

SO₂对农作物影响及敏感生理生化监测指标筛选

席君兰

(中国石化中原油田分公司环保监测总站)

摘 要 利用田间开顶式熏气装置对油菜、水稻、红薯 3 种农作物进行 SO₂ 急性伤害实验,研究不同浓度 SO₂ 对受试农作物生理生化指标的影响。结果表明:熏气可造成农作物的急性伤害,导致农作物生理生化指标发生大幅度变化。在熏气处理后,3 种农作物的叶片含硫量、细胞膜透性均明显增加,与处理浓度存在显著线性正相关;可溶性蛋白含量明显降低,与处理浓度存在显著线性负相关;过氧化氢酶及超氧化物歧化酶活性与处理浓度没有显著相关性;可选择叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白作为监测 SO₂ 对农作物急性伤害程度的敏感指标。

关键词 SO₂; 农作物; 监测; 叶片含硫量; 细胞膜透性; 可溶性蛋白

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.06.014

文章编号:1005-3158(2019)06-0057-04

0 引 言

二氧化硫(SO₂)是最常见的大气污染物之一,能严重影响农作物正常生长发育,造成大面积大幅度减产,对农作物带来的危害是极其严重的^[1]。因此,监测 SO₂ 对农作物的伤害在农业生产上具有重要意义,是评价大气污染物对农业的影响和估价经济损失费用的基础,同时为保证 SO₂ 污染区粮食生产安全提供依据。高含硫气田开发、净化厂生产过程中排放的 SO₂ 是气田环保工作的一项主要内容,环保部门要求开展井场及周边植被和农作物的 SO₂ 污染监测。

70 年代末,国外普遍采用了田间开顶式熏气罩,使大气污染对农作物的影响在研究方法上有了重大突破。中国从 80 年代后期陆续开始采用开顶式熏气装置研究植物对大气污染物的生理生化反应,研究低浓度 SO₂ 长期暴露对农作物的影响及高浓度 SO₂ 对农作物的急性伤害特点。国内外大量研究表明,植物的叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)等生理生化指标变化均与大气 SO₂ 浓度有密切关系^[2]。本文利用模拟自然生长环境的开顶式熏气装置,研究高含硫气田周边主要农作物油菜、水稻和红薯在不同浓度 SO₂ 胁迫下叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量、CAT 和 SOD 5 项生理生化指标的变化。

1 实 验

1.1 SO₂ 浓度监测

某气田试气期间 SO₂ 落地浓度监测结果见表 1。

表 1 某气田试气期间 SO₂ 落地浓度监测结果 mg/m³

井号	SO ₂ 浓度值	井号	SO ₂ 浓度值	井号	SO ₂ 浓度值
1	0.82	9	0.42	17	20.70
2	0.32	10	0.22	18	0.71
3	0.08	11	0.34	19	0.92
4	0.74	12	0.85	20	0.07
5	1.22	13	0.86	21	4.72
6	1.45	14	2.14	22	9.48
7	1.04	15	13.74	23	0.61
8	3.90	16	10.37	24	2.68

1.2 实验材料及方法

选择四川省宣汉县某气田周边胡家镇农民大田种植长势一致的幼苗期油菜(川油 16)、水稻(川江优 527)、红薯(当地农民自留种子)作为受试植物。用自制的开顶式熏气罩罩住油菜、水稻、红薯,每个罩中 3~5 株,3 种农作物共 3 个熏气系列。每个系列均由进气系统提供 SO₂ 气体,利用 PGM-5020 复合气体检测仪检测熏气室 SO₂ 瞬时浓度。依据气田试气期间 SO₂ 落地浓度监测结果设置熏气室 SO₂ 浓度分别为 2.86, 6.44, 8.58, 11.4, 14.3, 20.0 mg/m³,熏气时间为 3 h。以相同条件下不熏气的气室中的植株为对照。

1.3 生理生化指标测定

熏气停止 24 h 后采集叶片,测定含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量、CAT 和 SOD 5 项生理生化指

