

植物组培室洁净系统设计与性能

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 刘文科^{*} 杨其长

摘要 以中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所建立的无糖组培室为例,研究了空气净化系统的设计方法和系统性能。研究表明,建成初期和运转一年后,室内的悬浮粒子和沉降菌指标均达到洁净度国家标准 7 级。

关键词 空气洁净等级 粒子 沉降菌 组培间

Design and Performance of Clean-Air System in a Sugar-Free Tissue Culture Room

By LIU Wenke^{*} and YANG Qichang

Abstract In this paper, an environmental control system combined with air cleaning technique was developed to control air condition. The cleanliness classification can be up to grade 7 at the beginning and a year running.

Keywords Classification of air cleanliness Particle Settling microbe Tissue culture room

^{*}Institute of Environment & Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences

在组培生产过程中,由于组培苗生长发育的环境也恰恰是大量的菌类适宜繁殖的环境,因此,为抑制菌类繁殖,减少污染并降低成本,必须对组培苗生产过程进行污染控制。洁净室被当作现代污染控制最重要的手段之一。当今,在很多工业部门都在应用污染控制技术和洁净室,因为洁净的空气和洁净的生产环境,对于高品质、复杂产品的生产是必不可少的保证条件,可以最大限度的减少废品和污染比例。所以,利用洁净技术控制环境,减少污染在生产中正变得日益重要。洁净技术在植物种苗工厂化生产方面的应用,国外有一些研究报道,证明是切实可行的。它不仅能够保证组培室内相对洁净的环境,减少污染,同时能控制培养室内空气流动方式和速度,提高环境因子的控制水平。近年来,我国新建的大部分组培中心都尝试采用了洁净技术,植物种苗生产工厂的洁净度等级的选择往往根据生产工艺的要求、植物种类以及建设运行成本综合考虑。目前,在种苗生产工厂的洁净度等级的选择方面,尚没有统一的结论。

为此,有必要及时跟踪、整理、借鉴国外近几年来在组培洁净技术领域先进的研究成果,研发适合我国国情的组培洁净系统,用于改进或提高我国组培环境控制系统的整体水平。2002 年中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所设施农业研究中心投资建成一座可实现组培室内温度、光照、相对湿度、CO₂ 浓度等环境因子综合控制的洁净组培室,旨在通过试点工程,研究探讨适合我国国情的光独立组织培养种苗生产工厂。

1 组培室结构

参照《洁净厂房设计规范》(GB50073-2001) [1],

并根据植物组织培养室的生产流程及其空气洁净度等级的要求,本洁净组培室的结构、技术性能及相应指标如下:植物光独立组织培养洁净室建立在一间面积为 8300×7400mm,高 3500mm 的普通组培室内。该洁净组织培养室采用 δ=50mm 厚的聚苯乙烯夹芯彩钢板做围护结构;顶棚采用同等彩钢板吊顶;观察窗采用全封闭式,配以专用铝合金型材与玻璃板结合,边角成 45°不积尘;门采用彩钢板配以专用铝型材门框,周边嵌入橡胶密封条;墙与吊顶、墙与地面均采用半圆弧铝型材交接。送风面下净高 2600mm。整个组培室用彩钢板分成组培间、准备间、缓冲间、设备间和工作参观间五部分(见图 1),其中组培间面积 15.6m²,准备间面积 10.6m²,组培间机房和准备间机房面积分别为 3.7m², 2.9m²。照明采用洁净专用灯具。空气消毒采用紫外线灯。

2 组培室空气净化系统

2.1 空气净化处理

根据《设计规范》,各等级空气洁净度的空气净化处理,均应采用初效、中效、高效空气过滤器三级过滤。组培间的空气净化处理采用初效、中效、高效三级过滤,经风管由顶部送风,下部两侧回风。组培间顶部两个高效送

