

二氧化碳、臭氧、紫外辐射 与农作物生产

王春乙 郭建平 郑有飞 著



气象出版社

二氧化碳、臭氧、紫外辐射 与农作物生产

王春乙 著
郭建平 郑有飞

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了近年来作者所做的关于CO₂、O₃和UV-B辐射对农业生产影响的一些初步研究成果。全书共分三编,第一编介绍了CO₂浓度增加对农作物影响的试验装置以及CO₂浓度增加对我国主要农作物的影响;第二编介绍了O₃对农作物影响的研究方法以及大气O₃浓度变化对我国农业生产的可能影响和防护对策;第三编介绍了UV-B辐射增强对农作物影响的研究方法以及UV-B辐射增强对我国主要农作物的影响与评估。

本书可供从事农学、环境、农业气象、大气化学等学科的科技工作者和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

二氧化碳、臭氧、紫外辐射与农作物生产/王春乙等著.
北京:气象出版社,1997.6

ISBN 7-5029-2314-4

I.二… I.王… III.①二氧化碳-影响-作物-研究②
臭氧-影响-作物-研究③紫外辐射-影响-作物-研究 IV.S
162.5

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第09466号

二氧化碳、臭氧、紫外辐射与农作物生产

王春乙、郭建平、郑有飞 著

责任编辑:苏振生 终审:周诗健 责任校对:潘亚茹

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号 邮编100081)

北京市兴顺印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本:787×1092 1/16 字数:315千字 印张:12.5

1997年6月第一版 1997年6月第一次印刷

印数 1—900

ISBN 7-5029-2314-4/P·0851

定价:19.50 元

前 言

农业生产对 CO_2 、 O_3 浓度增加和UV-B辐射增强的反应十分敏感,特别是粮食生产问题尤为突出。我国是一个仅用占世界7%的耕地养活占世界22%人口的农业大国,粮食生产在国民经济发展中占有举足轻重的地位。长期以来,气候的不稳定性及频繁发生的农业气象灾害引起的粮食波动,是困扰我国农业发展的重要因素。随着人口的增加,有效耕地减少及人类活动加剧,导致农业环境进一步恶化。大气中 CO_2 、 O_3 含量的增加及UV-B辐射增强形成的温室效应所引起的全球气候变化,使农业的气候问题更加瞩目。

本书详细介绍了作者近年来所做的关于 CO_2 、 O_3 浓度增加和UV-B辐射增强对农业生产影响的一些初步研究成果,这些成果大部分是依据第一手田间试验资料,经得起实践的检验。

气候变化对农业生产的影响是一个既复杂,难度又大的科研课题,是当前科学发展的前沿性热点之一,其包括两部分,一是气候变化对农业生产的间接影响,二是气候变化对农业生产的直接影响。 CO_2 、 O_3 浓度增加和UV-B辐射增强对农业生产的影响均属直接影响范畴。

第一编 CO_2 对中国主要作物影响的试验研究,得到“八五”国家攻关项目“全球气候变化预测、影响和对策研究”03课题的资助,该项研究成果主要包括三个方面:一是 CO_2 浓度增加对农作物影响试验装置OTC-1型开顶式气室的研制;二是利用OTC-1型开顶式气室研究了 CO_2 浓度增加对我国六种主要作物(冬小麦、玉米、大豆、棉花、春小麦和谷子)生长发育、产量形成的影响及基本生理特征(光合作用、蒸腾);三是 CO_2 浓度增加对农作物影响的诊断与评估及其对策分析。结果表明, CO_2 浓度增加,农作物发育进程加快,株高增加,经济产量和生物产量增长明显,且 C_3 作物的增长幅度大于 C_4 作物;冬小麦、棉花品质呈良性变化,玉米品质可能有所下降,大豆品质变化不明显。

第二编 O_3 对中国主要作物可能影响的试验研究,得到周秀骥院士主持的“中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响”重大基金项目的资助,该项研究取得以下四个方面的成果:一是介绍了国外有关 O_3 对农作物影响的研究方法和试验结果,认为臭氧浓度增加,农作物产量下降,二者呈较好的直线关系。二是利用美国近10年的试验结果来推算 O_3 浓度变化对我国主要作物产量的可能影响。据我国大气本底观测和理论计算表明, O_3 对作物影响的下限阈值定为0.035ppm为宜,采用线性和非线性两种方法进行评估试验。结果表明,在相同 O_3 浓度下,因 O_3 的危害农作物产量的损失量非线性大于线性,当 O_3 浓度为0.05ppm时,冬小麦、玉米和大豆产量的损失量分别为470.0、492.9、194.6万吨,比线性评估结果分别高出60.8、335.2、66.1万吨。三是概述了 O_3 对农作物影响的防护对策,主要有喷洒表面覆盖物,发挥它的物理和化学作用,调节矿质营养,促进作物体内的生理代谢过程,使用防护剂、抗氧化物质及选育抗 O_3 的作物品种等,增强对 O_3 的抗性。四是简要介绍了近期 O_3 对农作物影响的研究概况以及未来的研究动态。

