# ◆专论:熏蒸剂(特约稿)◆

# 我国土壤消毒机械的研发与应用

曹坳程<sup>1</sup>,王秋霞<sup>1</sup>,颜冬冬<sup>1</sup>,方文生<sup>1</sup>,李 园<sup>1</sup>,宋兆欣<sup>1</sup>,张 毅<sup>1</sup>,张大琪<sup>1</sup>,靳 茜<sup>2</sup>,郝 征<sup>2</sup>,赵奇龙<sup>3</sup>,王桢委<sup>4</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所,北京 100193; 2. 河北省土传病害绿色防控技术创新中心,河北保定 071000; 3. 安徽春晖生态环境科技有限公司,安徽芜湖 241000; 4. 安丘市供销农业生产资料有限责任公司,山东安丘 262199)

摘要:土壤处理机械是土壤消毒的核心技术。综述了在国家重点研发计划等项目的资助下,我国突破了一系列技术瓶颈,研发了固态、液态和火焰消毒技术。土壤消毒秸杆还田一体机采用偏心结构和反旋土壤提升技术,作业深度可至40 cm土层,在相同用量下,相比手撒棉隆,草莓增产60.4%,生姜增产26.9%~53.1%。采用土壤消毒秸杆还田一体机相同构造的土壤提升技术,研发了以天然气或丁烷作为燃料的火焰消毒机,箱体温度400~600℃,持留2~3 s,处理后对土壤根结线虫防效可达到100%,对杂草的防效在86.6%以上。火焰消毒对土壤病原真菌的防效为63.2%~80.8%,研发的小型广角电喷式注射消毒机,具有左右摇摆结构,使土壤消毒机械转弯时仍能均匀施药。我国独创的这3种施药机械在山东、安徽、河北、云南等地得到了广泛的应用,取得了良好的经济效益和社会效益。

关键词: 秸秆还田一体机; 火焰消毒机; 注射消毒机; 土壤消毒; 土传病害中图分类号: S 497 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2024.01.002

#### Development and application of soil disinfestation machinery in China

CAO Aocheng<sup>1</sup>, WANG Qiuxia<sup>1</sup>, YAN Dongdong<sup>1</sup>, FANG Wensheng<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>1</sup>, SONG Zhaoxin<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>, ZHANG Daqi<sup>1</sup>, JIN Xi<sup>2</sup>, HAO Zheng<sup>2</sup>, ZHAO Qilong<sup>3</sup>, WANG Zhenwei<sup>4</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Hebei Technology Innovation Center for Green Management of Soil-borne Diseases, Hebei Baoding 071000, China; 3. Anhui Chunhui Ecological Environment Technology Co., Ltd., Anhui Wuhu 241000, China; 4. Anqiu City Supply and Marketing of Agricultural Production Materials Co., Ltd., Shandong Anqiu 262199, China)

**Abstract:** Soil treatment machinery is the core technology for soil disinfestation. With funding from projects such as the National Key R&D Program, our country had broken through a series of technical bottlenecks and developed solid, liquid and flaming disinfestation technologies. All-in-one machine with soil disinfestation and straw returning to the field was developed, which adopted eccentric structure and reverse spin soil lifting technology, solid fumigants could be evenly distributed to the 40 cm soil layer. At the same dosage, compared with hand-spreading dazomet fumigation, strawberry production increased by 60.4%, and ginger yields by 26.9% to 53.1%. Using the soil lifting technology of the all-in-one machine, a flaming disinfestation machine using natural gas or butane as fuel was developed. The temperature of the box was 400-600°C and the hold time was 2-3 s. The control effect of soil root-knot nematodes reached 100% and the control effect on weeds was more than 86.6%, the control effect of flaming disinfestation on soil pathogenic fungi ranged from 63.2% to 80.8%. The small wide angle liquid fumigants application machine was developed using an electric injection, which had a left and right swing mechanism. The machine applied fumigants evenly when turning during soil

收稿日期:2024-02-14

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0201600);海南省重点研发计划(ZDYF2022XDNY336)

作者简介:曹坳程(1963—),男,湖北麻城人,博士,研究员,主要从事土壤消毒技术研究。E-mail:caoac@vip.sina.com

disinfestation. The above three types of fumigants application machines originally invented in our country had been widely used in Shandong, Anhui, Hebei, Yunnan, and other places, and had achieved good economic and social benefits.

