

水稻田间开顶式 SO₂ 熏气装置

李曰鹏^{1,2}, 张金恒², 韩超², 刘树堂¹

(1.青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109; 2.青岛科技大学环境与安全工程学院, 生态环境与农业信息化研究所, 山东 青岛 266000)

摘要:根据水稻田间熏气试验中需要考虑和控制的熏气条件,设计并制作开顶式熏气装置。利用复合式气体检测仪检测熏气箱内不同监测点的 SO₂ 浓度,分析监测数据之间的关系,检验熏气箱内浓度的差异性。结果表明,设计的开顶式熏气装置进行熏气实验时,在 120 cm 以下每一个高度范围内 SO₂ 浓度检测点的标准差小于 1,变异系数小于 10%,均为弱度变异。以此熏气装置来研究人工控制条件下大气污染物 SO₂ 对水稻的影响是可行的。

关键词:开顶式熏气装置;SO₂ 浓度;标准差;变异系数

中图分类号:X511 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1649-04

Open-top SO₂ Fumigation Device Designed for Rice Field Experimentation

LI Yue-peng^{1,2}, ZHANG Jin-heng², HAN Chao², LIU Shu-tang¹

(1. College of Resources and Environment, Qingdao University of Agriculture, Qingdao 266109, China; 2. College of Environment and Safety Engineering, Institute of Envir. Ecology & Agriculture Information, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract: Most experimental work on the effects of air pollutants on plants has been carried out in laboratory or greenhouse growth chamber. In such facilities, the microclimate strongly differs from the field. As there was a strong interaction between climatic factors and the uptake and effects of air pollutants, it was hard to extrapolate observed effects in these facilities to field situations. Field studies of the effects of pollutants on crop were carried out in an open-top chamber to overcome such problems. The construction and operation of the open-top fumigation system for exposing rice to control concentrations of sulphur dioxide was devised according to the fumigation conditions which should be controlled in the field of manual fumigation experiment. SO₂ concentration and the spatial variability in exposure concentrations at different points inside the fumigation device were detected by QRAE-PLUS Multi-gas monitor. And standard deviation and variation coefficient of SO₂ concentrations were used to test spatial variability in exposure concentrations inside the fumigation chamber. Results showed that standard deviation and variation coefficient of SO₂ concentrations was less than 1 and 10% respectively when the point was 120 cm from ground in the fumigation experiments with the open-top fumigation device. Therefore, there was a reasonably uniform distribution of SO₂ concentration, and the device was feasible to be used to study the impact of SO₂ pollution on rice in field.

Keywords: open-top fumigation device; SO₂ concentration; standard deviation; variation coefficient

研究大气污染物对植物伤害机理时,人工模拟试验是十分重要的研究方法。静态熏气是一个简单的密闭玻璃箱罩住供试植物,通入或反应产生一定量的污染气体,箱内空气不更换,气体浓度随着反应时间减小,不能控制稳定的气体浓度,容器内的环境条件与

外界自然情况相差极大。动态熏气装置,即使装置内保持与外界相通的空气流,能够控制恒定的气体浓度,但是装置内的环境条件仍然与外界自然情况不同,不适宜进行低浓度污染气体的长期慢性影响试验^[1-7]。比较接近植物自然生长状况,能保证相对稳定浓度,又能进行长期低浓度慢性伤害研究的开顶式熏气装置在不同的研究目的中其构造和气体产生方法也不尽相同。但是总体的思路是顶部敞开,气流从下部通入装置,接触试验植物,然后通过敞开的顶部直接扩散到大气中。设计熏气室框架时要充分考虑熏气

收稿日期:2007-08-01

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:李曰鹏(1983—),男,在读硕士生,研究方向为农业资源可持续利用。E-mail:colby521@126.com

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

试验的目的,前人有关开顶式熏气室多是圆柱形,供试验的样本多是盆栽植物样本或某种单株木本植物,很难适应规则的田间小区试验。本研究针对田间规则形状的小区试验内进行的微区熏气试验熏气室形状进行尝试性研究,并针对该形状的熏气装置内气体的浓度的均匀程度进行检验分析。