第三编 UV-B辐射增强对作物影响的试验研究,得到中国气象局青年气象研究基金资助,该项研究成果主要包括以下三个方面:一是对近年来国内外这方面的研究现状以及我们自己的研究成果作一综述;二是介绍了紫外辐射的观测和气候学的计算方法以及对农作物影

响的研究方法；三是在目前 UV-B 时空分布规律分析和未来 UV-B 辐射增强的估算基础上，分析了 UV-B 辐射增加对农作物的影响，对未来 UV-B 辐射增强对作物的影响作出了定量的评估。

全书由王春乙主持编写，其中第一章第一、二节，第二章，第三章第一节，第四、五、六章及第二编由王春乙执笔；第一章第三节，第三章第二、三节及第七、八章由郭建平执笔；第三编由郑有飞执笔，颜景义、陈万隆副教授提供了部分资料，冯定原教授审阅了该编的部分章节。王春乙对本书进行了最终审核。

由于我们均为青年学者，理论水平与实践经验有限，书中错漏之处，敬请读者指正。

作者

1997年3月

目 录

第一编 CO₂ 对中国主要作物影响的试验研究

第一章 CO₂ 对作物直接影响的研究方法及评价	(3)
§ 1 CO ₂ 对作物影响的研究方法及评价	(3)
§ 2 开顶式气室简介	(3)
§ 3 FACE试验方法简介	(9)
第二章 OTC-1型开顶式气室的结构、性能及评价	(18)
§ 1 OTC-1型开顶式气室的结构	(18)
§ 2 OTC-1型开顶式气室的CO ₂ 浓度控制与自动采集系统	(20)
§ 3 OTC-1型开顶式气室的QGS—08型红外可编程控制器.....	(22)
§ 4 OTC-1型开顶式气室的环境要素自动采集与测量系统	(34)
§ 5 OTC-1型开顶式气室的物理性能及评价	(38)
§ 6 OTC-1型开顶式气室的使用性能及评价	(41)
§ 7 OTC-1型开顶式气室的结构和性能与国内外同类设备的比较	(45)
第三章 CO₂对大豆影响的试验研究	(49)
§ 1 7小时供气对大豆的影响	(49)
§ 2 24小时供气对大豆的影响	(53)
§ 3 在CO ₂ 浓度倍增情况下大豆对农业气候资源的利用	(59)
第四章 CO₂对冬小麦影响的试验研究	(62)
§ 1 24小时供气对冬小麦的影响	(62)
§ 2 7小时供气对冬小麦的影响.....	(66)
§ 3 CO ₂ 对冬小麦籽粒品质的影响	(70)
第五章 CO₂对棉花影响的试验研究	(72)
§ 1 24小时供气对棉花的影响	(72)
§ 2 7小时供气对棉花的影响.....	(75)
第六章 CO₂对玉米影响的试验研究	(81)
§ 1 CO ₂ 对玉米生产发育及产量和品质的影响	(81)
§ 2 CO ₂ 对玉米光合作用的影响	(84)
第七章 CO₂对春小麦影响的试验研究	(87)
§ 1 材料和方法	(87)
§ 2 结果与分析	(87)
§ 3 结语	(91)
第八章 CO₂对谷子影响的试验研究	(92)
§ 1 材料和方法	(92)
§ 2 结果与分析	(92)

第二编 O₃对中国主要作物可能影响的试验研究

第九章 O₃对农作物影响的试验研究	(101)
§ 1 O ₃ 对农作物影响和危害的研究方法及评价	(101)
§ 2 O ₃ 对农作物及其它物质的影响	(104)
§ 3 O ₃ 对农作物的影响和危害机制	(107)
§ 4 O ₃ 对农作物影响和危害的防护方法和机理	(112)
§ 5 近期O ₃ 对农作物影响的研究概况	(114)
第十章 大气O₃浓度变化对我国农业生产的可能影响	(115)
§ 1 大气O ₃ 浓度变化对我国主要作物产量的可能影响	(115)
§ 2 大气O ₃ 浓度变化对我国农业生产的可能影响	(117)