标,重复测定 3 次,以平均值作为测定结果。

叶片含硫量测定采用 HCl+HNO₃+HClO₄ 消解,BaCl₂ 比浊法测定^[3];细胞膜透性测定采用王宇超等的方法^[4];可溶性蛋白质含量测定参考李合生的方法^[5];CAT、SOD 活性测定参考邹琦的方法^[6]。

2 结果与讨论

2.1 SO₂对农作物生理生化指标的影响

2.1.1 SO₂对叶片含硫量的影响

用浓度分别为 2.86,6.44,8.58,11.4,14.3,20.0 mg/m³的 SO₂对油菜、水稻和红薯熏气后,叶片含硫量随熏气浓度增加均呈明显增加趋势,结果如图 1 所示。熏气后油菜叶片含硫量与对照的比值分别为 1.31,1.46,1.63,1.72,1.88,2.41,水稻叶片含硫量与对照的比值分别为 1.31,1.49,1.66,1.76,1.93,2.13,红薯叶片含硫量与对照的比值分别为 1.07,1.14,1.18,1.31,1.41,1.38。3 种作物的叶片含硫量增加幅度不同,由大到小依次为油菜、水稻和红薯。这是由于不同作物对 SO₂的敏感度存在差异。植物叶片含硫量增加是由于 SO₂进入叶片内部后,发生如下化学反应:SO₂+H₂O→H₂SO₃,H₂SO₃→HSO₃⁻+H⁺,HSO₃⁻→SO₃²⁻+H⁺,形成亚硫酸盐,导致叶片含硫量的增加。当大气中的 SO₂超过一定限值时,植物叶片会受到伤害。植物叶片中硫的含量可反映大气中 SO₂污染的长期累积效应,是对 SO₂浓度监测的必要补充。因此,通过测定叶片含硫量,可以反映区域内 SO₂的污染状况。

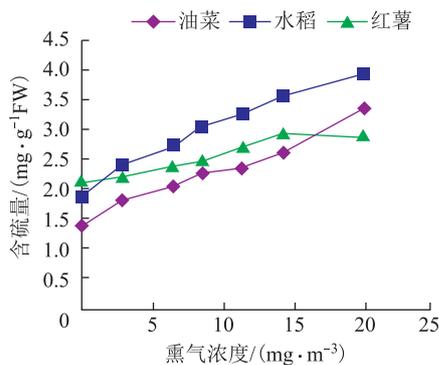


图 1 SO₂对农作物叶片含硫量的影响

2.1.2 SO₂对叶片细胞膜透性的影响

SO₂对农作物叶片细胞膜透性的影响如图 2 所示。随着 SO₂熏气浓度的增加,叶片细胞相对电导率升高,表明细胞膜受损程度加大。当熏气浓度为 2.86 mg/m³时,油菜、水稻、红薯的相对电导率与对照的比值分别为 1.20,2.33,1.16;当熏气浓度增加

到 20.0 mg/m³时,油菜、水稻、红薯的相对电导率与对照的比值分别为 6.60,5.57,2.20,细胞膜受损程度进一步增大。随着熏气浓度增加,油菜和水稻叶片细胞膜透性增加较明显,红薯叶片增加幅度较小。细胞膜透性升高是由于 SO₂引起植物细胞膜结构蛋白改变,导致细胞膜渗透性改变,引起电解质外渗,细胞膜透性变大,这会破坏酶及代谢作用原有的区域性,从而影响细胞的各种生理代谢,是植物受损的原因之一。细胞膜透性大小能够反映出细胞膜受损的程度。

