平均增加了 27.95%,其中在 660 nm(绿谷)处有最大增幅 45.45%。该区域反射特性主要受叶片各种色素的影响<sup>[3]</sup>,绿光 550 nm 左右是叶绿素的强反射峰,该峰两侧由于叶绿素和氮素的强烈吸收形成吸收谷,所以可见光区对作物氮营养的监测有重要意义,但鉴于叶面尘对该区域实际光谱特征的干扰,

有可能使氮营养的估测产生偏差。

相对于可见光区域,叶面尘使叶片在短波红外各波段反射率的平均增加量有所减小,为 13.33%,但在几个水特征吸收峰处的增幅都较大,其中又以 1 935 nm 处的 47.9% 为最大。作物水分含量的光谱参量构建经常涉及到这几个水特征吸收峰<sup>[4]</sup>,所以在有叶面尘情况下,应对这些波段所受干扰程度进行评估。

与以上两区域的“两增”效应相反,叶面尘使叶片在近红外区域反射率降低,各波段平均降低了 3.7%,以 755 nm 处减少的 7% 为最多。叶片在该区形成的“反射平台”特征是由于近红外波段在叶片内部细胞壁和细胞间隙的折射率不同导致多次反射而形成,这种特征对作物的健康状况有敏感指示。

从除尘前后反射率增减幅度上比较,叶面尘对叶片在可见光区反射率的影响最大,短波红外光区次之,近红外光区最小。此外,肖仲亮<sup>[5]</sup>用人工模拟降雨除尘方法对城区种植的冬小麦研究表明,无尘叶片在 350~1 750 nm 各波段的反射率都比有尘叶片高。丁建丽<sup>[6]</sup>在沙漠边缘干旱区测定的 450~900 nm 范围干净叶面植物的反射率也较除尘前高。以上两报道中,叶面尘没有表现出对叶片在可见光和短波红外区反射率的“两增”效应,与本研究结论不尽相同。原因可能是不同环境下叶面尘化学成分、粒径特征<sup>[7, 8]</sup>以及不同类型叶片表面对灰尘滞留吸附能力的差异引起,这也说明叶面尘对叶片光谱影响的复杂性值得更深层次探讨。

### 2.3 除尘前后叶片三边参数

一阶导数光谱被认为可以消除部分线性和二次型背景噪声,能够减少遥感和高光谱测定时大气对光的散射及吸收,以及土壤等背景噪声对监测作物光谱的影响<sup>[9]</sup>。三边参数就是通过计算反射光谱的一阶导数取得的光谱参量。对红边参数而言,取 680~750 nm 范围内反射率一阶导数的最大值为红边斜率,最大值所对应的波长为红边位置,该范围内一阶导数的和为红边面积,蓝边(490~530 nm)参数和黄边(550~580 nm)参数的意义与红边参数类似。

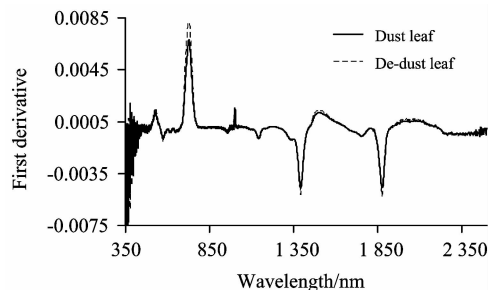


Fig. 3 First derivative spectra of dust and de-dust leaf

图 3 为除尘前后玉米叶片的一阶导数光谱。可以分析出,三边位置、蓝边斜率和黄边斜率在除尘前后无变化,即这 5 个三边参数对叶面尘的干扰不敏感;有尘叶片的红边斜率和蓝、黄、红三边面积均较无尘叶片减小,在 24 个叶片样本中减幅分别为 0~0.001, 0~0.002, 0.005~0.009, 0.004~0.046,且叶片全氮含量越少减幅越大。红边上蕴含的丰