第三编 UV-B辐射增强对作物影响的试验研究

第十一章 UV-B辐射增强对生物影响的综述	(127)
§ 1 UV-B辐射增强对植物影响	(127)
§ 2 UV-B辐射增强对其它生物的影响	(130)
§ 3 影响UV-B辐射生物效应的因子	(132)
§ 4 UV-B辐射增强对农业生产影响研究的不足与对策	(135)
第十二章 UV-B辐射增强与农作物关系的研究方法	(138)
§ 1 UV-B辐射量观测与计算	(138)
§ 2 紫外辐射的时空分布规律及物理特征分析	(143)
§ 3 臭氧减少导致UV-B辐射增加量的估算	(148)
§ 4 紫外辐射增强对农作物影响的试验研究方法	(150)
第十三章 UV-B辐射增强对大豆作物的影响	(157)
§ 1 UV-B辐射增强对大豆的影响	(157)
§ 2 UV-B辐射增强后大豆生长的数学分析方法	(161)
§ 3 UV-B辐射增强对大豆影响量的估算	(165)
§ 4 其它条件异常时UV-B辐射增强对大豆的影响	(166)
§ 5 CO ₂ 倍增时大豆产量的变化	(168)
第十四章 UV-B辐射增强对小麦作物的影响	(170)
§ 1 UV-B辐射增强对小麦作物的影响	(170)
§ 2 气候变化对小麦气候生产潜力影响的评价与估算	(174)
第十五章 UV-B辐射增强与棉花品质的关系	(178)
§ 1 棉花品质及与气象条件关系概述	(178)
§ 2 UV-B辐射对新疆棉花品质影响的理论分析	(179)
§ 3 UV-B辐射增强对棉花品质影响的试验	(183)

第 一 编

CO₂对中国主要作物影响的试验研究

第一章 CO₂对作物直接影响的研究方法及评价

§ 1 CO₂对作物影响的研究方法及评价

近些年来,人类活动对气候变化及气候变化对农业生态系统的可能影响已愈来愈引起人们的重视。造成气候变化主要原因之一是由人类活动的增加,使得近地层各种大气成分的含量有所改变,如CO₂、O₃等都呈增加趋势,对农作物生长发育及产量形成有一定的影响,已成为国际大气科学界最关心的热点之一,自80年代初以来在国内外已普遍开展了研究。

下面简要介绍国内外有关开展CO₂对作物直接影响的研究方法及评价。

人工控制和田间暴露的CO₂浓度都可用非扩散红外气体分析仪来进行可靠的监测。CO₂暴露试验可在生长气室、温室、开顶式气室和农田中进行,详见表1.1。在这些研究中,都是以瓶装CO₂作为气源,然后注入人工气室中进行接触试验。

表 1.1 确定二氧化碳对农作物影响的方法及评价

方 法	优 点	缺 点
叶室法	可得到单个叶片气体交换的动力学特征	不能确定整个植株的生长发育对CO ₂ 的响应
人工气候室法	需要生成和控制多个环境要素,可重复试验,生物因子均可控制	试验结果外推到自然的农田情况是困难的;农作物生长空间受到限制,阳光不足
便携式气室法	规模小,造价低,既可用自然光,也可用人工光源	各个环境要素的控制方法相同
阳光可控室法	高光强,与自然辐射相似,环境条件可变,可综合估测碳和水分平衡的关系,根系分布区域内的环境条件与农田相似	控制复杂,气室对温度、湿度、风速分布有影响,重复试验受到限制
温室法	可提供较多的试验数据,自然光照	在有些情况下,CO ₂ 浓度很难维持某一量值,与农田情况有较大差异
田间跟踪气室法	可跟踪环境条件的自然变化,观察整个生态系统对作物的影响效应,综合估算碳和水分平衡	由于气室地理位置的变动,得到同样条件的控制结果是困难的,气室本身的可能影响
开顶式气室法	可用于研究各种作物和植被,自然光照,接近于自然农田状况,容易确定不同的二氧化碳浓度等级	由于气室本身的影响,使气室内的湿度和风速形成梯度;气室内外农作物生长状况有所不同
自由通风增加CO ₂ 浓度法(FACE)	更接近于自然农田状况	技术可行性存在问题,在有风条件下,CO ₂ 可形成较大梯度,需要大面积采样,耗资多,劳动强度大

§ 2 开顶式气室简介

随着18世纪工业革命的开始,环境污染越来越严重。SO₂、CO₂、HF、O₃、CH₄、氮氧

化物等污染气体浓度的升高,必然对植物生长造成一定影响。

研究大气污染对植物生长的影响,特别是低浓度长期慢性影响试验,需要在一个稳定的已知污染气体浓度的环境中进行。造成和保持这种污染环境,熏气室(Chamber)是一个比较好的实验装置,用于实验研究的熏气室最好能满足表1.2要求。

第一个熏气室是在1896年由Schroeder和Schmitz-Dumont首先发明的。从第一个熏气室问世到现在已有1996年历史,在1996年的发展历史中,熏气室经历了密闭式静态熏气室、密闭式动态熏气室、开顶式熏气室这三个重要发展阶段。