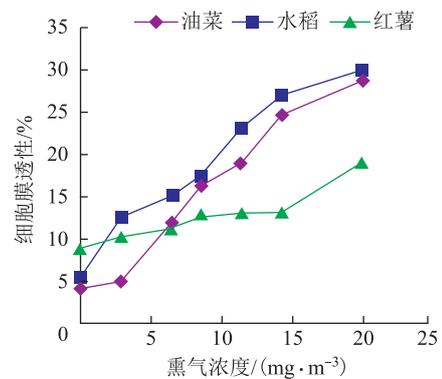


图 2 SO₂对农作物叶片细胞膜透性的影响

2.1.3 SO₂对叶片可溶性蛋白含量的影响

SO₂对农作物叶片可溶性蛋白质含量的影响如图 3 所示。随着 SO₂熏气浓度的增加,叶片可溶性蛋白质含量逐渐降低,当熏气浓度为 20.0 mg/m³时,水稻、油菜、红薯叶片可溶性蛋白质含量与对照的比值分别为 0.59,0.51,0.29。出现可溶性蛋白含量降低的原因可能是因为受胁迫后,吸附的 SO₂进入叶片形成 SO₃²⁻,干扰蛋白质合成系统的 Mg²⁺和 K⁺,干扰基因表达,从而影响蛋白质合成。

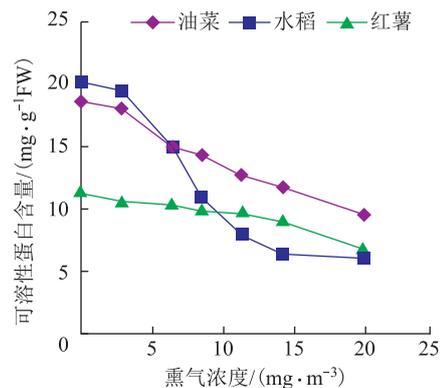


图 3 SO₂对农作物叶片可溶性蛋白含量的影响

2.1.4 SO₂对叶片 CAT 活性的影响

SO₂对农作物叶片 CAT 活性的影响如图 4 所

示。经 SO₂ 处理后,油菜和红薯 CAT 活性与对照之间差异显著,当熏气浓度为 20.0 mg/m³ 时,比值分别为 0.17,0.52,表明 SO₂ 处理对 CAT 活性有较强的抑制作用。水稻 CAT 活性随 SO₂ 浓度变化的幅度较小,当 SO₂ 浓度为 20.0 mg/m³ 时,与对照的比值为 0.83,熏气前后变化不大。经 SO₂ 处理后,不同植物 CAT 活性变化幅度存在差异,说明相同浓度的 SO₂ 对不同植物 CAT 活性影响不同,3 种受试植物 CAT 活性对 SO₂ 的敏感程度为油菜>红薯>水稻。

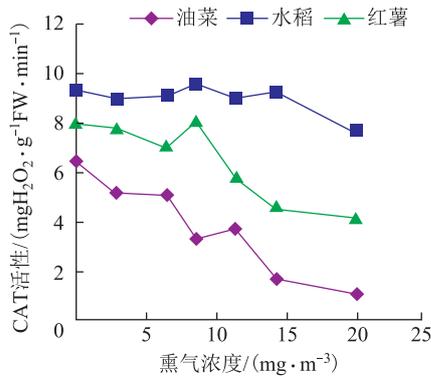


图 4 SO₂对农作物叶片 CAT 活性的影响

2.1.5 SO₂对叶片 SOD 活性的影响

SO₂对农作物叶片 SOD 活性的影响如图 5 所示。水稻和红薯 SOD 活性呈现相同的变化趋势,在 2.86 mg/m³ 低浓度处理下均呈现升高的趋势,与对照的比值分别为 1.24,1.26;处理浓度增加到 8.56 mg/m³ 时,SOD 活性开始下降,与对照的比值分别为 0.95,0.89;处理浓度为 20.0 mg/m³ 时,与对照的比值分别为 0.91,0.84。其原因为植物自身在受到 SO₂ 胁迫后,叶片产生的 SOD 含量增强,以此提高 O₂ 的转化量以抵挡外界的胁迫。而当 SO₂ 胁迫强度加重时,过量的 SOD 歧化产生过量的 H₂O₂,H₂O₂ 的过量累积又抑制了 SOD 的合成,所以 SOD 含量随着浓度的增