☆刘文科,男,1974 年 5 月出生,博士,助理研究员

100081 北京中关村南大街 12 号

(010) 68976901

收稿日期:2006-1-17

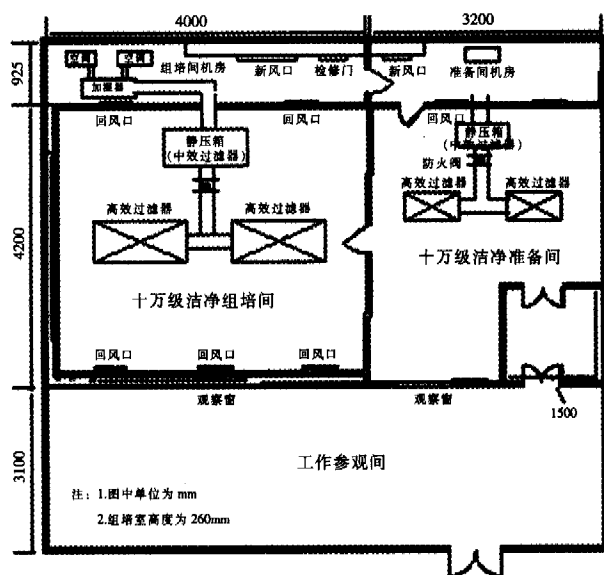


图1 植物洁净培养室的分区示意图

风口位于房间中央且东西对称分布，在组培间的南墙和西墙设立回风夹道；在靠墙面距地200mm处设置回风口，考虑到南部回风路程较长，阻力较大，为使组培间内的受控环境因子尽可能的均匀，故南墙回风口均匀分布共3个，北墙回风口均匀分布共2个。回风口处安装初效尼龙过滤器，经空调降温、升温处理，用风机将处理后的空气向中效过滤器送风，洁净空气再经末端高效过滤器通过高效风口由顶部高效散流板送入洁净组培间，如图2。准备间的空气净化系统也采用初效、中效、高效三级过滤，经风管由顶部送风，下部两侧回风。一侧排出室外、另一侧流回准备间机房。回风口距离地面200mm，北墙2个回风至准备间机房，南墙1个回风至室外（工作参观间）。缓冲间顶部有一个高效送风口（与准备间共用同一空气净化系统），在与工作参观间相通的门上，距离地面200mm设一个回风口。

2.2 压力控制

《设计规范》规定，洁净室必须维持一定的正压。不同等级的洁净室以及洁净区与非洁净区之间的静压差，应不

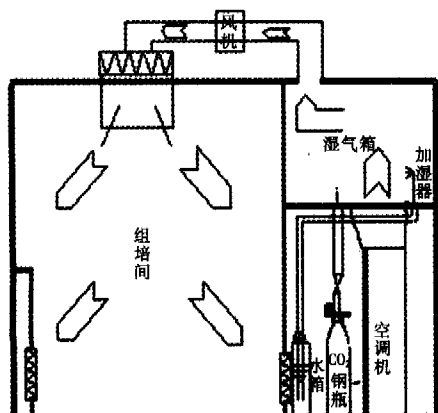


图2 空气净化流程示意图

小于5Pa，洁净区与室外的静压差，应不小于10Pa。

2.3 通风换气设计

洁净室送风量主要取决于洁净要求和温湿度要求。因此，洁净室的送风量可按下列两项数值进行比较，取其中之大值。根据洁净要求和热、湿负荷计算后，确定的三速离心风机（FSW-NO.20Zh-4，北京瑞泰空调通风设备有限公司，的额定风量为1300m³/h，全压为280Pa。该风机既可满足风量的要求，也可满足初、中、高效过滤的阻力（GB-01 高效过滤器484×484×220mm和484×968×220mm的终阻力小于220Pa，中效过滤器终阻力小于30Pa，尼龙网终效过滤器初阻力小于15Pa）。

3 组培室洁净特性检测与分析

国家标准《洁净厂房设计规范》（GB50073-2001）对洁净室（区）的检测中规定：空气洁净度（生物洁净室还应进行浮游菌、沉降菌的测定，二者可以只测其中一项，达到标准要求即可）、静压差、风速或风量是三个基本的必测项目^[1]。