1 熏气装置构造

该熏气装置构造主要包括送风系统、气体产生系统、熏气室壁和混气装置组成(图 1)。送风系统主要是由送风机和管道组成,作用是不断地将空气以稳定的风速送入熏气室。根据熏气室的体积,采用功率为 200 W 的离心式鼓风机,实际进风量为 $26 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 鼓风机,使熏气室内每分钟交换空气 5.1 次。该风机全压范围为 51~34 mm 水柱,风量为 $2\,010 \sim 3\,710 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($33.5 \sim 61.8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)。SO₂ 气体产生系统主要由内装液态 SO₂ 的瓶钢、减压阀、减压表和进气管道组成,将流经减压装置的 SO₂ 气体由导管导入进气管道,进气管道一头连接送风机出风口,另一头连接熏气室(图 1)。该装置能够持续地供 SO₂ 气体,较易控制 SO₂ 气体的流量。针对田间规则形状的田间微区试验的熏气室形状进行尝试性研究,熏气室壁框架为组合式角钢条焊接而成,角钢条的规格为 4 cm×4 cm,便于拆卸和组装,整个框架组成后为长方体,顶部呈收口装敞开,熏气箱体长、宽、高可根据具体田间试验要求规

格设计。熏气室长 3.1 m,宽 1.8 m,高 1.5 m,壁框架表面由透明性好,无毒耐用的聚氯乙烯塑料薄膜围成。混气装置是由聚氯乙烯塑料管组成,一端连接进气管道(直径 10 cm),另一端出口封闭,将管道在离熏气室底部 15 cm 高度处环绕熏气室壁一周,管壁均匀钻直径 0.8 cm 的小洞,作为 SO₂ 和空气混合气体进入熏气室的入口(图 1)。

2 熏气室内 SO₂ 气体浓度差异性分析

本研究设计的长方体形状熏气装置能否用于田间水稻熏气试验的关键问题是熏气室内气体的浓度是否分布均匀。为此,本文进行 4 次熏气浓度检测分析试验。为了验证设计的开顶式熏气箱内能否达到 SO₂ 浓度基本均匀一致的目的,根据供试植物水稻各生育期株高特点,分别在距离熏气箱底面 0~20 cm、20~50 cm、50~80 cm、80~120 cm、120~150 cm 高度范围设置 15 个检测点(图 2),在熏气 20 分钟后利用美国生产的 QRAE Plus 复合式气体检测仪(SO₂ 解析率为 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)快速检测检测点 SO₂ 瞬时浓度。

针对熏气室内每个检测高度范围分布的 15 个检测点测得的 SO₂ 浓度数据,通过平均值、标准差和变异系数的计算,分析它们之间的变异或离散程度。

$$\text{标准差 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

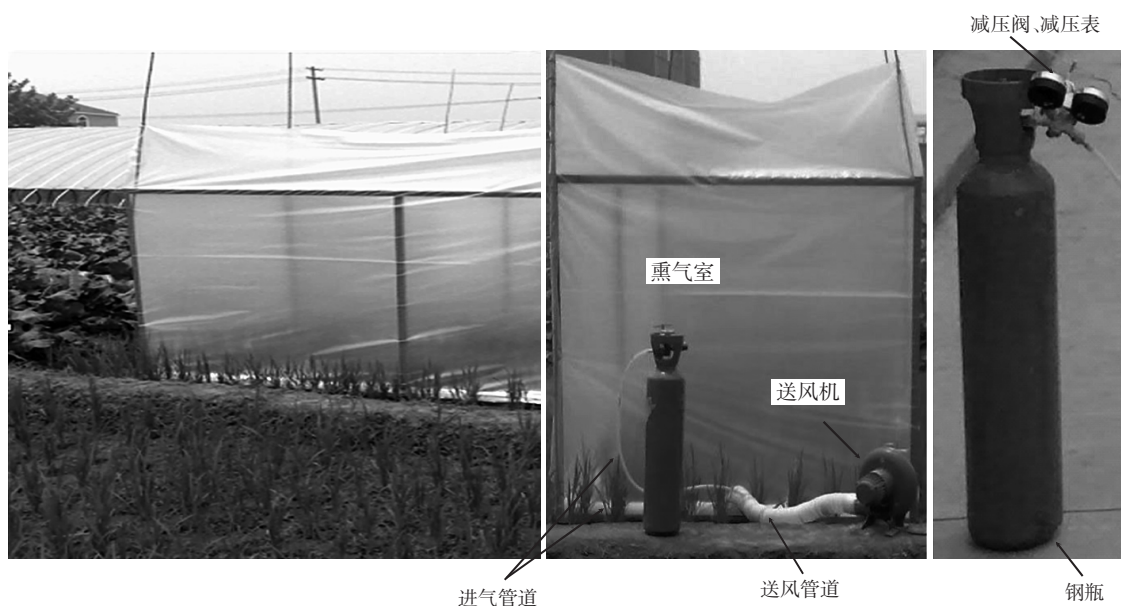


图 1 熏气装置图

Figure 1 Photo of fumigation device

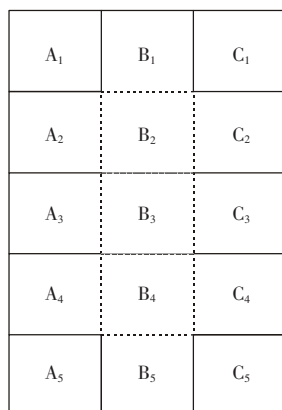


图 2 熏气箱内检测点布置

(A₁–A₅, B₁–B₅, C₁–C₅ 分别表示同一高度检测面不同检测点)