加呈下降趋势。油菜 SOD 活性随熏气浓度的增大变化幅度较小,在 3 种浓度处理下和对照的比值分别为 0.99,0.99,0.98,与对照相比没有明显差异。表明油菜 SOD 活性对 SO₂ 反应不敏感。

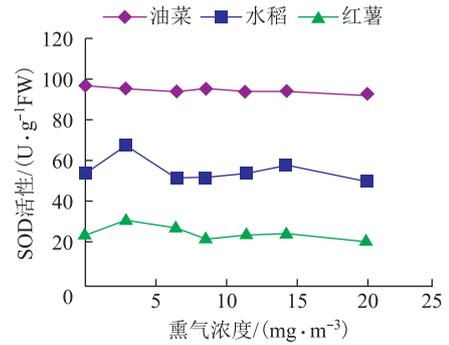


图 5 SO₂对农作物叶片 SOD 活性的影响

2.2 对 SO₂ 敏感监测指标筛选

对 3 种受试植物的 5 个监测指标与 SO₂ 熏气浓度之间进行一元相关性分析,相关系数见表 2。SO₂ 熏气浓度为 0~8.58 mg/m³ 时,与油菜、水稻、红薯叶片含硫量、细胞膜透性在 0.05 的水平下存在显著的正相关关系,与可溶性蛋白含量之间存在显著的负相关关系。这说明随着 SO₂ 熏气浓度的增加,3 种受试植物叶片含硫量、细胞膜透性呈线性增加,可溶性蛋白含量呈线性减少。SO₂ 熏气浓度为 8.58~20.0 mg/m³ 时,油菜叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量与熏气浓度在 0.05 的水平下仍存在显著相关关系,随着熏气浓度增加,水稻、红薯叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量与熏气浓度之间的相关性有所降低。不同受试植物的抗氧化酶 CAT、SOD 活性的变化与 SO₂ 熏气浓度存在一定的关系,但不存在显著线性相关关系。因此,筛选叶片含硫量、细胞膜透性和可溶性蛋白含量作为反映植物受 SO₂ 污染状况的监测指标。

表 2 SO₂熏气浓度和生理生化指标相关性

相关系数	浓度范围/(mg·m ⁻³)	受试植物	含硫量	细胞膜透性	可溶性蛋白含量	CAT 活性	SOD 活性
r ₁	0~8.58	油菜	0.981 6*	0.962 0*	0.986 5*	0.917 4	0.645 9
		水稻	0.984 9*	0.960 9*	0.962 6*	0.347 2	0.434 7
		红薯	0.996 8**	0.979 1*	0.952 2*	0.150 3	0.364 6
r ₂	8.59~20.00	油菜	0.992 5**	0.978 2*	0.996 7**	0.870 6	0.435 4
		水稻	0.992 0**	0.952 7*	0.889 7	0.933 4	0.150 3
		红薯	0.778 5	0.900 9	0.972 2*	0.886 5	0.886 5

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平下显著相关。

3 结 论

植物接触致害剂量的 SO₂可引起叶片胁迫症状和一系列细胞生理生化指标的变化,使生理机能减弱,生产力降低。植物最先受到影响的部分是细胞膜,SO₂可引起膜脂过氧化反应,生成 TBA-RS,细胞膜透性的破坏引起电解质外渗,植株表现出现胁迫伤害症状;SO₂同时影响植物体内的代谢过程,光合作用、蒸腾作用降低,呼吸速率增加,引起酶活性的改变。本实验中,采用田间开顶式熏气装置对油菜、水稻和红薯 3 种农作物进行 SO₂急性伤害处理,考察 SO₂熏气对受试植物生理生化指标的影响。结果发现 3 种农作物的叶片含硫量、细胞膜透性、可溶性蛋白含量有相同的变化趋势,其中叶片含硫量、细胞膜透性随熏气浓度增加呈升高趋势,可溶性蛋白含量随熏气浓度增加呈降低趋势,上述结果与近年来其他研究结果类似^[7]。3 种作物的抗氧化酶 CAT、SOD 活性随 SO₂熏气处理也有较大的变化幅度,但不同作物的变化趋势不同。抗氧化酶活性的变化与植物的种类、抗性、熏气浓度设置都有关系,处理条件不同可呈现不同变化趋势。SO₂对酶和其他具有生理生化作用的蛋白质分子的一个重要影响是切割二硫键,蛋白质分子中二硫键的破坏改变蛋白质分子结构的空间构型,使酶失去活性和催化作用。本实验将 5 项生理生化指标测定结果与 0~8.58, 8.59~20.0 mg/m³ SO₂熏气浓度进行线性回归分析,并对相关系数进行显著性检验。结果表明:农作物叶片含硫量、可溶性