3.1 检测方法

3.1.1 洁净度检测方法

①悬浮粒子参照中华人民共和国国家标准——医药工业洁净室（区）悬浮粒子的测试方法（GB/T 16292-1996）和《洁净室施工及验收规范》JGJ71-90^[2]，采用计数浓度法。测试仪器为激光尘埃粒子计数器（BCJ-1A 尘埃粒子计数器，中科院上海大恒光机公司华达仪器设备厂）。

②采样点的数目：由于所在洁净组培室为非单向流洁净室，标准规定洁净度10万级的组培间、准备间面积（均小于20m²）对应的悬浮粒子最少采样点数目为2个。组培间、准备间作为重要的洁净工作区域，本项目试验中所布置的采样点数目分别为6个、5个。

③采样点的布置：标准中规定：a）采样点一般在离地面0.8m高度的水平面上均匀布置；b）采样点多于5点时，也可以在距离地面0.8~1.5m高度的区域内分层布置，但每层不少于5点。测试中，考虑到组培间内组培架上的空间为生产的关键操作区，组培间内的6个采样点位于组培架中央沿东西方向均匀布置，南北对称，采样点距离地面高度为0.8m（图3）。

3.1.2 沉降菌

①参照中华人民共和国国家标准——医药工业洁净室（区）沉降菌的测试方法（GB/T 16294-1996），沉降菌的测试采用沉降法。培养皿采用φ90mm×15mm的硼硅酸玻璃培养皿。培养基采用普通肉汤琼脂培养基（蛋白胨10g、牛肉膏3g、氯化钠5g、琼脂18g、蒸馏水1000ml，消毒灭菌后备用），其配制方法参照YY/T0188.6-1995第6章无菌检查部分。

②采样点数目：标准规定洁净度10万级的组培间、准备间面积（均小于20m²）对应的沉降菌最少采样点数和最

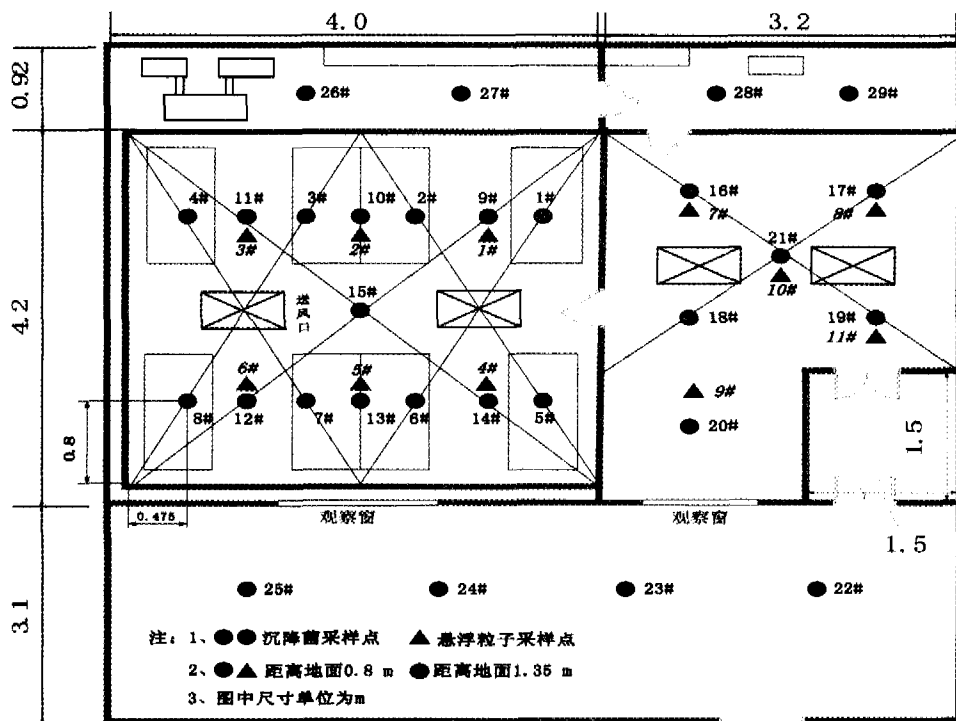


图3 沉降菌与悬浮粒子采样点分布位置

少培养皿数均为2个。测试中，应同时考虑最少采样点数和最少培养皿数，并使得采样点尽可能的反映洁净室的微生物数。本项目试验中组培间、准备间分别布置采样点15个、6个。另外，在组培间机房、准备间机房、工作参观间分别布置采样点2个、2个、4个作为对比。

