

SO₂ 毒害水稻叶片吸收光谱植被指数研究

韩 超, 张金恒

(青岛科技大学生态环境与农业信息化研究所 环境与安全工程学院, 山东 青岛 266042)

摘 要 为寻找对 SO₂ 伤害敏感的叶片吸收光谱植被指数,通过田间熏气试验对水稻叶片吸收光谱与叶绿素总量、熏气浓度的相关性进行了研究。结果表明,由吸收光谱曲线及其一阶导数光谱曲线的特征位置确定的分别位于蓝光区、黄光区和红光区的 12 个特征波段的叶片吸收光谱值均与叶绿素总量显著相关,由这些特征波段构建的植被指数 *BEACI/YEACI/REACI* 与叶绿素总量的相关性都达到极显著水平,并且相关系数比特征单波段吸收光谱值与叶绿素总量的相关性显著提高。进一步分析这些植被指数与 SO₂ 熏气浓度之间的相关性表明,最新完全展开叶在 663.239、693.460 nm 的单波段吸收光谱以及植被指数 *BEACI*、*REACI*、*YEACI*_{613.385}、*YEACI*_{630.036} 和 *YEACI*_{663.239} 与 SO₂ 熏气浓度呈正显著相关。*BEACI*、*REACI*、*YEACI*_{613.385}、*YEACI*_{630.036} 和 *YEACI*_{663.239} 为叶片吸收光谱 SO₂ 伤害敏感植被指数,具有估测水稻 SO₂ 伤害的应用潜力。

关键词 二氧化硫 水稻 吸收光谱 植被指数 叶绿素总量

中图分类号 X503.231 **文献标志码** A **文章编号** 1672-2043(2009)11-2224-08

Leaf Absorptance Spectrum Sensitive Vegetation Indices Under Sulfur Dioxide Acute Injury

HAN Chao, ZHANG Jin-heng

(Institute of Eco-environment & Agriculture Information, School of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract This study aimed at developing a number of indices of the leaf absorptance sensitive to sulfur dioxide (SO₂)-injury. Experiments were conducted in an open-top fumigation device to investigate the correlations between leaf absorptance and chlorophyll concentration, SO₂ concentration. The result showed that algorithms of *BEACI/YEACI/REACI* (blue/yellow/red/edge absorptance spectrum chlorophyll index) based on absorptance band ratios had been developed for the remote estimation of chlorophyll a (Chla), chlorophyll b (Chlb) and total chlorophyll concentration (Chl) of SO₂-injured rice leaves. The characteristic wavelength positions were selected from the zero, peak and dip positions of the first derivative curve and spectral absorptance curve in the three edge (blue edge, yellow edge and red edge) regions. The absorptivity of the 12 characteristic wavelenths were proved to be significantly correlated with the chlorophyll concentrations, and the vegetation indices *BEACI/REACI/YEACI* had higher correlation coefficients with the chlorophyll concentrations than single leaf absorptance spectrum. By further analysis on the relations between these indices and SO₂ concentrations, the absorptance spectrum of 663.239 nm, 693.460 nm, *BEACI*, *REACI*, *YEACI*_{630.036} and *YEACI*_{663.239} of the upper leaves had higher correlations coefficients with SO₂ concentrations. The result indicated that *BEACI*、*REACI*、*YEACI*_{613.385}、*YEACI*_{630.036} and *YEACI*_{663.239} were sensitive to SO₂ injury, so it was considered that it was feasible to recognize the SO₂ injury by these vegetation indices.

Keywords sulfur dioxides; rice; absorptance spectrum; vegetation indices; chlorophyll concentration

随着工农业生产的不断发展,排放到环境中的污染物日益增加,大大超过了生态系统自然净化的能力,造成环境污染。环境污染不仅直接危害人类的健康和

安全,而且伤害植物,也给农业生产造成巨大损失。

SO₂ 是我国当前最主要的大气污染物,对农作物的生长、发育和产量都有明显的危害^[1-4]。研究表明 SO₂ 对农作物的叶绿素总量有明显的影响,植物的叶绿素总量与大气 SO₂ 浓度有密切关系^[5-10]。叶绿素 a 和叶绿素 b 在植物生长过程中起着至关重要的作用,精确测定其含量可为农作物生长状况、植物病理诊断等提供科学依据^[11]。高光谱技术已能直接应用于对地

收稿日期 2009-05-11

基金项目 国家自然科学基金(40601062) ;“863”课题(2007AA10Z205)