蛋白、细胞膜透性 3 项指标与 SO₂在 0~8.58 mg/m³浓度范围在 0.05 的水平上存在显著相关,其中叶片含硫量、细胞膜透性与 SO₂浓度呈正相关,可溶性蛋白则呈现负相关。这 3 个指标对 SO₂较敏感,是监测 SO₂伤害农作物的有效指标。因此,可通过测定叶片含硫量、可溶性蛋白、细胞膜透性反映油菜、水稻、红薯受 SO₂伤害的程度。

参 考 文 献

[1] 张伟,张金恒,夏云春,等. SO₂熏气对小麦生理生化指标的影响[J]. 沈阳化工学院学报, 2009, 23(2): 121-123.

[2] 王际振,刘亚琼,杨兵,等. 紫薇对 SO₂胁迫的生理反应[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(6): 615-619.

[3] 张金恒,李日鹏,韩超. 利用部分生理生化指标监测 SO₂对农作物急性伤害的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 212-215.

[4] 王宇超,王得祥,彭少兵,等. 盐胁迫对木本滨藜植物细胞膜透性及生理特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 225-229.

[5] 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: 1-8, 130-134, 164-165, 182-185.

[6] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 5-6, 37-38.

[7] 胡丁猛. 11 个园林绿化树种对 SO₂反应特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005: 1-95.

(收稿日期 2019-03-21)

(编辑 郎延红)

(上接第 56 页)

[5] 何育东. 火电机组烟气脱硫装置运行优化[J]. 热力发电, 2010, 39(4): 4-6.

[6] BAO JINGJING, SUN LICHENG, MO ZHENYU, et al. Investigation on formation characteristics of aerosol particles during wet ammonia desulfurization process [J]. Energy & fuels, 2017, 31(8): 8374-8382.

[7] 周飞梅,曹志勇,汤治,等. 采用离子色谱法检测电除尘飞灰中的氨含量[J]. 浙江电力, 2014(6): 43-47.

[8] 阎杰,翟畅,解鹏,等. 工业脱硝现场氨逃逸监测系统[J]. 中国仪器仪表, 2014(6): 47-50.

[9] 宋桂东,万浩,邵申,等. 氨法烟气脱硫中的氨逃逸[J]. 上海大学学报, 2013, 19(6): 615-618.

[10] 丁红蕾,苏秋凤,张涌新,等. 湿式氨法烟气脱硫工艺影响因素的试验研究[J]. 热力发电, 2014, 43(1): 96-98.

[11] YANG JITAO, GAO HANYANG, HU GUOXIN, et al. Novel process of removal of sulfur dioxide by aqueous ammonia-fulvic acid solution with ammonia escape inhibition[J]. Energy & fuels, 2016, 30(4): 3205-3218.

[12] 栾辉,唐智和,翟小娟,等. 氨法脱硫工艺存在的问题及应对措施[J]. 油气田环境保护, 2016, 26(6): 29-31.

[13] 车建炜. 中石油氨法脱硫系统优化设计及烟气湿排问题研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2006: 1-62.

[14] 王志雅. 氨法脱硫中的氨逃逸和硫酸铵气溶胶现象[J]. 化工设计通讯, 2014, 40(5): 35-38.

(收稿日期 2019-01-31)

(编辑 郎延红)