③采样点的布置：组培间作为重要的生产区域，布置的采样点数目较多，分两层放置：第一层距离地面0.8m，共8个；第二层距离地面1.35m，共7个。准备间、组培间机房、准备间机房、工作参观间的采样点距离地面均为0.8m（图3）。

3.1.3 静压差的检测方法

静压差的检测参照《洁净室施工及验收规范》[1]JGJ71-90和国家标准《洁净厂房设计规范》(GB50073-2001)[2]。这两个标准对静压差测量的规定是一致的：测量应在所有门关闭时进行，仪器采用微压计，灵敏度小于1.0Pa。静压差的测量中，测点位置位于各个房间分区中央，距离地面高度为0.8m。测量仪器采用补偿微压计（YJB-150，上海气象仪器厂），它的分辨率较高，最小分辨率达0.01mm水柱，允许误差为0.08mm水柱（1mm水柱=9.8Pa）。

3.1.4 风速、送风量及通风换气次数的检测方法

①风速：根据标准《洁净室施工及验收规范》JGJ71-90规定，采用热球式风速仪进行风速测量。风速仪采用智能热球式风速计（ZRQF系列，北京市检测仪器厂），该热球式风速计的测量范围为0.05~30m/s，测量误差为±3%。

②送风量：送风量的测量采用风口法。

3.1.5 围护结构换气次数的测量方法

室内换气次数的测定采用二氧化碳测量法（标准A 1406-1974，日本）。即通过测量室内外CO₂浓度，由计算获得换气次数。CO₂浓度由采用红外线性CO₂浓度传感器（GMW22D，Vaisala Inc., Helsinki, 芬兰）。

4 结果与分析

4.1 洁净度检测结果与分析

(1) 悬浮粒子

采样点的粒子浓度及平均粒子浓度见表1。组培间、准备间各采样点的平均粒子浓度及UCL值见表2。

悬浮粒子的检测结果表明，组培间、准备间各采样点的0.5μm和5μm的平均粒子浓度及95%置信上限的最大值分别为100142粒/m³，2872粒/m³，分别小于国家标准GB50073-2001的7级规定的352000粒/m³，2930粒/m³，洁净度达到国家标准7级（相当于1万级）。除采样点11外，组培间内采样点的悬浮粒子数普遍高于准备间，原因在于工作人员的操作带入的尘埃粒子，准备间经常清扫而组培间由于培养植物的存在不清扫所致。

(2) 沉降菌

7、8、9月三次沉降菌试验结果见表3。沉降菌的检测按照国家标准GB/T 16294-1996规定在测试前，被测试洁净室（区）已经过消毒。考虑到组培间内培养的植物，沉降菌测试中各个分区房间均未消毒。即使在未消毒的情况下，组培间、准备间的沉降菌落数均小于3个/（皿·30min），达到洁净度7级（相当于1万级）；组培间机房、

表 1 组培间各采样点的平均粒子浓度

采样点	采样点粒径的平均值 (粒/2.83 升)		采样点粒径的平均值 (粒/m ³)	
	0.5μm	5μm	0.5μm	5μm
A1	180.8	8.1	63914	2872
A2	154.3	6.7	54526	2365
A3	193.7	6.7	68463	2386
A4	118.1	4.4	41730	1565
A5	204.0	4.4	72085	1555
A6	172.8	5.7	61053	2003

表 2 组培间、准备间各采样点的平均粒子浓度及 UCL 值

组培间采样点	粒径的平均值 (粒/m ³)		准备间采样点	粒径的平均值 (粒/m ³)	
	0.5μm	5μm		0.5μm	5μm
A1	63914	2872	A7	55924	1209
A2	54526	2365	A8	58076	936
A3	68463	2386	A9	40971	261
A4	41730	1565	A10	45886	253
A5	72085	1555	A11	100142	1485
A6	61053	2003	UCL	82503	1262
UCL	69309	2551	-	-	-