富光谱信息一直是相关研究的热点<sup>[10]</sup>，相对于红边斜率和红边面积，红边位置表现出对叶面尘的较强抗干扰能力，应给予这一参数更多关注。

**2.4 除尘前后的全氮含量光谱监测模型**

目前对作物氮营养有良好指示作用的特征波段、植被指数等光谱参数的选取和构建主要集中在可见光和近红外光区，但鉴于叶面尘对叶片反射率及一阶导数光谱存在的不同程度影响，下面用 24 个叶片样本在除尘前后的 550 nm 反射率、红边面积和 3 个植被指数共 5 个光谱参量(表 2)分别建立氮营养监测模型，以进一步探讨叶面尘对模型稳定性和预测精度的影响。

**Table 2 Summary of spectral parameters**

参数		描述
绿峰	$R_{550}$	550 nm 处反射率
红边面积	SDr	680~750 nm 反射率一阶导数之和
改进归一化指数	mND <sub>705</sub>	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} + 2 \times R_{445})$
简单比值指数	SR	$R_{517} / R_{413}$
光合反射指数	PRI	$(R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$

表 2 中的 5 个光谱参数已被报道对氮营养有很好的指示作用。绿峰是在绿光 510~560 nm 范围内由于作物色素对蓝光和黄光的强烈吸收而形成的反射峰，其中 550 nm 处反射率与玉米叶片全氮含量和叶绿素计读数都有较好的关系<sup>[11]</sup>；红边面积(SDr)与玉米叶片中叶绿素、类胡萝卜素含量显著相关<sup>[12]</sup>；改进归一化指数(modified normalized difference index, mND)mND705 能够减小叶片的表面反射影响，与不同类型叶片叶绿素含量都有较好相关性<sup>[13]</sup>；简单比值指数(simple ration index, SR) $R_{517} / R_{413}$ 与棉花叶片全氮含量有显著的线性关系<sup>[14]</sup>；光合反射指数(photochemical reflectance index, PRI)与作物光合效率相关，进而反映氮营养水平<sup>[15]</sup>。

用决定系数(determinate coefficient,  $R^2$ )和均方根差(root mean square error, RMSE)检验模型的稳定性及预测精度。决定系数是变量之间相关程度的指标，取值范围为[0, 1]。 $R^2$  值越大，变量之间的线性相关程度越高； $R^2$  值越接近 0，变量之间的线性相关程度越差。RMSE 是对预测值与实

际值之间的符合度进行统计，值越小则模型预测性能越好。

**Table 3 Spectral parameter models for TNC(n=24)**

参数	叶片类型	线性模型	$R^2$	RMSE
$R_{550}$	无尘	$y = -107.86x + 10.927$	0.810 **	0.277
	有尘	$y = -75.5x + 9.676$	0.665 **	0.346
SDr	无尘	$y = -35.952x + 12.401$	0.692 **	0.318
	有尘	$y = -14.952x + 8.765$	0.645 **	0.337
mND <sub>705</sub>	无尘	$y = 30.1042x - 1.0571$	0.452 **	0.315
	有尘	$y = 27.089x - 9.0311$	0.684 **	0.454
SR	无尘	$y = 249.15x - 221.51$	0.684 **	0.327
	有尘	$y = 1005.7x - 948.57$	0.527 **	0.396
PRI	无尘	$y = 184.36x - 8.1145$	0.754 **	0.285
	有尘	$y = 320.54x - 14.34$	0.630 **	0.356

注：\*\* 表示 0.01 水平显著， $R^2_{0.01[24]} = 0.2460$

除尘前后各光谱参量的全氮含量监测模型  $R^2$  都达到了极显著(表 3)，但无尘叶片光谱参量所建模型的  $R^2$  值均大于除尘前，且 RMSE 较除尘前小，说明叶面尘还是使线性模型变得不稳定，预测偏差增大。可见，叶面尘一定程度上弱化了光谱中与氮营养相关的信息，甚至可能参入了叶面尘的“伪信息”，给氮营养的监测带来干扰，所以在模型建立或应用时，应对测试环境中叶面尘的干扰程度进行评估。

**3 结 论**

大田环境下，叶面尘是光谱探测过程中不可避免的环境因素，在国道旁玉米大田中对叶面尘的研究表明：(1)叶面尘对叶片在可见光、近红外和短波红外三个区域的反射率增减效应不同，叶面尘使得可见光和短波红外区域的反射率增加，在近红外区域的反射率减少，对绿谷、水吸收等特征波段反射率的影响尤其大；(2)叶面尘对三边参数不完全都有影响，其中的三边位置、蓝边斜率和黄边斜率在除尘前后无变化，而红边斜率和三边面积均较无尘叶片减小；(3)叶面尘干扰下所建氮营养光谱监测模型的预测精度降低。所以，为了在模型建立或应用的过程中取得高的预测精度，应该主动创建无叶面尘环境或对叶面尘干扰进行修正。