**Key words:** integrated straw returning all-in-one machine; flaming disinfestation machine; injection disinfestation machine; soil disinfestation; soil-borne disease

近20年来,随着农业结构调整和栽培制度的发 展,保护地和高附加值作物在我国发展迅速,目前 我国现代设施种植面积达到267万hm<sup>2[1]</sup>。保护地种 植了大量的番茄、黄瓜、茄子、辣椒等果类蔬菜以及 叶类蔬菜;草莓、生姜、山药、中草药等高附加值作 物种植面积居世界第一。保护地及高附加值作物是 增加农民收入的重要途径,高附加值作物在我国农 产品出口中占据着重要的地位,而保障这些作物的 高产、稳产和产品质量极为重要。随着保护地的发 展和高附加值作物的连年栽培,土壤中病原菌、虫 卵积累,毁灭性土传病害如枯萎病、根腐病、姜瘟病 及根结线虫病等连年发生。通常栽种3~5年后,作 物产量和品质均受到严重影响,一般减产20%~ 40%,严重的减产60%以上甚至绝收,且大豆、棉 花、小麦等大田作物的土传病害发生也很严重。我 国由于复种指数高,缺少休闲和轮作,土传病害的 发生比世界其他国家更为严重,作物产量和品质显 著下降,制约了我国保护地及高附加值作物的栽培 和可持续发展。

对于土传病害,应根据当地作物的实际情况,有针对性地提出农业、物理、生物、化学以及综合防治技术(图1)<sup>22</sup>。近年来,为了减少化学农药的使用,非化学技术防治土传病害发展迅速,抗性品种、生物熏蒸、生物防治、厌氧消毒、物理防治技术得到快速应用<sup>15-61</sup>;化学与非化学轮用技术也取得了重大进展<sup>17-81</sup>。

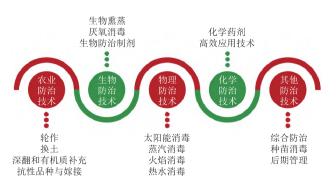


图 1 土传病害防控技术

土壤熏蒸消毒是一种高效、快速防治土传病害的技术。施药机械是高效防治土传病害的技术关键。根据熏蒸剂的特性,均匀有效地施药,最大

限度地发挥熏蒸的作用效果,并减少对环境的影响,保护施药人员健康,并降低用药成本,从而获得最大的经济效益和社会生态效益。

而我国在熏蒸剂的使用上,面临机械缺乏,施药不均匀,效率低下等问题。在国家重点研发计划、蒙特利尔议定书多边基金等项目的资助下,中国企业创新了适合我国国情的施药机械,并在应用中不断改进和完善,大幅度提高了熏蒸剂的应用效率和效果,有力推动了我国土壤消毒事业的发展和进步。

我国登记的熏蒸剂主要有氯化苦、棉隆、威百亩、异硫氰酸烯丙酯、硫酰氟。涉及到液态熏蒸剂、固态熏蒸剂和气态熏蒸剂。针对气态熏蒸剂,我国研发了分布带施药技术,并获得相关的专利。为了开发适合中国的液态和固态熏蒸剂,我国研发了适用的小型和大型机械。

# 1 秸秆还田、深耕、碎土、施药一体机

基于土壤熏蒸剂的特性、土壤消毒技术的特点和我国农业耕作的需求,我国研发了固态熏蒸剂自走式精细旋耕施药机,实现了施药、旋耕、秸秆还田、破除农田板结的一体化功能,提高了固态药剂施药的均匀性。