作者简介 韩 超(1982—),女,硕士研究生,研究方向为农业遥感与
信息。E-mail:hanchao0705@163.com

通讯作者 张金恒 E-mail:zhangjinheng@qust.edu.cn

物进行微弱光谱差异的定量分析。由于高光谱能提供更多精细光谱信息,已成为地表植被地学过程对地观测的强有力的工具。作物的许多生理生化指标的估测在宽光谱中很难或根本无法实现,但高光谱遥感使得大面积农作物的生理生化指标的适时监测和快速提取及定量反演成为可能,这弥补了常规检测方法的不足^[12-13]。高光谱数据中有大量可供选择的波段和植被指数,国内外学者在高光谱遥感和应用高光谱数据反演作物体内理化组分方面做了大量的研究,并建立了一些模拟模型^[14-16]。Horler等使用森林光谱对树冠化学成分进行研究,确定了其与生物量以及光谱数据相关最密切的波段组合^[17]。王渊等通过研究叶片反射率的多种变换形式与氮素含量的关系,发现反射率光谱的转化形式R的一阶微分为预测油菜氮素含量的最佳形式^[18]。张金恒等通过水稻叶片的反射光谱,研究了叶片反射光谱诊断氮素营养的敏感波段范围^[19]。唐延林等研究表明,高光谱植被指数 R_{990}/R_{553} 、 R_{1200}/R_{553} 、 R_{750}/R_{553} 、 R_{553}/R_{670} 、 R_{800}/R_{553} 、 R_{800}/R_{680} 、 $(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680})$ 和红边位置与水稻叶绿素总量间存在极显著相关,可用来估算水稻冠层、叶片和穗的叶绿素总量^[20]。谢瑞芝通过分析不同品种,不同氮肥和密度处理的玉米叶片的吸收率和反射率与色素的关系,发现 mSR_{705} 和 mND_{705} 无论以反射率还是以吸收率为基础计算,均表现出与色素含量间的强相关性^[21]。包括上述参考文献在内的已见报道的植被指数,多数是基于反射光谱关于植物养分水分胁迫评价方面的研究,张金恒等采用数码相机获取小麦叶片图像,分析了 SO_2 急性伤害对小麦叶片对可见光反射特性的影响,研究表明色彩参数R、G、B与 SO_2 浓度之间相关性不显著,但R、G、B与光照强度的比值(色彩参数光强比值植被指数)与 SO_2 浓度在0.01水平下存在对数极显著负相关,二者之间的拟合方程决定系数达到0.859以上^[22]。利用叶片吸收光谱构建植被指数估测 SO_2 伤害的研究还鲜见报道,而这样的研究对于构建基于叶片光谱无损探测技术快速定性或定量诊断植物 SO_2 胁迫模型和方法是有意义的。

本文以水稻为供试材料,通过田间小区试验设计,对分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期正常生长的水稻进行田间 SO_2 熏气处理,研究 SO_2 急性伤害条件下,水稻叶片特征吸收光谱及其植被指数与叶绿素总量、 SO_2 熏气浓度之间的相关性,探索利用叶片吸收光谱构建植被指数估测 SO_2 伤害的可行性,从而为 SO_2 伤害的实时无损监测奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

选用生育期相似、叶色差异明显的3个水稻品种:泽稻13(杂交粳稻,半直穗型,深绿)、临稻11(常规粳稻,直穗型,深绿)和阳光200(常规粳稻,直穗型,浅绿),株行距14 cm×17 cm。氮肥按 $585\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 尿素(折合成纯氮为 $273\text{ kg}\cdot\text{N}\cdot\text{hm}^{-2}$),以50%基肥、40%分蘖肥、10%穗肥施入。试验按常规管理方式进行田间管理。

1.2 熏气方法

分别在分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期,利用开顶式熏气装置^[23]进行 SO_2 急性伤害处理,熏气浓度设置5个水平0、10、20、30、40 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (分别表示为C0、C1、C2、C3、C4),熏气时间为1 h^[24]。

1.3 叶片光谱测定

光谱仪选用荷兰Aventes公司生产的AvaSpec-2048FT-SPU光谱仪,波段范围350~1100 nm,光谱分辨率2.4 nm。光源选用卤钨灯光源AvaLight-HAL。在每次熏气结束后从每个熏气处理的小区内各选取长相适中的水稻植株10株,连根一起取回实验室,分别测主茎上完全展开倒1叶(以从叶鞘中能见叶耳为准,孕穗后为剑叶)、倒2叶和倒3叶片的吸收光谱,测试吸收光谱时每个样本取100次平均。所得数据经接口直接输入计算机进行数据处理。测定部位为样品中部,每次测定时部位应尽量保持一致。

1.4 叶绿素总量测定

同一小区的光谱测试之后的所有同一叶位的叶片叠加在一起,用打孔器从叶片中部叶脉左右对称均匀选取0.05 g,加80%丙酮50 mL于室温下遮光静置24 h至样品完全发白,对提取液用SP-722型分光光度计测定663 nm和645 nm的OD值,然后按下面公式计算叶绿素总量^[25]。

$$\text{Chla}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})=12.72\times\text{OD}_{663}-2.59\times\text{OD}_{645}$$

$$\text{Chlb}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})=22.88\times\text{OD}_{645}-4.67\times\text{OD}_{663}$$

$$\text{Chlt}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})=20.2\times\text{OD}_{645}+8.05\times\text{OD}_{663}$$

1.5 数据处理

用统计软件SPSS13.0分析吸收光谱与叶绿素总量、 SO_2 熏气浓度之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 熏气处理对叶片叶绿素总量的影响

不同生育期水稻经 SO_2 熏气处理后,3个水稻品

种不同叶位叶片叶绿素总量的变化见图 1。结果表明,经 SO_2 急性伤害,叶片叶绿素总量在不同叶位、不同品种之间存在差异,分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期上位叶叶绿素总量均低于中位叶和下位叶,除在抽穗期和灌浆期阳光 200 对照组的上位叶叶绿素总量、抽穗期临稻 11 上位叶叶绿素总量高于中