**References**

[1] QIN Xia, WANG Shao-hua, XUE Li-hong(覃 夏, 王绍华, 薛利红). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2011, 44(4): 691.  
 [2] Hirano T, Kiyota M, Aiga I. Environmental Pollution, 1995, 89(3): 255.  
 [3] Liew O W, Chong P C J, Li B Q, et al. Sensors, 2008, 8: 3205.  
 [4] WANG Ji-hua, ZHAO Chun-jiang, GUO Xiao-wei, et al(王纪华, 赵春江, 郭晓维, 等). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2001, 34(1): 1.  
 [5] XIAO Shen-liang, CHEN Zhong-xin(肖伸亮, 陈仲新). Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报), 2007, 23(4): 410.  
 [6] DING Jian-li, SHEN Tao, ZHU Qi-jiang, et al(丁建丽, 沈 涛, 朱启疆, 等). Remote Sensing Information(遥感信息), 2005, 3: 27.  
 [7] PANG Bo, ZHANG Yin-long, WANG Dan(庞 博, 张银龙, 王 丹). Ecology and Environmental Sciences(生态环境学报), 2009, 18(4): 1312.  
 [8] Gupta A, Kumar R, Kumari K M, et al. Chemosphere, 2004, 55: 1097.  
 [9] JU Chang-hua, TIAN Yong-chao, ZHU Yan, et al(鞠昌华, 田永超, 朱 艳, 等). Journal of Plant Ecology(植物生态学报), 2008, 32(3): 664.

- [10] YI Qiu-xiang, HUANG Jing-feng, WANG Xiu-zhen, et al(易秋香, 黄敬峰, 王秀珍, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2006, 22(9): 138.
- [11] Blacker T M, Schepers J S, Varvel G E. Agronomy Journal, 1994, 86: 934.
- [12] TANG Yan-lin, WANG Xiu-zhen, WANG Ren-chao(唐延林, 王秀珍, 王人潮). Journal of Mountain Agriculture and Biology(山地农业生物学报), 2003, 22(3): 189.
- [13] Sims D A, Gamon J A. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 337.
- [14] Zhao D, Reddy K R, Kakani V G, et al. Agronomy Journal, 2005, 97: 89.
- [15] Gamon J A, Peñuelas J, Field C B. Remote Sensing Environment, 1992, 41:35.

## Influence of Foliar Dust on Crop Reflectance Spectrum and Nitrogen Monitoring

WANG Tao, LIU Yang, WU Hai-yun, ZUO Yue-ming\*

Engineering College of Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

**Abstract** More researches were carried out to investigate the application of spectral technology on crop nutrition diagnosis. However, the complex conditions in the field results in the uncertainty of spectrum. In this paper, the influence of foliar dust on spectral of the crop beside the nation road was studied, the differences of the raw spectral reflectance and first derivative spectral reflectance between the foliar with dust and the foliar washed with deionised water were analyzed, nitrogen prediction models were built on the disturbance of foliar dust. Result showed that the dust foliar spectral reflectance increased in the visible light (350~720 nm) and shortwave infrared (SWIR) (1 360~2 500 nm) regions whereas the spectral reflectance in the near infrared (NIR) (720~1 360 nm) wavelength regions decreased. There were no change rules for blue edge position, yellow edge position, red edge position, blue edge slope and yellow edge slope on the effect of foliar dust, but red edge slope, blue edge area, yellow edge area, red edge area decreased. Determinate coefficient( $R^2$ ) of nitrogen prediction models reduced in the condition of foliar dust. The primary research work about the condition of foliar dust was studied which helps to provide foundation for evaluating effect of foliar dust and proposing foliar dust modification model in the future.

**Keywords** Foliar dust; Reflectance spectral; Nitrogen nutrition; Influence

(Received Oct. 17, 2011; accepted Dec. 23, 2011)

\* Corresponding author