安徽春晖生态环境科技有限公司和中国农业 科学院植物保护研究所研发了适于棉隆等固体微 粒型药剂应用的3SJG-135型、3SJG-L135型、 3SJG-L180型系列自走式精细旋耕施药机。该设备 采用全封闭药箱和尾轮驱动、偏心旋耕轴设计,结 合高速反转的合金专用刀具和双侧液压油缸,保障 了施药量的精确性,大幅提高了药剂在土壤中分布 的均匀性和对深层土壤中病原菌的防控效果,作业 深度为30~40 cm,降低了土壤表层和次表层的土壤 硬度。粉碎后85%的土壤颗粒粒径小于2 cm,土壤疏 松度显著改善。自走式精细旋耕施药机解决了传统 施药作业过程中土壤旋耕作业层浅、药剂和土壤混 合不均匀、药效发挥差、土壤消毒不彻底等问题,实 现了秸秆还田、深耕、碎土、施药一体化功能,大幅 度提升了土壤的消毒效率、效果与稳定性。该技术 产品为国内首创,获得了国家发明专利,并主导制

订了国家行业标准。

# 1.1 土壤消毒秸秆还田一体机工作原理及 构造

土壤消毒秸秆还田一体机集成精准施药和旋耕混合作业,可精准、高效且均匀地完成棉隆等固体微粒型药剂土壤深层消毒作业。该设备由药剂储存施撒单元、机械控制单元和旋耕混合单元组成,创造性地将偏心驱动机构应用到刀辊驱动结构中,使旋耕深度达40 cm。利用刀辊上的旋耕刀在高速旋转的情况下将土壤翻起细化并抛起,同时施药装置向下施药,在封闭箱内土与药充分混合后下落,再利用拖板整平作业后的地面;通过设备的行走速度、刀辊的转速、布刀方式的变化,有效控制了土壤的颗粒度。设备采用空心地轮,调整了链轮传动比和施药箱外部形状,解决了施药量与设备行走同步的问题,实现了全程密闭施药,有效保证了作业人员的安全。

该设备的旋耕系统,通过超深旋耕保证了作物根系生长的全部区域已被充分杀虫灭菌;通过精细旋耕保证了药剂直达土壤颗粒内部,提高了药效。该模式不仅能大大加深旋耕深度,还能使药物和土壤充分混合,实现了全程密闭施药,保证了作业人员的安全。设备的作业效率可达1.33~2 hm²/d,满足了国内不同种植条件下露地、大棚等施药要求。一体机构造如图2所示。

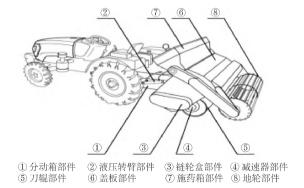


图 2 土壤消毒秸秆还田一体机结构

#### 1.2 关键技术参数

施药机作业后95%以上土壤颗粒粒径小于2 cm,设备最大耕深可达25 cm,加上虚土层达40 cm, 土壤表面平整度不超过±7 cm。

机械施药后,药剂可均匀分布于0~40 cm的土壤中,分布性的相对标准偏差为13.7%,对深层土壤中病原菌的防效在90%以上。

传统手撒施药模式下,因旋耕机翻土深度受限

及混土不均等问题,棉隆主要集中在0~20 cm深度 土层,20~40 cm几乎没有药剂,从而导致该深度土 层病原菌防控效果不理想。

该设备采用全封闭药箱和尾轮驱动、偏心旋耕轴设计,结合高速反转的合金专用刀具和双侧液压油缸,保证了施药量的精确性。

相关技术参数如下:①最大行走速度为520 m/h,施药量为20~70 kg/h。②经粉碎后,85%的土壤颗粒直径小于1 cm,混合均匀度变异系数小于17%。③在单位面积施用药物量固定的情况下,保持旋耕深度不变(如30 cm),机器的行进速度不影响每平方米的施药量,且处理后的每层土层(0~10、10~20、20~30 cm)中药剂含量无显著性差异。④保持机器行进速度不变,处理后的土层中药剂含量与旋耕深度呈负相关,表明当药剂量一定时,混合土壤越多,混合后其药剂含量越低。

### 1.3 施药量及施药均匀性

对不同土质进行多组测试,保持耕作速度、耕深不变,且送药机构保持最大施药量状态,施药量及施药均匀性测试结果如图3所示。



a 施药

b施药均匀性

图 3 施药量及施药均匀性实地测试

测试后对土地切剖面,利用高清摄像系统拍摄 出截面图,再利用Image Magick进行色相分析,得到 白色(棉隆药剂)在深色土壤中的色相占比,并将同 一土质测得的色相占比进行比较,结果见表1,表中 耕作长度均为100 m。