位叶。在分蘖期、拔节期、孕穗期和抽穗期,随着熏气浓度的升高,不同功能叶的叶绿素总量总体呈现先上升后下降的趋势,但是由于不同叶位和生育期之间叶片的长势状况有明显差异,上升和下降的临界 SO_2 浓度在各生育期和不同品种之间存在差异。在灌浆期不同各功能叶的叶绿素总量随熏气浓度升高而变化不

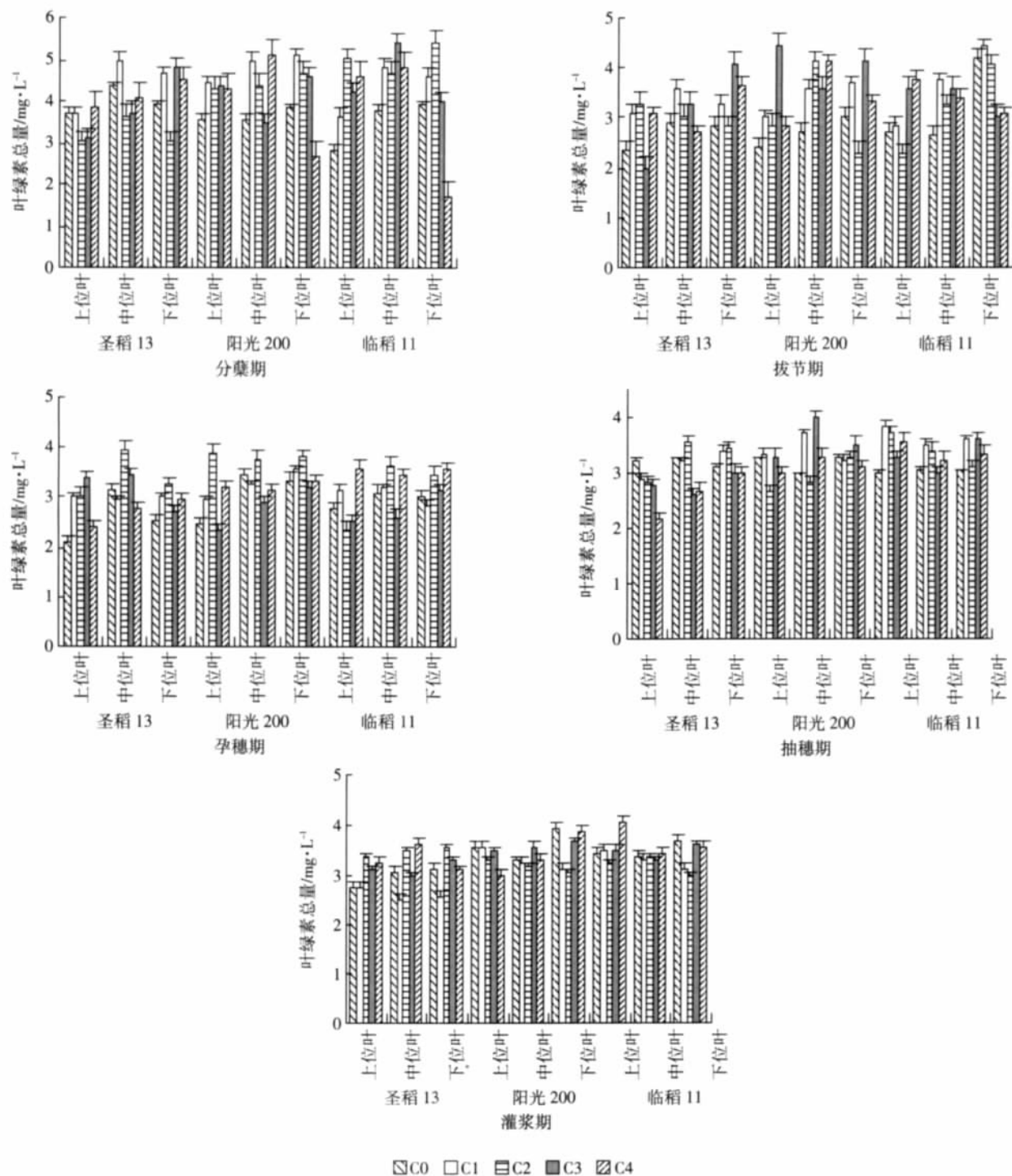


图 1 SO_2 熏气后水稻叶片叶绿素总量的变化
Figure 1 The leaf Chlorophyll concentration of rice after SO_2 fumigation

大,在到达临界浓度之前, SO_2 熏气有可能起到叶面硫肥的作用,促进叶绿素合成,叶绿素总量增加,而到临界浓度之后, SO_2 熏气对叶片的伤害导致叶片叶绿素总量下降。