表 1.2 熏气室要求

要求种类	要 求
基本要求	1. 熏气室内污染气体浓度均匀 2. 熏气室内环境质量参数均匀 3. 熏气室无反应表面 4. 准确控制污染气体浓度 5. 熏气室内环境质量参数类似于自然环境质量参数
希望要求	1. 实验人员能随意进出熏气室 2. 熏气室容易清洗 3. 使用方便 4. 结实耐用 5. 造价便宜 6. 移动方便

最早投入使用的是密闭式静态熏气室,这种熏气室是在密闭的小室内一次加入或逐次加入(或在熏气室内直接产生)污染气体,以观察污染气体对植物生长的影响。由于这种熏气室是一次加入或逐次加入污染气体,很难控制稳定的污染气体浓度。再加上这种熏气室内环境质量参数和自然环境质量参数相差甚远,因此,这种熏气室已被淘汰。

密闭式动态熏气室是在密闭式静态熏气室的基础上,向熏气室内连续不断地通入含有一定污染气体浓度的自然空气。这种熏气室能较好地控制稳定的污染气体浓度,熏气室内温度、湿度等环境质量参数基本均匀。但是,这种熏气室内环境质量参数和自然环境质量参数仍有一定差别。一般来说,熏气室内温度比室外温度高 $3\sim 10^{\circ}\text{C}$,室内光强、光质、湿度等环境质量参数和室外也有一定差异。特别是由于这种熏气室顶部是密闭的,室内植物不能接受雨露、水份、昆虫授粉等自然条件,这样势必影响污染气体对植物的反应敏感性。

1973年,美国学者Heagle和Mandle同时在环境质量杂志(J. Environ. Qual)介绍开顶式熏气室(Open-top Chamber)。这种熏气室的顶部是敞开的,含有一定污染气体浓度的经过滤的自然空气从熏气室下部连续不断地通入熏气室,接触试验植物,再从敞开的熏气室顶部扩散到大气中。这种熏气室内的环境质量参数,如温度、湿度、光强、光质等,比较接近于自然环境质量参数。再加上敞开的熏气室顶部,试验植物能接受外界雨露、水份、昆虫授粉等自然条件,试验结果比较趋近于实际。

这种熏气室一经问世,就得到世界各国,特别是欧美及日本的高度重视。用这种熏气室研究大气污染对植物生长研究的文献报道不下百篇。我国也在80年代初开始试制使用这种熏气室,有10余篇文献报道了这种熏气室在农业和林业方面的应用。

国内外使用的开顶式熏气室基本上都是1973年Heagle和Mandle介绍的开顶式熏气室

的改进型。图1.1是1973年Heagle设计的开顶式气室，图1.2是1973年Mandle设计的开顶式熏气室。

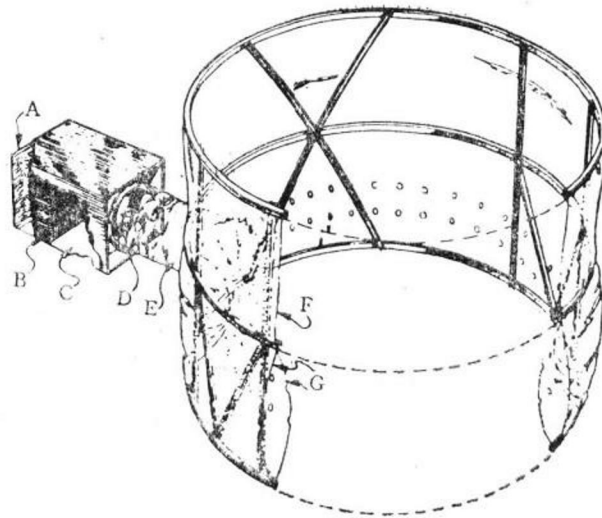


图1.1 1973年Heagle设计的开顶式熏气室

A——玻璃纤维滤尘器；B——碳滤器；C——金属外盒；D——轴流通风机；E——连接管道；
D——上层室壁；G——下层室壁；G——通风机

Heagle 设计的气室为直筒圆柱形。直径3 m，高2.4m。室壁分上、下两层（透明聚氯乙烯塑料薄膜），上层为单层膜，下层为双层膜，下层室壁的内膜上开有均匀分布的通风孔（孔径为2cm，两孔的纵向间距为18.5cm，横向间距为17.5cm）。整体框架由铝合金构成。为了防止其它污染气体干扰，气室还配有过滤通风系统。

Mandle设计的气室同样为直筒圆柱形，直径3m，高2.4m，室壁为单层透明玻璃钢瓦。沿气室底部布设塑料通风管道，通风管道上开有均匀分布的通风孔，整体框架由方形槽钢组成。Mandle气室也配有过滤通风系统。

