

SO₂ 熏气条件下水稻叶片吸收光谱植被指数与生理生化指标相关性研究

张金恒, 韩 超, 李大鹏, 周贵忠

(青岛科技大学生态环境与农业信息化研究所, 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,通过田间熏气对水稻叶片吸收光谱与部分生理生化指标的相关性进行研究。结果表明,所测的生理生化指标中,只有 POD 酶与差值比值组合吸收光谱植被指数在三个品种水稻之间都呈极显著相关,其中 BEACI、REACI 与 POD 酶显著正相关, YEACI 与 POD 酶极显著负相关。进一步分析可知,过氧化物酶随着 SO₂ 浓度的增加而增加。差值比值组合吸收光谱植被指数 BEACI、REACI 和 YEACI 具有通过预测水稻叶片 POD 酶活性变化而诊断 SO₂ 毒害程度的潜力。

关键词:二氧化硫;水稻;吸收光谱;植被指数;生理生化指标

中图分类号: X503.231 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)增刊-0006-04

Correlation Between Rice Leaf Absorption Spectrum Vegetation Indices and Indices of Physiological and Biochemical Under Sulfur Dioxide Acute Injury

ZHANG Jin-heng, HAN Chao, LI Da-peng, ZHOU Gui-zhong

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

Abstract: In order to find the absorption spectra vegetation indices of rice leaves sensitive to sulfur dioxide toxicity, the rice leaves absorption spectra and some relevant physiological and biochemical indices were studied with field fumigation method. The results showed that only the combination of peroxidase (POD) enzyme and the ratio of the difference absorption spectral vegetation index in the three rice varieties were significant correlation. And POD enzyme was significant positive correlation with BEACI and REACI, significant negative correlation with YEACI. Further analysis showed that the concentration of peroxidase increasing with the SO₂. Ratio of the difference absorption spectral vegetation indices BEACI, REACI and YEACI were potential to diagnose the damage caused by SO₂ by the changes in POD activity.

Keywords: sulfur dioxide; rice; absorption spectra; vegetation index; physiological and biochemical indices

SO₂ 是我国当前最主要的大气污染物。SO₂ 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],随着高光谱技术的应用,能直接对地表作物进行微弱光谱差异的定量分析。由于高光谱能提供更多的精细

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^[14-19]。

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

收稿日期:2009-09-13

基金项目:国家自然科学基金项目(40601062);863 计划课题(2007AA10Z205)

作者简介:张金恒(1973—),博士,副教授,硕士生导师。

E-mail: zhangjinheng@qust.edu.cn

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,水稻叶片吸收光谱植被指数与部分生理生化指标之间的相关性,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:圣稻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 $14\text{ cm} \times 17\text{ cm}$ 。氮肥按 $585\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 尿素(折合纯氮 $273\text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$),以50%基肥、40%分蘖肥、10%穗肥施入。按常规方式进行田间管理。

1.2 熏气方法

在水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期,利用开顶式熏气装置^[20]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 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 分别为 C0, C1, C2, C3, C4),熏气时间为 $1\text{ h}^{[21-23]}$ 。

1.3 叶片光谱测定

选用荷兰 Aventes 公司生产的 AvaSpec - 2048FT - SPU 光谱仪,波段范围 $350 \sim 1\,100\text{ nm}$,光谱分辨率 2.4 nm 。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,每次测定所选部位应尽量保持一致。

1.4 生理生化指标的测定

采用烘干差减法称重测定叶片含水率。用水洗净叶片并擦干后,以口径为 0.5 cm 打孔器钻取30个圆片,放入 50 mL 烧杯中,加去离子水 20 mL 搅拌, 25°C 恒温 2.5 h ,用 pH 计测定叶液 pH 值^[24]。超氧化物歧化酶(SOD)活性参照 Giannoplitis 及王爱国的方法^[25],过氧化物酶(POD)活性的测定采用比色法^[26]。

2 结果与分析

特征波段的选择和差值比值组合吸收光谱植被指数的建立参考“ SO_2 毒害水稻叶片吸收光谱植被指

数研究”^[27]。只有阳光200品种 $\text{YEACI}_{570.17}$ 与叶液 pH 值呈显著负相关,临稻11品种 BEACI 与 pH 值极显著相关,其他植被指数与 pH 值的相关性不显著。圣稻13品种 RETCI 和 YETCI 均与 SOD 酶显著相关,阳光200只有 $\text{YEACI}_{570.17}$ 与 SOD 酶显著相关,临稻11的所有植被指数与 SOD 酶相关性均不显著;与含水率的相关性圣稻13的所有植被指数均不显著,阳光200品种 BEACI 、 $\text{YEACI}_{630.04}$ 、 $\text{YEACI}_{645.51}$ 及临稻11品种 $\text{YEACI}_{630.04}$ 、 $\text{YEACI}_{645.51}$ 显著相关,其他差值比值组合吸收光谱植被指数与含水率的相关性不显著(见表1)。

研究所测的生理生化指标中,只有 POD 酶与差值比值组合吸收光谱植被指数在3个水稻品种之间都呈极显著相关,其中 BEACI 、 REACI 与 POD 酶显著正相关, YEACI 与 POD 酶极显著负相关。过氧化物酶 POD 是氧化还原酶的一种,是由微生物或植物所产生的一类氧化还原酶,它们能催化很多反应,是以过氧化氢为电子受体催化底物氧化的酶,主要存在于细胞的过氧化物酶体中,以铁卟啉为辅基,可催化过氧化氢氧化酚类和胺类化合物,具有消除过氧化氢和酚类、胺类毒性的双重作用。过氧化氢(H_2O_2)是氧化酶催化的氧化还原反应中产生的细胞毒性物质,氧化酶和过氧化氢酶都存在于过氧化物酶体中,对细胞起保护作用。植物体中含有大量过氧化物酶,这是活性较高的一种酶,它与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等都有关系。在植物生长发育过程中它的活性不断发生变化,一般在老化组织中活性较高,幼嫩组织中活性较弱。这是因为过氧化物酶能使组织中所含的某些碳水化合物转化成木质素,增加木质化程度,过氧化物酶可作为组织老化的一种生理指标。水稻在受到 SO_2 毒害作用后,叶片组织受损老化,因此过氧化物酶随着 SO_2 浓度的增加而增加(见图1、图2)。