2.2 特征波段的选择和吸收光谱植被指数的建立

2.2.1 特征波段的选择

可见光区的“蓝边”(蓝过渡到绿)、绿峰、“黄边”(绿过渡到红)、红光低谷及红光过渡到近红外的“红边”是描述植被色素状态和健康状况的重要指示波段^[26]。所有时期不同熏气浓度下不同品种水稻叶片吸收光谱曲线及其一阶光谱曲线如图 2 所示。选取吸收光谱曲线的峰值、谷值和一阶导数吸收光谱曲线的对应的波段,一阶导数吸收光谱曲线的峰值、谷值和零点与对应的吸收光谱曲线波段作为特征波段,这其中包括蓝边、黄边和红边位置(表 1)。

表 1 由图 2 选择的特征波段范围 (nm)

Table 1 Wavelength positions were selected from figure 2 (nm)

蓝边	黄边		红边
480.188	553.401	600.155	675.227
	570.169	613.385	
508.728	630.036	645.509	693.460
553.401	663.239	675.227	762.016

将 3 个供试品种叶片吸收特征光谱与叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和叶绿素总量 (Chl) 进行相关性分析表明,除了圣稻 13 的 762.016 nm 叶片吸收光谱与叶绿素 a、叶绿素总量,阳光 200 的 480.188 nm 叶片吸收光谱与叶绿素 b 含量,临稻 11 的 480.188 nm 和 762.016 nm 的吸收光谱与叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量,临稻 11 的 663.239 nm、675.227 nm 吸

收光谱与叶绿素 b 含量的相关性不显著外,其余波段的叶片吸收光谱与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和叶绿素总量都呈显著正相关(表 2)。

2.2.2 吸收光谱植被指数的建立

以蓝边、黄边和红边区域特征波段吸收光谱的差值比值组合建立高光谱植被指数,分析其与叶绿素总量、 SO_2 熏气浓度的相关性,以期选取具有定量或者定性评价水稻 SO_2 伤害程度的光谱指数。 $BEACI/YEACI/REACI$ 分别定义为蓝边/黄边/红边吸收光谱叶绿素指数,表达式如下:

$$BEACI = \frac{A_{553.401} - A_{508.728}}{A_{508.728} - A_{480.188}} \quad (1)$$

$$REACI = \frac{A_{762.016} - A_{693.460}}{A_{693.460} - A_{675.227}} \quad (2)$$

$$YEACI_{\lambda_i} = \frac{A_{675.227} - A_{\lambda_i}}{A_{\lambda_i} - A_{553.401}} \quad (3)$$

A_{λ_i} 表示波长 λ_i 处 570.169 nm (λ_i), 600.155 nm (λ_i), 613.385 nm (λ_i), 630.036 nm (λ_i), 645.509 nm (λ_i) 和 663.239 nm (λ_i) 的吸收率。

2.3 吸收光谱植被指数与叶绿素总量和熏气浓度的相关分析

2.3.1 吸收光谱植被指数与叶绿素总量的相关性

3 个品种叶片吸收光谱植被指数与叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量的相关性在 0.01 水平达到极显著相关(表 3),其中 $BEACI$ 和 $REACI$ 与叶绿素总量极显著正相关, $YEACI_{\lambda_i}$ 与叶绿素总量极显著负相关。与蓝光和红光区单波段特征吸收光谱相比,对应的植被指数 $BEACI$ 和 $REACI$ 与叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量的相关性均有显著提高;与黄光区单波段特征吸收光谱相比,相应 $YEACI_{\lambda_i}$ 与叶绿素总量的相关性,除了圣稻 13 和阳光 200 的植被指数 $YEACI_{570.169}$

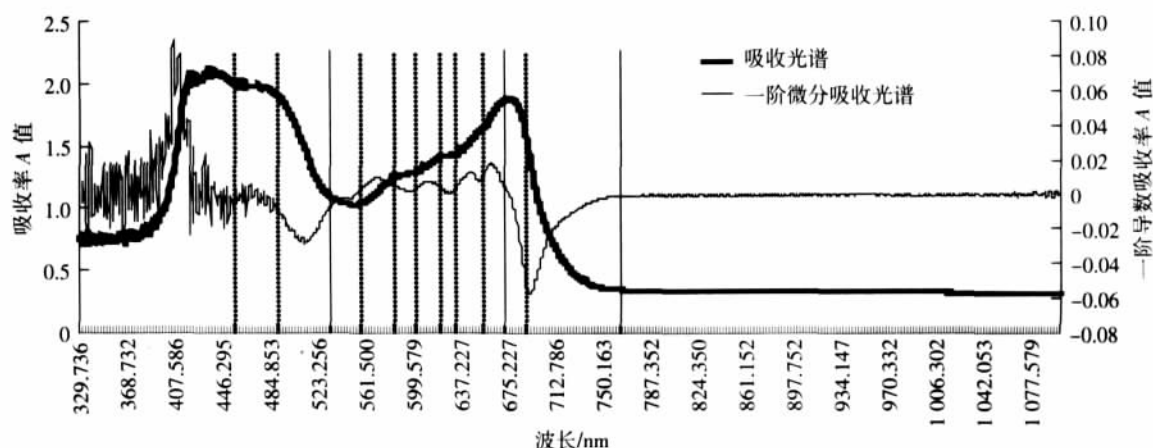


图 2 吸收光谱及其一阶光谱曲线的典型波段位置

Figure 2 Characteristic wavelength position of the first derivative scurve and spectral absorbance scurve