表 1 不同土质施药量及施药均匀性测试结果

土质	实际施药量/kg	推算单位施药量/(kg/hm²)	色相占比差/%
沙土	9.15	677.85	10.9
黏土	9.07	671.85	12.1
板土	9.13	676.35	14.3

通过对施药机的实地测试得出,实际作业时, 施药量与理论推算施药量最多相差约3%;之后对最 小施药状态进行测试,均与理论推算值相差不大。

通过以上一系列测试可知,施药机已达到相对稳定的状态,通过安徽省农业机械试验鉴定站鉴定,符合Q/CH001—2020《自走式精细旋耕施药机》

的规定,目前已批量投产。

# 1.4 异硫氰酸甲酯均匀性测定

通过测定施用棉隆产生的活性成分异硫氰酸 甲酯(MITC) 在土壤中的均匀性,可以评判自走式 精细旋耕机的施药效果門。安徽省、山西省、河北省等 地棉隆熏蒸试验均表明,自走式精细旋耕机施药后, 药剂均匀分布在深度为0~40 cm的土层,气态及土 壤存留的活性成分MITC质量分数分别为1.46~ 3.36、18.67~26.03 μg/g, 且各深度土层间无显著差 异;棉隆手撒施药后,无论气态或土壤存留的MITC 均主要集中在深度为0~10 cm的土层,20~40 cm土 层的气体及土壤中均未检测到MITC;提高棉隆用 量,手撒施药模式下不能增加20~40 cm土层的 MITC浓度,但0~10 cm及机施模式下0~40 cm各土 层MITC浓度均显著增加。病原物防效结果表明,机 施模式下,0~40 cm各土层镰刀菌属及疫霉菌属减 退率为90%~100%,手撒施药模式下表层土壤(0~ 10 cm) 疫霉菌属和镰刀菌属减退率为90%~100%, 但20~40 cm土层病原物减退率低于43%<sup>[9]</sup>。

相比传统手撒施药模式,新型土壤消毒一体机可大幅提高棉隆在不同深度土层分布的均匀性,同时显著提高对深层土壤(20~40 cm)病原物的防控效果。而手撒施药模式下,因翻土深度受限及混土不均等问题,棉隆主要集中在0~20 cm土层,20~40 cm几乎没有药剂,从而导致20~40 cm土层中镰

刀菌属及疫霉菌属防控效果不理想(病原菌减退率小于43%。深层土壤中未被杀灭的病原物成为引起下茬作物土传病害发生的重要病原物来源,因此手撒施药模式下逃逸的病原物将是潜在的重大危害因子。棉隆机施模式下,20~40 cm土层中镰刀菌属及疫霉菌属减退率高达90%,表明新型消毒一体机在深度为20~40 cm时可将棉隆与土壤充分混匀,以减少深层土壤中的镰刀菌及疫霉菌,防止作物生长期病原物的暴发。

#### 1.5 应用效果

2020—2021年分别在河北省和山东省进行一体机应用效果评价试验。在河北满城县段王村和李佐村进行草莓示范试验,棉隆用量为40 g/m²。生姜示范试验分别于2020年和2021年在山东省安丘市石堆镇、临浯镇进行,棉隆用量均为67.5 g/m²。安丘市石堆镇示范区面积0.33 hm²,机械施药0.13 hm²,传统手撒棉隆施药旋耕0.13 hm²。试验结果分别见表2和表3。

表 2 一体机与手撒施用棉隆草莓产量对比

处理	平均产量/(kg/ hm²)	增产/%
一体机	28 509.0 a	60.4
手撒	17 775.0 b	
对照	12 631.5 c	

注:同列中相同小写字母表示采用LSD测验在5%显著水平差异不显著,下同。

表 3 一体机与手撒施用棉隆生姜产量对比

土壤处理	石堆镇		上華日田	临浯镇	
工	平均产量/(kg/ hm²)	增产/%	- 土壤处理 -	平均产量/(kg/ hm²)	增产/%
一体机	145 507.5 a	26.9	一体机	172 456.5 a	53.1
手撒	114 660.0 b		手撒	112 630.5 b	
5年轮作	34 504.5 c		空自对照	0 c	