表 3 植物洁净组织培养室不同房间沉降菌的检测结果

检测地点	φ90mm 培养皿数	平均沉降菌数 (个/皿·30min)			符合洁净级别 中国药品生产洁净室空气洁净度标准
		7 月 20 日	8 月 25 日	9 月 27 日	
组培间	15	1.0	2.4	1.4	7 级 (相当于 1 万级)
准备间	6	0.5	1.67	1.0	7 级 (相当于 1 万级)
组培间机房	2	3.0	5.5	5.2	8 级 (相当于 10 万级)
准备间机房	2	6.5	-	7.0	8 级 (相当于 10 万级)
工作参观间	4	14.3	9.5	10.8	-

表 4 组培间和准备间风速、送风量及换气次数结果

洁净分区	风机档位	进风口平均风速(m/s)	送风口面积(m ²)	送风量(m ³ /h)	房间容积(m ³)	换气次数(次/h)
组培间	高	0.37	1.02	1358	40.5	33.5
	中	0.34		1248		30.8
	低	0.32		1175		29.0
准备间	高	0.49	0.51	899	28.3	31.8
	中	0.47		863		30.5
	低	0.44		808		28.6

准备间机房均达到国家标准 8 级 (相当于 10 万级); 工作参观间为非洁净区, 由于人员活动频繁, 沉降菌落数较多。

4.2 静压差检测结果与分析

测量显示, 组培间与其机房的静压差为 25.1Pa, 对室外为 22.8Pa, 对准备间 (风机关闭) 为 17.4Pa; 准备间对准备间机房的静压差为 34.1Pa, 对室外为 24.7Pa, 对缓冲间为 13.3Pa, 对工作参观间为 21.7Pa。测量结果表明: 组培间、准备间与室外的压差均大于 10Pa, 洁净区与非洁净区之间的压差大于 5Pa, 符合《洁净厂房设计规范》的要求, 对于保证组培洁净室内较高的洁净度起到了应有的作用。

4.3 风速、送风量及换气次数检测结果与分析

测量及计算结果表明: 组培间、准备间的送风量、风机在高 (中) 档时的换气次数均大于设计要求的 1000m³/h, 30 次/h, 但当风机在低档时换气次数小于 30 次/h。见表 4。

空气净化系统进风口风速、风量及回风量的大小是净化空气悬浮粒子数和沉降菌数达到或低于法规标准的关键^[3], 风速的大小还可决定室内外的空气压差^[4]。在洁净室的运转中, 工作人员本身和操作过程均会产生粒子, 实际上一个乱流洁净室所产生的粒子是被不含尘埃粒子 (或极少) 的洁净空气所稀释, 当所产生的粒子被稀释到一定程度随排风流出的时候, 就达到了一种动态的平衡, 因此对于洁净度级别越高的乱流洁净室要求其送风量越大 (稀释越充分)。当然, 一定量的风速、风量可保持室内的洁净、空气清新, 但是风速、风量太大可能损耗高效过滤器。

4.4 围护结构换气次数结果与分析

经过测定计算, 风机停止运转时围护结构的换气次数为 0.048 次/h; 风机开启时围护结构的换气次数为 0.2 次/h。换气次数越大, 室内与室外空气交换越多, 受外界环境影响

随之增加;换气次数越小,表明房间气密性越好,室内环境受室外影响就越小。由换气次数检测结果可以看出组培间围护结构气密性良好,室内受外界环境影响较低,同时能够有效减少组培室内的水汽损失和施放 CO₂ 的损失。

5 结论

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所设计建造的密闭式结构的组培室,采用初效、中效、高效空气过滤器三级过滤,经风管由顶部送风,下部两侧回风的空气净化系统。检测表明,组培间和准备间内的洁净度均达到国家标准 7 级(相当于 1 万级)水平。