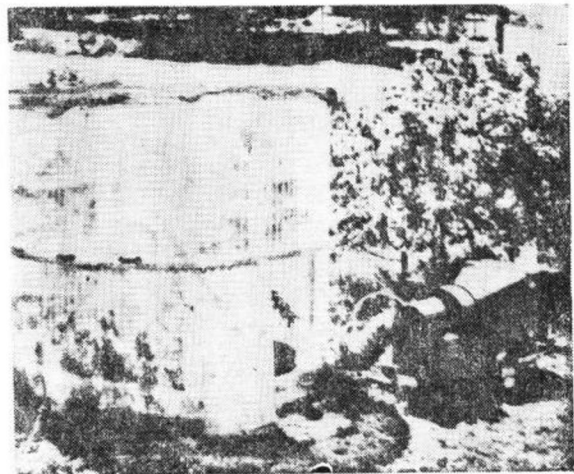


图1.2 1973年Mandle设计的开顶式熏气室

目前，国内外使用的开顶式气室均为Heagle和Mandle气室改进型。Hogsett (1985)对Heagle气室进行了改进，在原直筒圆柱形气室顶部增加了锥形口和伞形防雨顶盖，如图1.3。增加了顶部锥形口，可以有效地防止外界空气从气室顶部侵入，保证气室内污染气体浓度的稳定性，试验结果表明，有锥形口的气室，在风速15Km/hr (4m/s) 的条件下，仍能保持气室内污染气体稳定性，若进行水分控制试验，可在敞开的锥形口上方增加伞形防雨顶盖。

Musselman于1985年在Heagle、Mandle和Hogsett的基础上，设计了一种开顶式气室并投入了使用，该气室为八边形，铝合金框架，如图1.4所示。它是采用顶部通风方式，使气室内供试气体的空间分布更为均匀，室壁材料选用聚四氟乙烯塑料，透光性能好，但它不能

接受自然降水、雨露和昆虫授粉等。

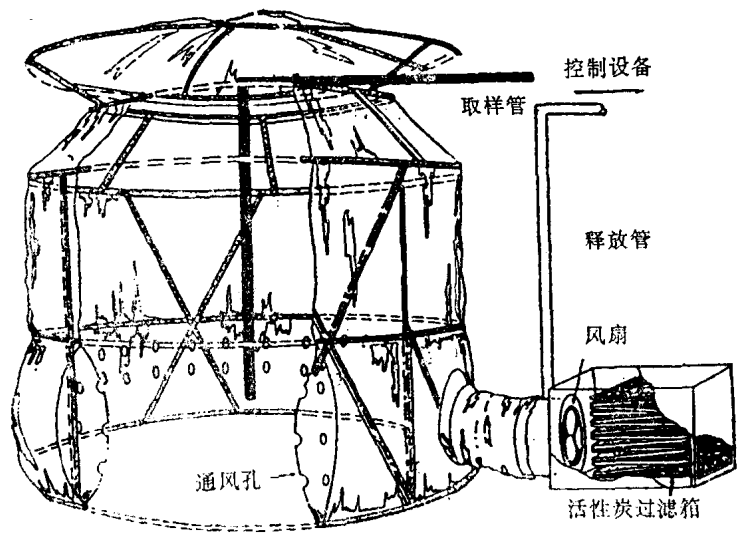


图1.3 W.E.Hogsett设计的开顶式试验气室

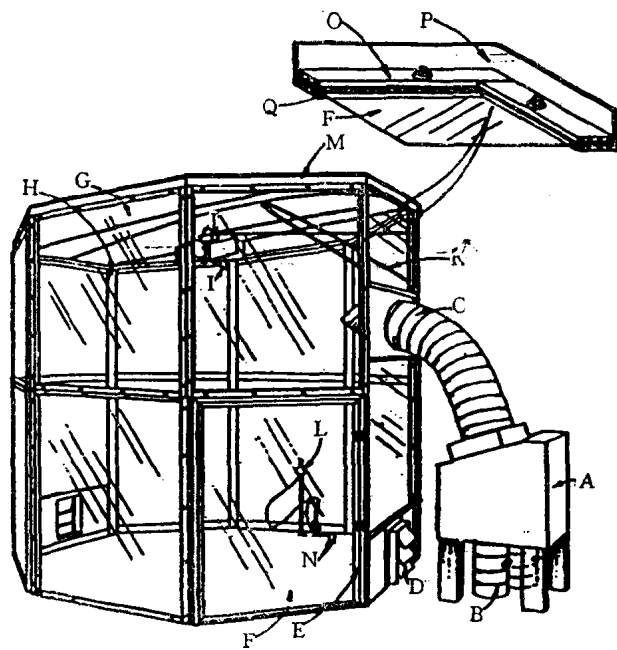


图1.4 Musselman设计的开顶式气室

A——空气入口混合盒 B——风门调节过滤和未过滤空气的流量 C——软管 D——空气排出气室的风窗
E——气室门 F——聚四氟乙烯膜 G——气室顶板(聚四氟乙烯膜) H——支撑气室的铝管 I——风扇
J——风扇电机和电机座 K——支撑风机的框架 L——污染气体取样管 N——热电偶传感器 O——铝棒
P——铝合金框架 Q——天气带(Weather strip)