# 1.6 推广应用

土壤消毒秸秆还田一体机已在番茄、黄瓜、茄子、辣椒、草莓、甜瓜、生姜、烟草、花卉、中药材等作物上使用,均表现出良好的除草、防病、增产效果,显著降低了病虫草的危害和生长期施药次数。现已生产400余台,累计作业规模约0.4万hm²。

# 2 自走式精旋土壤火焰消毒机

土壤火焰消毒是一项新的物理防治技术,基于 高温火焰消毒技术和土壤提升技术,我国创新研制 出自走式精旋土壤火焰消毒机(简称"火焰消毒 机"),使用过程无有害残留,处理后可立刻种植农 作物,解决了无农闲作物或有机农业连作障碍等问题,实现了土壤病虫害的绿色防控<sup>[10-11]</sup>。

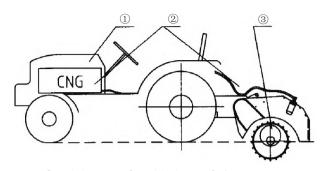
### 2.1 工作原理及构造

火焰消毒机由动力牵引、土壤粉碎和高温处理部分组成,整机结构如图4所示。

#### 2.1.1 动力牵引部分

根据对土壤高温灭菌杀虫的最佳处理效果,动力牵引机最佳行走速度为2.5~3.0 m/min。据此,在四轮拖拉机的基础上进行改进和创新,研发出达到多项要求的动力牵引机。该动力牵引机较改造前:①高度降低,以满足大棚作业的需要;②速度降低,满足在1次土壤加热过程中最大限度地灭菌杀虫;

③轮胎加宽,尽可能减少对土壤的压力。



① 动力牵引部分;② 土壤粉碎部分;③ 高温处理部分

图 4 火焰消毒机结构

#### 2.1.2 土壤粉碎装置

火焰消毒机中的精细旋耕装置是利用升降液 压泵提取表层以下30~50 cm的土壤。将提取的土 壤(含大小不同的块状)进行高转速精细粉碎,从而 达到土壤高温高效处理的效果。

# 2.1.3 高温处理装置

火焰消毒机的核心部分是土壤高温处理装置。该装置由并排设计的多头喷火管、压力储气罐、燃气供气管路和高温处理箱组成,对提取并绞碎的土壤在机体(箱)内进行高温(喷火口温度可达1 200℃)喷火加热(2~3 s),机体(箱)的温度为400~600℃,土壤落地温度为50~70℃。而后土壤被送出高温处理机体,原位落地,完成整个处理过程,随即进行下一个循环。

# 2.1.4 遥控操作系统和自动作业系统

由于设备作业处理过程比较缓慢,并且在环境相对密闭的大棚中进行,为了减少作业人员的劳动强度,在设备作业人工操作的基础上,开发遥控操作系统和自动作业系统。利用该遥控操作系统可以在10 m的距离内对机器下达运行、行走和加热等命令,机器会自动作业;在总电源开启后,自动作业系统可以执行用户事先设定好的程序,完成土壤灭菌杀虫作业。

# 2.2 工作关键参数

火焰消毒机的技术原理是采用火焰消毒技术,利用生物体内的蛋白质在高温下发生不可逆变性的原理,使细胞和机体死亡,达到灭菌杀虫的目的。其工作过程是将深度30~50 cm有病虫害及农药残留的土壤提取到设备机体进行粉碎,并送入高温箱体内由软件控制温度进行瞬间高温灭菌杀虫。

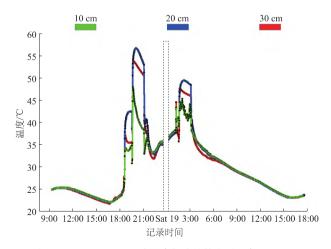
安徽春晖生态环境科技有限公司自主设计研发了3SHJG-135型、3SHJG-L180型火焰消毒机,采