参考资料

- 1 中华人民共和国国家标准-洁净厂房设计规范 [S]. GB500073-2001. 北京
- 2 齐锡位,王国斌,范钦,等. 洁净组培室空气洁净度测定[J]. 解放军医学高等专科学校学报,1996,24(3):19-21
- 3 中国建筑科学研究院. JGJ71-90. 中华人民共和国行业标准-洁净室施工及验收规范 [S]. 北京:建筑工业出版社,1991-07-01
- 4 柳振安,谢曙光,李泉. 洁净室监测技术与洁净级别判定[J]. 湖北预防医学杂志,2002,13(2):35-38

□

(上接第 59 页) 要求的同时很大程度地节约能源。

2) 利用变频技术可以根据负荷的变化,及时调节和控制一次泵流量,从而降低水泵能耗使空调系统的运行费用大大降低。

3) 由优化结果可以看出,在制冷系统中冷却水流量对系统总能耗的影响大于冷冻水流量对系统总能耗的影响;同时冷冻水系统受控条件较多,在实际运行中,冷却水流量控制的空间要大些。

参考文献

- 1 张谋雄.冷水机组变流量的性能 [J]. 设计参考,2000,30 (6):56-58.
- 2 殷平.空调大温差研究 (4) [J]. 空调冷水大温差系

统经济分析,暖通空调,2001, (1):68-72.

3 张建一.制冷装置冷却水系统的节能运行研究 [J]. 集美大学学报 (自然科学版),2001 (3):228-230.

4 余平三.制冷系统的节能优化运行 [J]. 制冷,2002, (7):82-85.

5 赵加宁,周巧航,施雪华.空调用制冷系统的节能潜力分析 [J]. 哈尔滨商业大学学报 (自然科学版),2002 (3):353-357.

6 严启森,石文星,田常青.空气调节用制冷技术 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.153-157.

7 李勇,黄启虎.基于 RBF 网络的冷却塔运行特性数学模型 [J]. 汽轮机技术,2002,44 (1):5-7.

□

会议简讯

IEST 纳米环境控制工作组

IEST (环境科学技术学会) 曾于 2005 年芝加哥秋季会议上讨论建立纳米工作组。2006 年凤凰城年会期间,新成立的四个工作组合在一起,召开了第一次会议。I-EST 新设置的 4 个工作组是:纳米技术论坛、设计与建造、装置运行、定量协议。

近 30 名专家参加了工作组会议,会议由 Hal Amick 主持。与会者包括:徐藤芳博士 (IEST 技术副主席), Chuck Berndt (IEST 副主席), Robert Mielke, Vijay (空气过滤专家, ISO/TC142-WG4 高效空气过滤器负责人), Larry Levit (静电专家, 管伟博士的导师), David Endor (Triangle 纳米中心负责人), 张陆满副教授 (普渡大学, 洁净室设计专家), Mark Gamenzind 博士 (洁净室分子污染问题专家), Charles Berndt (洁净室建设专家) 等。会上只有蔡杰一名来自美国之外的代表。

工作组任务是:准备独到的文件,用以指导个人或组织规划可控环境下的纳米技术研究与生产所需的设施。会议讨论形成了一个文件大框架,包括:确定选址、规划、设计等活动中特殊问题;建造、试运行;初运行;运行。

针对纳米技术活动提出的特殊要求,会议草拟了一份关于标准体系的《建议提纲》。

除要满足传统微电子洁净室的所有要求外,纳米实验与生产环境有些新要求,包括:对温度稳定性有苛刻要求,温度稳定性比温度水平更重要;对电源质量要求高;大量用水,对水质要求高,要求水源充足;对空气分子污染水平有更高要求。

新技术可能意味着环境风险,美国并非所有居民都欢迎新技术企业,实验室和工厂选址时还要考虑周边居民意见。

与会代表对纳米技术的前景看法不一。有人认为纳米技术将像信息技术那样成功,并建议用类似 IT 的 NT 来定义 nanotechnology;化学家不承认纳米技术,称那应属于“分子化学”;有的学者戏称 nano-magic (纳米魔法)。但大家一致认为,纳米技术确实对污染控制提出了新问题、发出了新挑战、开辟了新市场。集中了个方面环境控制专家的 IEST 应责无旁贷地面对挑战,并为纳米技术做出贡献。

(蔡杰)