开顶式气室比密闭式静态气室、密闭式动态气室有了很大发展,试验结果比较接近于实际农田。但是,开顶式气室仍有不足之处,例如,气室室壁对自然空气流动和自然降水仍有阻挡作用(这个问题开顶式气室本身无法解决)。还有,现在建造的各种类型开顶式气室在污

染气体浓度分布上仍有问题，这可从Hogsett气室的评价结果上看出(图1.5)。从图1.5可以看出，污染气体在水平分布上不够均匀，高浓度和低浓度相差30%以上，况且这个评价结果是在气室无作物情况下得出的。如果气室内布设供试作物，污染气体浓度的水平分布误差将会更大，作物群体内部必将存在污染气体浓度的纵向梯度。我们认为，造成气室内污染气体浓度分布不均匀的主要原因是由于通风不均匀造成的，如果改进通风条件，供试气体浓度分布不均匀这个问题可以得到解决。



A. 20厘米高度 O_3 浓度水平分布

B. 50厘米高度 O_3 浓度水平分布

图1.5 Hogsett气室内 O_3 浓度水平分布

开顶式气室由框架、室壁、通风管道、风机、过滤器五部分组成。

一、框架

1973年Heagle和Mandle介绍的开顶式熏气室的框架结构为直筒圆柱形。这种形式结构的熏气室，外界空气易从熏气室顶部侵入。近些年来，在原直筒圆柱形顶部增加了收缩口，以减少外界空气从熏气室顶部侵入。现在使用的熏气室框架多为组合式，便于组装和拆卸。框架材料一般使用轻质材料，如铝合金、槽铁等。框架构成为圆柱体，一般高2.4m，直径3m。

二、室壁

1973年Heagle使用的室壁材料为透明聚氯乙烯塑料薄膜，Mandle使用的室壁材料为透明玻璃钢瓦。从文献报道来看，使用的室壁材料还有透明聚乙烯塑料薄膜，近些年来，透明聚四氟乙烯塑料薄膜得到应用。聚氯乙烯塑料薄膜和聚乙烯塑料薄膜具有透光率好（透光率可达94%）、价格低廉等特点，但使用寿命短、不抗风易破裂，透明玻璃钢瓦结实耐用、强度好，但透光率比透明塑料薄膜透光率差，而且玻璃钢瓦也宜老化。相比而言，透明聚四氟乙烯塑料薄膜是一个比较好的室壁材料，它具有透光率好、结实耐用等特点，只是价格稍贵。聚四氟乙烯塑料薄膜在我国的应用受到一定限制，主要是国产聚四氟乙烯塑料薄膜宽度太窄，只有10cm左右的宽度，因此，无法使用。从文献报道来看，用塑料薄膜作室壁的开顶式熏气室，室壁分成上、下二层。上层室壁为单层塑料薄膜，下层室壁为双层塑料薄膜。下层室壁的内层塑料薄膜上开有许多通风孔，通风孔孔径为2cm，两孔的纵向间距为18.5cm，横向间距为17.5cm。在下层室壁的外层塑料薄膜（相对于熏气室进出门位置）开有一个圆形通风口，用作风机出风口。用透明玻璃钢瓦作室壁的开顶式熏气室，室壁为单层玻璃钢瓦。在相对于熏气室进出门位置的室壁底部开有一个圆形通风口，用作风机出风口。

三、通风管道

用塑料薄膜作室壁的开顶式熏气室，下层室壁的内层塑料薄膜上的通风机和下层室壁

的外层塑料薄膜上的圆形通风口与风机出风口的连接管道构成了熏气室的通风管道，污染空气从下层室壁的内层塑料薄膜上的通风孔均匀通入熏气室，图1.6a是通风管道示意图。用透明玻璃钢瓦作室壁的开顶式熏气室，在熏气室底部沿室壁铺设一圈用硬质塑料或其它材料作的通风管道，管道壁上开有通风孔。图1.6b是通风管道示意图。

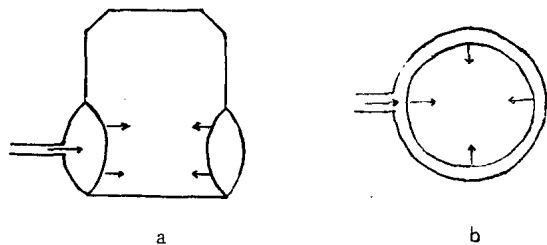


图1.6 通风管道示意图

四、风机

风机是开顶式熏气室的重要组成部分，它的作用是将污染空气连续不断地送入熏气室。一般来说，送入熏气室的风量要满足熏气室通风换气每分钟2~3次的要求。对于高2.4m，直径3m的圆柱形开顶式熏气室，通风量要大于 $34\sim 51\text{m}^3/\text{min}$ 。但是，通风量也不能太大，否则将会吹落植物叶子，增大植物水份蒸发量。开顶式熏气室使用的风机有两种，一种是轴流通风机，另一种是离心通风机。