用反转刀辊精细旋耕深取土与火焰高温处理相结 合,优化火焰燃烧区气流场分布,通过提高碎土率、 延长高温火焰与土壤接触的时间等措施,强化土壤 消毒杀菌效果。通过液压机械的方式由旋耕滚筒将 土壤深度精细旋耕,并计提到机器高温箱体中进行 瞬间高温灭菌杀虫,再将处理后的土壤原位还原到 地面。动力牵引机行走速度控制在2.5~3.0 m/min, 满足瞬时高温处理土壤的需求;取土深度0~30 cm, 土壤在高温箱体中的温度为400~600℃,处理时间 为2~3 s, 日处理面积0.20~0.33 hm², 天然气用量 2 250~3 000 m³/hm²。消毒机喷射的火焰温度瞬间 可达1300℃,短期内可使土壤升温到45~60℃并维 持15~30 min,从而达到杀虫、杀菌、除草的效果。经 过该设备处理后对土壤根结线虫的防效可达100%, 对杂草的防效在86.6%以上。火焰消毒1次处理后对 土壤病原真菌的防效在63.2%以上,2次处理后防效 在74.4%以上。该技术的优点是不用覆盖塑料布,无 残留,无地域限制,可降解土壤中残存有机农药,消 毒后可立刻种植农作物,解决了无农闲作物连作障 碍问题。该产品为国际首创,获得了国家发明专利, 并主导制订了国家行业标准。

## 2.3 火焰消毒机应用的温度变化

火焰消毒机喷射出的火焰温度瞬间可达 1 200℃,短期内可使土壤升温到45~70℃并维持 15~30 min,从而达到杀虫、杀菌、除草的效果。

由图5结果可见,在夏季高温季节,采用火焰消毒处理后,20~30 cm土层,50℃土温持续超过1 h。通常50℃、30 min能有效杀灭土壤中的根结线虫<sup>[12]</sup>。因此,火焰消毒机对深土层的根结线虫有良好的防治效果。



注:10 cm、20 cm、30 cm为温度探头处的土层深度。

图 5 2020 年山西新绛县土壤消毒现场温度记录结果

# 2.4 火焰高温消毒技术应用效果评估

火焰高温消毒防治线虫、病原菌及杂草的效果 见表4~表6,SFD1表示火焰消毒机1遍处理,SFD2 表示火焰消毒机2遍处理,表4中线虫总数和根结线 虫数的数量单位为每100g土壤中的个数。

从表4可以看出,相比空白对照处理,火焰消毒处理1次和2次均能显著减少线虫总数和根结线虫的数量。SFD1和SFD2对总线虫的防效分别是98.7%和100%,对根结线虫的防效分别是100%和100%(P=0.05)。

表 4 火焰消毒处理对土壤中线虫数量的影响

大棚编号	处理	线虫总数		根结线虫	
		数量/个	防效/%	数量/个	防效/%
	SFD 1	0 b	100	0 b	100
1号	SFD 2	0 b	100	0 b	100
	空白对照	185 a		30 a	
2号	SFD 1	5 b	97.3	0 b	100
	SFD 2	0 c	100	0 b	100
	空白对照	188 a		12.5 a	

注:线虫数量为100g土中数量。

从表5可以看出,相比空白对照处理,火焰消毒处理1次和2次均能显著减少镰刀菌属和疫霉菌属的数量(P=0.05)。SFD1和SFD2对镰刀菌属的平均防效分别为63.2%和74.4%,对疫霉菌属的平均防效分别是69.2%和80.8%。

表 5 火焰消毒处理对土壤中病原菌数量的影响

大棚编号	处理	镰刀菌属		疫霉菌属	
		菌落/ (CFU/g)	防效/%	菌落/ (CFU/g)	防效/%
1号	SFD 1	230 b	66.7	405 b	63.3
	SFD 2	180 c	73.8	300 c	72.3
	空白对照	688 a		1 103 a	
2号	SFD 1	180 b	59.7	30 b	75.0
	SFD 2	112 c	74.9	13 c	89.2
	空白对照	447 a		120 a	

从表6可以看出,相比空白对照处理,火焰消毒处理1次和2次都能显著减少禾本科杂草和阔叶杂草的数量(*P*=0.05)。SFD1和SFD2对禾本科杂草的防效分别是87.8%和93.9%,对阔叶杂草的防效分别是91.3%和96.4%。

火焰消毒后对作物生长及产量的影响见表7。 由表7可以看出,相比空白对照处理,火焰消毒 处理1次和2次都能显著增加植株的株高(P=0.05), 但对植株茎粗没有显著影响。火焰消毒处理显著减少根结指数,增加产量。