3 结论

POD 酶活性与差值比值组合吸收光谱植被指数之间均存在极显著相关关系,在3个水稻品种之间, BEACI 、 REACI 与 POD 酶活性, YEACI 与 POD 酶活性均极显著负相关。因此, SO_2 毒害下水稻叶片 POD 酶活性变化差值比值组合吸收光谱植被指数响应在品种之间具有普适性,差值比值组合吸收光谱植被指数 BEACI 、 REACI 和 YEACI 具有通过预测水稻叶片 POD 酶活性变化而诊断 SO_2 毒害程度的潜力。

表 1 差值比值组合吸收光谱植被指数与生理生化指标的相关系数 (n = 80)

Table 1 The correlations between indices of physiological and biochemical and VIs (n = 80)

水稻品种		含水率	SOD	pH	POD
圣稻 13	BEACI	0.074	-0.161	0.033	0.649(**)
	REACI	-0.061	-0.269(*)	-0.171	0.487(**)
	YEACI _{570.17}	-0.009	0.384(**)	0.078	-0.427(**)
	YEACI _{600.15}	-0.032	0.295(**)	0.089	-0.523(**)
	YEACI _{613.39}	-0.011	0.301(**)	0.086	-0.517(**)
	YEACI _{630.04}	-0.019	0.298(**)	0.019	-0.570(**)
	YEACI _{645.51}	-0.098	0.295(**)	-0.025	-0.559(**)
	YEACI _{663.24}	0.044	0.256(*)	0.072	-0.306(*)
阳光 200	BEACI	0.225(*)	0.001	-0.125	0.558(**)
	REACI	0.132	-0.085	0.157	0.345(**)
	YEACI _{570.17}	-0.175	0.239(*)	-0.317(*)	-0.260(*)
	YEACI _{600.15}	-0.196	0.101	-0.196	-0.374(**)
	YEACI _{613.39}	-0.183	0.101	-0.155	-0.400(**)
	YEACI _{630.04}	-0.220(*)	0.079	-0.13	-0.482(**)
	YEACI _{645.51}	-0.263(*)	0.107	-0.171	-0.458(**)
	YEACI _{663.24}	-0.064	0.121	0.039	-0.358(**)
临稻 11	BEACI	0.134	0.102	0.334(**)	0.549(**)
	REACI	0.161	0.003	0.117	0.525(**)
	YEACI _{570.17}	-0.236(*)	0.229	-0.166	-0.456(**)
	YEACI _{600.15}	-0.254(*)	0.059	-0.153	-0.560(**)
	YEACI _{613.39}	-0.204	0.082	-0.188	-0.558(**)
	YEACI _{630.04}	-0.239(*)	0.042	-0.250	-0.584(**)
	YEACI _{645.51}	-0.317(**)	0.038	-0.217	-0.602(**)
	YEACI _{663.24}	-0.113	0.071	-0.096	-0.449(**)

注: * 和 ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平。

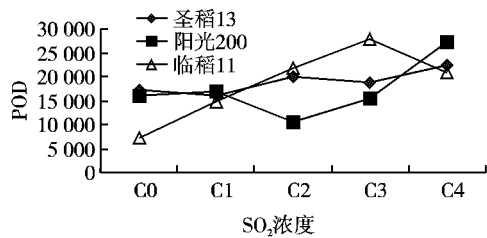


图 1 POD 酶活性随 SO₂ 熏气浓度的变化趋势

Figure 1 The variation trend of POD enzyme activity with SO₂ concentrations



图 2 SO₂ 熏气后水稻叶色变化

Figure 2 The change of rice leaf color after SO₂ injury

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 SO_2 to wheat and corn[J]. *The Journal of Northwest Agricultural University*, 1997, 25(4): 45-50.
- [4] 张金恒, 李曰鹏, 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: 680-684.
- [7] 吴世军. 大气 SO_2 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 SO_2 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, Jacquemound 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] Vane G. Terrestrial imaging spectrometry: Current status, future trends[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 44(1): 109-127.
- [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] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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(suppl. 2): 36-38.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Fiella J, Penulsa. The red edge position and shape as indication of plant chlorophyll content, biomass and hydric status[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(7): 1459-1470.
- [24] 周文彬, 邱保胜. 植物细胞内 pH 值的测定[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(6): 724-728.
- ZHOU Wen-bin, QIU Bao-sheng. Measurement of intracellular pH in plants[J]. *Plant Physiology Communications*, 2004, 40(6): 724-728.
- [25] 王爱国, 罗广华. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物生理学报, 1983, 9(1): 77-84.
- WANG Ai-guo, LUO Guang-hua. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds[J]. *Acta Bot Sin*, 1983, 9(1): 77-84.
- [26] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- LI He-sheng. Plant physiological and biochemical experimental principles and techniques[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [27] 韩超, 张金恒. SO_2 毒害水稻叶片吸收光谱植被指数研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2224-2231.
- HAN Chao, ZHANG Jin-heng. Leaf absorptance spectrum sensitive vegetation indices under sulfur dioxide acute injury[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(11): 2224-2231.