轴流通风机噪音小、体积小、耗电省、操作简便，但风压较小（只有300Pa左右），不适宜阻力较大的通风管道。同轴流通风机相比，离心通风机噪音大、体积大、耗电多，但风压较大（风压1000Pa左右），适宜阻力较大的通风管道。从文献报道来看，国外较多地使用轴流通风机，国内基本上使用离心通风机。污染气体从风机进风管道或出风管道加入。

五、过滤器

由于目前环境污染十分普遍，很难找到一个没有大气污染的试验环境。这就要求开顶式熏气室配备过滤器，以排除灰尘、细菌、污染气体对试验的干扰。从文献报道来看，使用的过滤器有以下三种形式组成：

组成1：预滤器 + 中效滤尘器 + 碳滤器

组成2：滤尘器 + 碳滤器

组成3：碳滤器

组成1 现在已很少使用。大量使用的是组成2 和组成3。

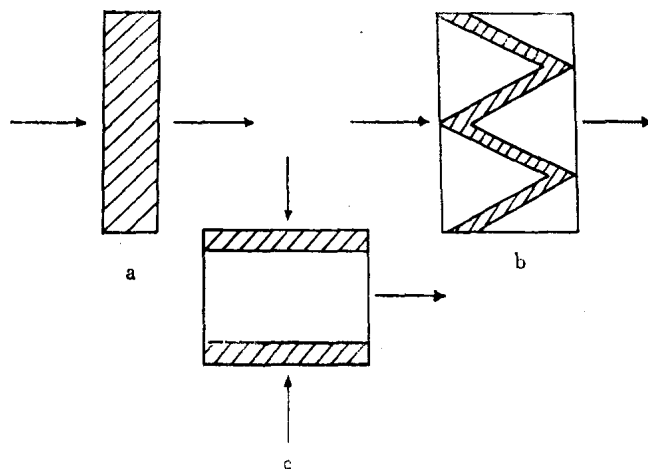


图1.7 三种形状碳滤器

滤尘器一般是平板状玻璃纤维滤尘器或滤尘布。碳滤器有三种形状，一种是平板碳滤器（图1.7a），一种是连续折叠式平板碳滤器（图1.7b），另一种是空心圆柱体碳滤器（图1.7c）。

世界上没有十全十美的东西，开顶式熏气室也是如此。由于开顶式熏气室室壁的阻挡作用，熏气室还不能完全模拟雨水、自然空气流动、昆虫授粉等自然条件。但不管怎么说，开顶式熏气室和同类熏气室相比较，仍是较好的研究大气污染对植物生长影响的实验装置。

开顶式熏气室具有广阔的应用前景，可以用于多方面的试验研究。

1. 在污染现场确定大气污染对植物生长的定量影响
2. 制定各种大气污染危害植物的剂量标准
3. 进一步筛选抗污染及敏感植物
4. 了解植物对大气污染的生理生态反应

我国的开顶式气室研究起步较晚。在80年代初期，先后有云南省环境科学研究所、江苏省植物研究所、中国环境科学研究院生态所等单位先后设计并建造了各自的开顶式气室，用于研究硫化物、酸雨等对植物的影响。下面仅就中国环境科学研究院生态所建造的气室为例，做一简要介绍。

开顶式熏气装置由鼓风机、框架与室壁三部分组成，见图1.8。

送风装置包括鼓风机、过滤器和通风管道三部分，过滤器的作用是吸附外界空气中的有害杂质，保证送入熏气室内的空气纯洁，使供试植物不受混杂在空气中的其它污染气体伤害。在清洁空气中进行试验，可拆除过滤器。过滤器为一长方形塑料箱体，内装一板状M形双层窗纱槽，槽内装入无定形颗粒活性炭。厚约5cm。板状M形过滤器增加了风机入风口与空气的接触面积，从而增大风量。风机的作用是不断将经过滤的空气吹入熏气室内，在随空气流动的过程中，供试气体同时得到稀释和混匀。风机为1.2千瓦4-72型离心式塑料风机。风量2010—3710m³/h。