表 2 叶绿素总量与特征吸收光谱的相关性 ($n=77$)Table 2 The correlations between chlorophyll concentration (Chla, Chlb and Chlt) and vegetation indices ($n=77$)

品种	波长	Chla		Chlb		Chlt	
		Correlation coefficient	Sig.	Correlation coefficient	Sig.	Correlation coefficient	Sig.
圣稻 13	A _{480.188}	0.426**	0.000	0.323**	0.004	0.413**	0.000
	A _{508.728}	0.541**	0.000	0.558**	0.000	0.595**	0.000
	A _{553.401}	0.513**	0.000	0.581**	0.000	0.588**	0.000
	A _{570.169}	0.521**	0.000	0.577**	0.000	0.592**	0.000
	A _{600.155}	0.536**	0.000	0.578**	0.000	0.601**	0.000
	A _{613.385}	0.541**	0.000	0.579**	0.000	0.605**	0.000
	A _{630.036}	0.551**	0.000	0.590**	0.000	0.616**	0.000
	A _{645.509}	0.549**	0.000	0.580**	0.000	0.610**	0.000
	A _{663.239}	0.560**	0.000	0.549**	0.000	0.602**	0.000
	A _{675.227}	0.531**	0.000	0.500**	0.000	0.561**	0.000
	A _{693.460}	0.547**	0.000	0.611**	0.000	0.623**	0.000
	A _{762.016}	0.150	0.194	0.465**	0.000	0.313**	0.006
阳光 200	A _{480.188}	0.279*	0.014	0.119	0.301	0.233*	0.041
	A _{508.728}	0.372**	0.001	0.395**	0.000	0.425**	0.000
	A _{553.401}	0.309**	0.006	0.397**	0.000	0.386**	0.001
	A _{570.169}	0.319**	0.005	0.398**	0.000	0.393**	0.000
	A _{600.155}	0.346**	0.002	0.411**	0.000	0.416**	0.000
	A _{613.385}	0.360**	0.001	0.414**	0.000	0.427**	0.000
	A _{630.036}	0.373**	0.001	0.428**	0.000	0.442**	0.000
	A _{645.509}	0.381**	0.001	0.428**	0.000	0.446**	0.000
	A _{663.239}	0.391**	0.000	0.373**	0.001	0.426**	0.000
	A _{675.227}	0.344**	0.002	0.300**	0.008	0.361**	0.001
	A _{693.460}	0.368**	0.001	0.452**	0.000	0.450**	0.000
	A _{762.016}	0.076	0.512	0.290*	0.011	0.188	0.102
临稻 11	A _{480.188}	0.150	0.192	-0.071	0.542	0.051	0.658
	A _{508.728}	0.405**	0.000	0.278*	0.014	0.378**	0.001
	A _{553.401}	0.391**	0.000	0.312**	0.006	0.387**	0.001
	A _{570.169}	0.403**	0.000	0.324**	0.004	0.401**	0.000
	A _{600.155}	0.422**	0.000	0.333**	0.003	0.416**	0.000
	A _{613.38}	0.430**	0.000	0.334**	0.003	0.421**	0.000
	A _{630.036}	0.441**	0.000	0.346**	0.002	0.434**	0.000
	A _{645.509}	0.430**	0.000	0.332**	0.003	0.420**	0.000
	A _{663.239}	0.409**	0.000	0.271*	0.017	0.377**	0.001
	A _{675.227}	0.341**	0.002	0.179	0.120	0.290*	0.011
	A _{693.460}	0.457**	0.000	0.376**	0.001	0.458**	0.000
	A _{762.016}	0.121	0.293	0.163	0.158	0.154	0.181

注 *, ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平。

与叶绿素总量的相关性变化不大外,其余均有显著提高。吸收光谱植被指数 $BEACI$ 、 $REACI$ 、 $YEACI_{600.155}$ 、 $YEACI_{613.385}$ 、 $YEACI_{630.036}$ 、 $YEACI_{645.509}$ 和 $YEACI_{663.239}$, 尤其 $YEACI_{630.036}$ 和 $YEACI_{663.239}$ 与叶绿素总量、叶绿素 b 含量的相关性好于其与叶绿素 a 含量的相关性。

2.3.2 植被指数与熏气浓度的关系

分析不同叶位上述吸收光谱植被指数与 SO₂ 熏气浓度的相关性发现,上位叶 663.239、693.460 nm 的吸收光谱、 $BEACI$ 和 $REACI$ 与 SO₂ 的熏气浓度显著负相关, $YEACI_{613.385}$ 、 $YEACI_{630.036}$ 和 $YEACI_{663.239}$ 与 SO₂ 的熏气浓度显著正相关。其中,圣稻 13 上位叶在 663.239、693.460 nm 的吸收率及 $BEACI$ 、 $REACI$ 、

表 3 吸收光谱植被指数与叶绿素总量的相关性 ($n=77$)Table 3 The correlations between chlorophyll concentrations (Chla, Chlb and Chlt) and vegetation indices ($n=77$)