Figure 2 Distribution of detection points in the fumigation chamber (A₁–A₅, B₁–B₅, and C₁–C₅ indicate different detection points at the same level of height respectively.)

$$\text{变异系数 } C_v = \frac{s}{x} \times 100 \quad (2)$$

4 次试验分析结果表明,第 4 次试验在离熏气室底部 120~150 cm 范围内,标准差达到 1.08 之外,其余所有试验标准差均在 0.09~0.82 之间(见表 1)。随着

高度的增加,变异系数有增加的趋势,在 120~150 cm 高度范围试验 2 和试验 3 测得的各检测点 SO₂ 浓度之间变异系数超过了 10%,其余所有的试验测得的各检测点 SO₂ 浓度之间变异系数均小于 10%(见表 1)。

3 结论

本研究设置的熏气装置包括送风系统、气体产生系统、熏气室壁和混气装置组成,设计 4 个 SO₂ 气体浓度段检验不同浓度水平下熏气装置内的气体浓度变异程度。为了模拟接近自然生长条件下的 SO₂ 胁迫环境,保证熏气过程中水稻生长所需的外界条件基本不变,熏气箱顶部处于开口状态,越接近顶部受外界风速变化的影响越大,因此,变异系数随着高度的增加有增加的趋势。第 4 次试验在 120~150 cm 高度范围分布的 SO₂ 浓度检测点标准差为 1.08,试验 2 和试验 3 在 120~150 cm 高度范围分布的 SO₂ 浓度检测点变异系数 11.3%和 10.41%。除此之外,其余所有试验每一个高度范围内 SO₂ 浓度检测点的标准差小于 1,最小为 0.09,变异系数标准差均小于 1,变异系数小于 10%,最小 2.27%,均为弱度变异。因此,在熏气室内 120 cm 以下所包括的体积内,SO₂ 浓度分布变异较

表 1 熏气室内各检测点 SO₂ 浓度及其变异(A₁–A₅, B₁–B₅, C₁–C₅ 分别表示同一高度检测面不同检测点)

Table 1 Concentrations of SO₂ and their variation for detection points inside the fumigation chamber (A₁–A₅, B₁–B₅, and C₁–C₅ indicate different detection points at the same level of height respectively.)