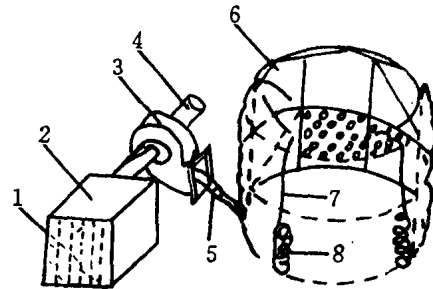


图1.8 开顶式熏气装置示意图

1. 过滤器塑料箱体
2. 装有活性炭的M形板状过滤器
3. 风机
4. 电机
5. 风道
6. 角铁框架
7. 上层壁
8. 下层壁（内层具小孔）
9. 输入供试气体的小孔

为适应野外工作特点，角钢构成的框架为组合式便于装、拆的圆柱形。顶部稍收口以阻挡外界气流自顶部进入熏气室。框架高2.4m，直径3m。

熏气室室壁由聚氯乙烯塑料薄膜加工而成。分上下两部分。上部为单层，下部双层，内层膜上穿有直径为2.5cm排列整齐的小孔，孔的纵向间距18.5cm，横向间距17.5cm。外层膜上开一直径为35cm圆孔与鼓风机送风管道相通。风机吹入的气流自此孔进入下层壁间，然后从内层壁上的小孔均匀进入熏气室内。

§ 3 FACE试验方法简介

FACE是英文Free-Air Carbon Dioxide Enrichment的缩写，其意思就是在自由空气中增加CO₂。它摆脱了实验室内小空间、微环境的影响，直接在自然生态环境下进行CO₂增加的模拟试验，因FACE系统的试验尺度大；系统内部通风良好，光照、温度、湿度和风

等环境条件十分接近自然农田，所以在FACE系统中获得的数据更接近于真实情况。

一、建立FACE系统的必要性

FACE计划是为了在控制条件下，提高 CO_2 水平，排除生长气室的不明影响而获得碳固定的田间试验资料设计的。FACE试验的结果能有效地用在各种未来气候条件下作物生长的数学模式。模式能从FACE实验中获得的最重要的有效过程之一是增加 CO_2 被植物吸收的程度， CO_2 增加田块与对照田块相比表现出碳储存（生物量）增加。通过减小模式中植物或生态系统与大气中 CO_2 交换的不确定性，将提高对气候变化的预测能力。

研究大气扰动对植物生长的影响通常需要在完全自然状态下实际生长和方便的实验室中执衷方法来解决。分离特殊参数的影响，如增加 CO_2 浓度、空气污染或水分胁迫，则需要比完全自然环境更熟练的操作环境。这种操作环境和传统控制通常是开顶式气室或温室。开顶式气室提供了实际上能完全控制的优点，但与现实环境有较大差异：

1. 隔离了植物与昆虫、疾病以及其它与 CO_2 相互作用很重要的事物；
2. 保护了植物免受风和其它极端环境变化的影响，这些变化通常能诱导植物解剖学和生物形态学的响应，如变得坚固，这些响应改变了蒸散环境和水的利用；
3. 设置的大小限制了放置植物的数量，从而减小了试验和统计效率；
4. 在人工环境中获得的结果外推到现实自然中，本身伴有难以估计的不确定性。

因此，在研究 CO_2 增加导致的气候变化中，由于生物和大气相互作用的复杂性，实际生长条件和环境的相互作用尤其重要。

最早研制的比较完善的FACE系统是在布鲁克黑文国家实验室（Brookhaven National Laboratory (BNL)）。该系统解决了两个主要问题：（1） CO_2 在环境空气中先稀释；（2） CO_2 量能经常得到调整。FACE中心的 CO_2 浓度，在98%的时间里误差不大于20%，在整个系统直径一半以上的范围内， CO_2 的空间分布十分均匀（误差在 $\pm 20\%$ 内）。

二、FACE系统的描述

1. 设计目的

- （1）对植物微环境和土壤特征的干扰降低到最低限度；
- （2）有足够的大小，允许包含许多试验田块；
- （3）至少在80%的时间里，输入气体浓度的1分钟平均值的误差在20%内；
- （4）电力消耗和输入气体利用率的实际水平；
- （5）在远距离实验室支持的正常操作下的输送能力和适应能力。

2. 物质组成

- （1）横断面直径30cm和直径22m的环形充气管；
- （2）32根直径5cm，高度2.25m，具有阀门（开和关）的垂直出气管；
- （3）一台具有9mm左右汞柱压力，每分钟送气量 40m^3 的风机；
- （4）在风机前，有一个相应的控制输入气体（ CO_2 ）进入系统的流量控制表；
- （5）在列阵中央有一个测量输入气体浓度的气体分析仪；
- （6）在列阵中央有一个风标和风杯风速表，测量风向和风速；
- （7）一台微型处理器用来比较列阵中央 CO_2 水平和希望达到的浓度，并在考虑风速的情况下，调节质量流动的控制阀门。同时它也控制垂直出气管管口的阀门，以便使这些田块顺风向释放气体；
- （8）用于一个以上列阵的中央控制计算机和数据记录器。