品种	植被指数	Chla		Chlb		Chlt	
		Correlation coefficients	Sig.	Correlation coefficients	Sig.	Correlation coefficients	Sig.
圣稻 13	BEACI	0.567**	0.000	0.808**	0.000	0.730**	0.000
	REACI	0.568**	0.000	0.639**	0.000	0.650**	0.000
	YEA CI _{570.169}	-0.514**	0.000	-0.531**	0.000	-0.565**	0.000
	YEA CI _{600.155}	-0.559**	0.000	-0.595**	0.000	-0.623**	0.000
	YEA CI _{613.385}	-0.561**	0.000	-0.608**	0.000	-0.631**	0.000
	YEA CI _{630.036}	-0.578**	0.000	-0.660**	0.000	-0.666**	0.000
	YEA CI _{645.509}	-0.532**	0.000	-0.626**	0.000	-0.622**	0.000
	YEA CI _{663.239}	-0.593**	0.000	-0.614**	0.000	-0.653**	0.000
阳光 200	BEACI	0.346**	0.002	0.616**	0.000	0.515**	0.000
	REACI	0.378**	0.001	0.530**	0.000	0.494**	0.000
	YEA CI _{570.169}	-0.302**	0.008	-0.389**	0.000	-0.378**	0.001
	YEA CI _{600.155}	-0.384**	0.001	-0.484**	0.000	-0.475**	0.000
	YEA CI _{613.385}	-0.414**	0.000	-0.494**	0.000	-0.499**	0.000
	YEA CI _{630.036}	-0.422**	0.000	-0.530**	0.000	-0.521**	0.000
	YEA CI _{645.509}	-0.421**	0.000	-0.551**	0.000	-0.531**	0.000
	YEA CI _{663.239}	-0.509**	0.000	-0.528**	0.000	-0.575**	0.000
临稻 11	BEACI	0.619**	0.000	0.743**	0.000	0.740**	0.000
	REACI	0.544**	0.000	0.552**	0.000	0.599**	0.000
	YEA CI _{570.169}	-0.483**	0.000	-0.514**	0.000	-0.544**	0.000
	YEA CI _{600.155}	-0.519**	0.000	-0.513**	0.000	-0.565**	0.000
	YEA CI _{613.385}	-0.544**	0.000	-0.521**	0.000	-0.583**	0.000
	YEA CI _{630.036}	-0.552**	0.000	-0.548**	0.000	-0.602**	0.000
	YEA CI _{645.509}	-0.514**	0.000	-0.535**	0.000	-0.574**	0.000
	YEA CI _{663.239}	-0.569**	0.000	-0.575**	0.000	-0.626**	0.000

注 *, ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平。

表 4 光谱植被指数与 SO₂ 浓度的关系 ($n=23$)Table 4 The correlation between SO₂ concentrations and vegetation indices ($n=23$)

植被指数	SO ₂ 浓度								
	圣稻 13			阳光 200			临稻 11		
	上位叶	中位叶	下位叶	上位叶	中位叶	下位叶	上位叶	中位叶	下位叶
A _{663.239}	-0.727**	-0.265	-0.051	-0.415*	-0.180	0.256	-0.443*	-0.262	-0.07
A _{693.460}	-0.703**	-0.284	-0.065	-0.430*	-0.227	0.135	-0.459*	-0.282	-0.067
BEACI	-0.607**	-0.409	-0.279	-0.510*	-0.282	-0.197	-0.475*	-0.277	-0.004
REACI	-0.669**	-0.289	0.018	-0.506*	-0.18	0.108	-0.541**	-0.29	0.12
YEA CI _{613.385}	0.550**	0.177	-0.152	0.479*	-0.004	-0.239	0.489*	0.179	-0.298
YEA CI _{630.036}	0.555**	0.176	-0.134	0.446*	0.004	-0.213	0.471*	0.161	-0.268
YEA CI _{663.239}	0.441*	0.080	-0.228	0.448*	-0.103	-0.314	0.471*	0.088	-0.453*

注 *, ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平。

YEA CI_{613.385}、YEA CI_{630.036} 与 SO₂ 熏气浓度之间达到极显著水平 (表 4)。分析上位叶片吸收光谱及其植被指数与 SO₂ 熏气浓度相关性好于中位和下位叶的原因,