各检测点	0~20 cm 试验				20~50 cm 试验				50~80 cm 试验				80~120 cm 试验				120~150 cm 试验			
SO ₂ 浓度	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
A ₁	3.46	6.07	8.06	13.77	3.30	5.92	7.88	13.59	3.14	5.76	7.70	12.77	2.83	5.37	7.62	11.99	2.33	4.58	6.96	10.18
A ₂	3.51	6.13	8.11	14.21	3.32	5.97	7.91	13.64	3.17	5.78	7.83	12.88	2.85	5.34	7.64	12.07	2.38	4.61	6.96	10.76
A ₃	3.48	6.13	8.09	14.42	3.51	5.94	8.09	13.93	3.25	5.73	7.85	13.19	2.88	5.42	7.64	11.83	2.43	4.63	6.99	11.81
A ₄	3.53	6.18	8.14	13.93	3.40	6.05	7.98	14.03	3.27	5.86	7.88	13.22	2.93	5.44	7.72	12.38	2.43	4.61	6.94	11.12
A ₅	3.59	6.15	8.19	14.74	3.43	6.13	8.01	14.29	3.27	5.86	7.91	13.27	2.93	5.50	7.62	11.94	2.67	4.69	7.02	11.15
B ₁	3.38	5.81	8.04	13.61	3.27	5.73	7.85	13.40	3.09	5.52	7.41	11.47	2.80	5.26	7.43	11.75	2.25	4.58	6.62	10.47
B ₂	3.35	5.92	8.01	13.64	3.19	5.78	7.77	13.51	2.75	5.29	7.56	12.33	2.70	4.61	6.41	12.12	1.91	3.80	6.13	10.55
B ₃	3.32	5.89	7.98	13.77	3.17	5.50	7.75	13.90	2.67	5.37	7.75	12.46	2.64	4.63	6.44	12.07	1.94	3.77	6.10	10.58
B ₄	3.53	6.13	8.19	14.06	3.46	5.99	8.04	14.00	2.70	5.34	7.80	12.56	2.64	4.66	6.52	12.04	1.94	3.80	6.18	10.50
B ₅	3.59	6.23	8.25	14.00	3.43	6.10	8.01	14.37	3.32	7.33	7.75	15.10	2.46	5.47	7.30	15.16	2.30	4.71	6.65	12.12
C ₁	3.48	6.13	8.66	13.72	3.30	5.94	6.67	12.75	3.17	5.78	7.80	12.72	2.85	5.37	7.46	11.94	2.25	5.92	6.94	10.63
C ₂	3.51	6.15	8.51	14.08	3.32	5.99	7.75	13.59	3.14	5.84	8.04	11.33	2.80	5.34	7.70	12.04	2.36	4.61	9.11	14.19
C ₃	3.53	6.39	8.19	14.61	3.51	5.92	7.93	13.90	3.35	6.31	5.55	12.90	3.01	5.42	7.77	12.28	2.41	4.58	6.94	12.20
C ₄	3.53	6.20	8.19	14.37	3.38	6.02	7.80	14.00	3.22	5.84	7.85	13.35	2.88	5.44	7.80	12.33	2.38	4.55	6.91	12.64
C ₅	3.61	6.18	8.35	14.95	3.40	6.20	8.11	14.27	3.25	5.92	7.91	13.24	2.96	5.50	7.85	12.70	2.22	4.55	7.62	11.12
平均值	3.49	6.11	8.20	14.13	3.36	5.95	7.84	13.81	3.12	5.84	7.64	12.85	2.81	5.25	7.39	12.31	2.28	4.53	6.94	11.33
中位数	3.51	6.13	8.19	14.06	3.38	5.97	7.91	13.90	3.17	5.78	7.80	12.88	2.85	5.37	7.62	12.07	2.33	4.58	6.94	11.12
标准差	0.09	0.14	0.19	0.42	0.10	0.17	0.34	0.42	0.22	0.49	0.60	0.87	0.15	0.33	0.51	0.82	0.21	0.51	0.72	1.08
变异系数	2.46	2.36	2.27	2.95	3.10	2.90	4.39	3.01	7.19	8.38	7.82	6.78	5.18	6.21	6.85	6.69	9.21	11.30	10.41	9.54

弱。因为水稻全生育期最高株高在 100 cm 附近,因此本文设计的熏气装置能满足田间水稻二氧化硫熏气研究的要求。

参考文献:

- [1] 舒俭民,曹洪法,刘燕云,等.野外开顶式熏气系统[J].中国环境监测,1986,2(2):11-14
SHU Jian-min, CAO Hong-fa, LIU Yan-yun, et al. An open-top fumigation system on field [J]. *Environmental Monitoring in China*, 1986, 2 (2): 11-14.
- [2] 曾广权,夏冰,李玲,等.ML-1 型开顶式熏气室的构造与性能[J].环境科学,1985,6(4):7-10.
ZENG Guang-quan, XIA Bing, LI Ling, et al. The conformation and capability of ML-1 open-top fumigation chamber[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1985, 6(4): 7-10.
- [3] Fowler D, Cape J N, Leith I D. Effects of air filtration at small SO₂ and NO₂ concentrations on the yield of barley[J]. *Environmental Pollution*, 1988, 53: 135-149.
- [4] Kennedy K A, Addison P A, Maynard D G. Effect of elemental SO₂ on the vegetation of a lodgepole pine stand[J]. *Environmental Pollution*, 1988, 51(2): 121-130.
- [5] 黄芳,王建明,徐玉梅. SO₂ 对不同抗性植物几种酶活性的影响[J].山西农业科学,2005,33(3):26-28.
HUANG Fang, WANG Jian-ming, XU Yu-mei. Effects of sulfur dioxide to some enzymes in different resistant plants [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2005, 33(3): 26-28.
- [6] 刘臣辉,刘文龙,陆根法,等.源于大气的氟在水稻不同器官的分布及对糙米含氟量的影响[J].农村生态环境,2005,21(3):47-49.
LIU Chen-hui, LIU Wen-long, LU Gen-fa, et al. Distribution of Air-borne fluoride in organs of rice plant and its effect on fluoride content in brown rice [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2005, 21(3): 47-49.
- [7] 廖飞勇,何平,谢瑛.低浓度熏气对油桐幼苗光系统结构和功能的影响[J].农村生态环境,2004,20(1):60-64.
LIAO Fei-yong, HE Ping, XIE Ying. Effect of fumigation with low concentration SO₂ on structure and function of the photosystem of tungoil-tree (*Vernicia fordii*) saplings [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2004, 20(1):60-64.