可能是上位叶活力强, 而且抵抗力较弱, 对危害较敏感。因此, 通过吸收光谱来研究进入分蘖盛期后的水稻受 SO₂ 毒害, 应该以上位叶作为研究对象, 这一点

还有待进一步通过实验验证。

3 结论

对水稻进行 SO₂ 田间熏气试验,分析 SO₂ 急性伤害条件下水稻叶片吸收特征光谱波段并建立吸收光谱植被指数,比较分析单波段吸收光谱及其植被指数与叶绿素总量的相关性,分析吸收光谱植被指数与 SO₂ 浓度的相关性,其结论为:与单波段吸收光谱比较,构建的吸收光谱 $BEACI$ 、 $REACI$ 、 $YEACI$ 植被指数与叶绿素总量的相关性不同程度上均有提高。通过对比分析单波段吸收光谱和光谱植被指数与 SO₂ 熏气浓度的相关性发现,单波段 663.239、693.460 nm 吸收光谱以及吸收光谱植被指数 $BEACI$ 、 $REACI$ 、 $YEACI_{613.385}$ 、 $YEACI_{630.036}$ 和 $YEACI_{663.239}$ 与 SO₂ 浓度存在显著相关关系。结合构建的吸收光谱和叶绿素总量以及和 SO₂ 浓度之间的显著性相关关系,可以认为所选的吸收光谱植被指数能影响水稻 SO₂ 胁迫,而关于吸收光谱植被指数的同类研究鲜见报道。因此,本研究初步确定 $BEACI$ 、 $REACI$ 、 $YEACI_{613.385}$ 、 $YEACI_{630.036}$ 和 $YEACI_{663.239}$ 为叶片吸收光谱 SO₂ 伤害敏感植被指数,综合分析上位叶吸收光谱植被指数 $BEACI$ 、 $REACI$ 、 $YEACI_{613.385}$ 、 $YEACI_{630.036}$ 和 $YEACI_{663.239}$ 与叶绿素总量和 SO₂ 浓度的相关关系,有可能构建水稻 SO₂ 伤害估测模型。

参考文献:

- [1] 刘厚田,季德清,单素云,等. 二氧化硫对棉花叶片光谱反射特性的影响[J]. 环境科学学报, 1983, 3 (4) : 329-334.
LIU Hou-tian, JI De-qing, SHAN Su-yun, et al. Effects of sulfur dioxide on spectral reflectance of cotton leaves[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1983, 3 (4) : 329-334.
- [2] 张耀民,吴丽英,王晓霞,等. 低浓度二氧化硫长期暴露对作物生产力的影响[J]. 环境科学研究, 1990, 3 (1) : 38-43.
ZHANG Yao-min, WU Li-ying, WANG Xiao-xia, et al. Effects of at sulfur dioxide low concentration on productivity of crops in long-term exposure[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1990, 3 (1) : 38-43.
- [3] 易秀,张洪生,郑泽群. 二氧化硫对小麦玉米的急性慢性伤害研究[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25 (4) : 45-50.
YI Xiu, ZHANG Hong-sheng, ZHENG Ze-qun. Studies on chronic and acute injury of SO₂ to wheat and corn[J]. *The Journal of Northwest Agricultural University*, 1997, 25 (4) : 45-50.
- [4] 张金恒,李日鹏,韩超. 二氧化硫对水稻产量构成因子的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27 (5) : 1890-1894.
ZHANG Jin-heng, LI Yue-peng, HAN Chao. Effects of sulphur dioxide on the yield components of rice[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27 (5) : 1890-1894.
- [5] Rao D N, LeBlanc F. Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll[J]. *The Bryologist*, 1966, 69 (1) : 69-75.
- [6] Henriksson E, Pearson L C. Nitrogen fixation rate and chlorophyll content of the lichen *Peltigera canina* exposed to sulphur dioxide[J]. *American Journal of Botany*, 1981, 68 : 580-684.
- [7] 吴世军. 大气 SO₂ 浓度对植物叶绿素总量的影响研究[J]. 泉州师范学院学报, 2006, 24 (4) : 110-114.
WU Shi-jun. Correlation of chlorophyll in leaves and SO₂ in air[J]. *Journal of Quanzhou Normal University*, 2006, 24 (4) : 110-113.
- [8] Bacic T, Popovic Z. Preliminary report on epicuticular wax surface condition on stomata of *Abies alba* Mill. Needles from Risnjak National Park in Croatia[J]. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 1998, 40 : 25-31.
- [9] Kula E, Hrdlicka P. Monitoring of nutrient and extraneous elements in the foliage of birch-tree growing in an air pollution area[J]. *Lesnictvi Prague*, 1998, 44 (1) : 1-9.
- [10] 刘艳菊,丁辉,王辉. 首钢邻山和植物园植物叶片含硫量的对比[J]. 中国环境科学, 2001, 21 (6) : 498-502.
LIU Yan-ju, DING Hui, WANG Hui. Comparisons of leaf sulfur content from trees near steel factory and Botanical Garden of Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2001, 21 (6) : 498-502.
- [11] 董金一,程晓舫,符泰然,等. 利用吸收光谱确定叶绿素 a 和 b 的颜色[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28 (1) : 141-144.
DONG Jin-yi, CHENG Xiao-fang, FU Tai-ran, et al. Determination of chlorophyll a and b using absorption spectrum[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, 28 (1) : 141-144.
- [12] Curran P J. Remote sensing of foliar chemistry[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 30 : 271-278.
- [13] Fourty Th, Baret F, Jacquemoud S, et al. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition direct and inverse problems[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 56 : 104-117.
- [14] ZHANG Jin-heng, WANG Ke, J.S BAILEY, et al. Predicting Nitrogen Status of Rice Using Multispectral Data at Canopy Scale[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(1):108-117.
- [15] 吴长山,项月琴,郑兰芬,等. 利用高光谱数据对作物群体叶绿素密度估算的研究[J]. 遥感学报, 2000, 4 (3) : 228-232.
WU Chang-shan, XIANG Yue-qin, ZHENG Lan-fen, et al. Estimating chlorophyll density of crop canopies by using hyperspectral data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, 4 (3) : 228-232.
- [16] 孙莉,陈曦,包安明,等. 在水分胁迫下棉花冠层叶片全氮含量的高光谱遥感估算模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20 (3) : 315-320.
SUN Li, CHEN Xi, BAO An-ming, et al. Study on the model development for estimating total N content in cotton leaves and canopies under stress by using hyperspectral remote sensing[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2005, 20 (3) : 315-320.
- [17] Horler D N H, Barber L P, Ferns D C. Approaches to detection of geochemical stress in vegetation[J]. *Advanced Space Research*, 1983 (3) : 175-179.
- [18] 王渊,黄敬峰,王福民,等. 油菜叶片和冠层水平氮素含量的高光

- 谱反射率估算模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28 (2) : 273-277.
WANG Yuan, HUANG Jing-feng, WANG Fu-min, et al. Predicting nitrogen concentrations from hyperspectral reflectance at leaf and canopy for rape[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, 28 (2) : 273-277.
- [19] 张金恒, 王珂, 王人潮, 等. 水稻叶片反射光谱诊断氮素营养敏感波段的研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2004, 30 (3) : 340-346.
ZHANG Jin-heng, WANG Ke, WANG Ren-chao, et al. Sensitive band ranges of leaf spectral reflectance in diagnosis of rice nitrogen nutrition [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2004, 30 (3) : 340-346.
- [20] 唐延林, 黄敬峰, 王人潮. 水稻不同发育时期高光谱与叶绿素和类胡萝卜素的变化规律[J]. 中国水稻科学, 2004, 18 (1) : 59-66.
TANG Yan-lin, HUANG Jing-feng, WANG Ren-chao. Change law of hyperspectral data with chlorophyll and carotenoid for rice at different developmental stages[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2004, 18 (1) : 59-66.
- [21] 谢瑞芝, 周顺利, 王纪华, 等. 玉米叶片高光谱反射率、吸收率与色素含量的关系比较分析[J]. 玉米科学, 2006, 14 (3) : 70-73.
XIE Rui-zhi, ZHOU Shun-li, WANG Ji-hua, et al. Comparison of the leaf hyperspectral reflectance and absorptance in relation to the leaf pigment contents in corn plants[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14 (3) : 70-73.
- [22] 张金恒, 韩超, 刘子恒, 等. 用图像色彩参数诊断 SO_2 熏气对小麦的急性伤害[J]. 农业工程学报, 2008, 24 (增刊 2) : 36-38.
ZHANG Jin-heng, HAN Chao, LIU Zi-heng, et al. Diagnosis of acute injury of wheat caused by SO_2 using color parameters of wheat digital images[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (supp. 2) : 36-38.
- [23] 李曰鹏, 张金恒, 韩超, 等. 水稻田间开顶式 SO_2 熏气装置[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27 (4) : 1649-1652.
LI Yue-peng, ZHANG Jin-heng, HAN Chao, et al. Open-top SO_2 fumigation device designed for rice field experimentation [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27 (4) : 1649-1652.
- [24] 张金恒, 李曰鹏, 韩超. SO_2 对水稻生理指标和光谱特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (1) : 26-29.
ZHANG Jin-heng, LI Yue-peng, HAN Chao. Impact of sulfur dioxide upon physiological indices and spectrum characteristics of rice [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (1) : 26-29.
- [25] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 科学技术出版社, 2006 : 74-75.
GAO Jun-feng. Experimental guide for plant physiology [M]. Beijing : Science and Technology Press, 2006 : 74-75.
- [26] Fiella J Penuelsa. The red edge position and shape as indication of plant chlorophyll content, biomass and hydric tatus[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15 (7) : 1459-1470.

《农业环境科学学报》编辑委员会会议在天津召开

《农业环境科学学报》编辑委员会会议于 2009 年 10 月 24 日在天津召开。20 多位来自全国各地的编委出席了这次会议。会议由编辑部主任李无双主持。首先,唐世荣副主编作了热情洋溢的开幕词,李发生副主编对学报的发展提出了几点建议。接下来编辑部主任李无双介绍了本刊第三届编委会的组建情况,提出了编辑部对各位编委的几点希望。责任编辑叶飞介绍了期刊在编委会领导下于 2008 年入选首批中国精品科技期刊,连续多年被评为天津市一级期刊的情况,并从编辑部为了提升本刊的影响力而采取的措施、目前的发展策略及下一步的发展计划几方面作了详细的介绍。最后,常务副主编潘淑君作了会议总结,感谢各位编委多年来对《农业环境科学学报》的支持与关心,并对如何办好下一届编委会会议提出了设想。

这次会议探讨的主题是“怎样获取优秀稿件及审稿问题”,各位委员根据自己的研究领域及投稿、审稿经历就此提出了很好的意见与建议。

这次编委会的召开,进一步明确了《农业环境科学学报》的办刊宗旨,突出了原创性、创新性的办刊特色,提出了改进编辑工作的新举措,会议达到了预期目的。

《农业环境科学学报》编辑部

2009-11-15