表 6 火焰消毒处理对杂草数量的影响

大棚编号	处理	禾本科杂草		阔叶杂草	
		数量/ (株/cm²)	防效/%	数量/ (株/cm²)	防效/%
1号	SFD 1	2 b	86.6	3 b	91.4
	SFD 2	1 b	93.3	1 b	97.1
	空白对照	15 a		35 a	
2号	SFD 1	2 b	88.9	4 b	91.1
	SFD 2	1 b	94.4	2 b	95.6
	空白对照	18 a		45 a	

表 7 火焰消毒处理对植株株高、茎粗、根结指数及产量的影响

大棚 编号	处理	株高/ cm	茎粗/ cm	根结指数	产量/ (kg/m²)
	SFD1	114.6 a	0.88 a	22.3	5.07
1号	SFD2	115.6 a	0.87 a		
	空白对照	96.3 b	0.67 b	90.3	3.28
	SFD1	57.4 a	0.91 a		
2号	SFD2	65.1 a	1.03 a		
	空白对照	44.7 b	0.88 b		

# 2.5 试验结论

采用火焰消毒处理后,黄瓜大棚和辣椒大棚作物产量显著增加,土壤中的病原线虫、镰刀菌和疫霉菌数量,以及禾本科杂草和阔叶杂草数量减少,降低了作物根结指数,且火焰消毒2次处理比1次处理的效果更好。

# 3 小型广角电喷式注射消毒机

小型广角电喷式注射消毒机是安丘市供销农业生产资料有限责任公司为了适应作业窗口期短、小农户分散而设计的一款小型注射消毒机。该消毒机具有设计简单、不易堵塞、易于维护、作业效率高的特点。

## 3.1 工作原理及构造

小型广角电喷式注射消毒机以大功率直流电源作为喷药泵的动力,连续给药,药物分布均匀;采用变档移位装置,在承载轮不变位的情况下,移动施药泵,使施药导管变位,对地边棚角准确施药,以确保土壤熏蒸面积全覆盖。该消毒机的施药系统主要由药桶、电动泵、注射刀和输液管组成(见图6)。使用双轮接地承重并行走,主体架构有前桥连接

动力机,中间为承载药桶架,后有电动控制盒,内装电池和控流泵,下设空心双刀。施药过程采用直流电池为动力,带动输液泵,通过输液管,从药桶经过注射刀施入土壤。注射刀深度为15~25 cm,根据不同需要,使用调节旋钮调整深度;根据农作物生产技术的要求确定药量,通过电泵控制旋钮控制药液输送量,配合动力机械行走速度,达到要求用药量。行走部分通过机械牵引支架与拖拉机进行连接,用拖拉机动力带动广角电喷式注射消毒机行走。

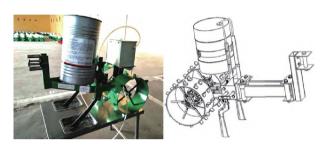


图 6 小型广角电喷式注射消毒机

小型广角电喷式注射消毒机还设计了变档移位装置(图7),可将施药腿左右偏移30°,在承载轮不变位的情况下,移动施药泵,使施药腿及导管进行变位,对边角地段进行熏蒸,确保小型温室土壤熏蒸面积全覆盖。而传统土壤注射施药机为驱动轮旋转1周带动喷药泵喷药液1次,施药导管无法在土地边角运动,不能对地边棚角进行施药。

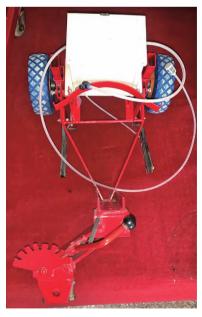


图 7 小型广角电喷式注射消毒机变档移位装置

3.2 小型广角电喷式注射消毒机应用 广角电喷式注射消毒机可以施用威百亩、二甲 基二硫、氯化苦等液体熏蒸剂(图8)。



图 8 小型广角电喷式注射消毒机田间示范应用

小型广角电喷式注射消毒机已应用在山东潍坊、威海、济宁、枣庄、烟台等地的生姜、大蒜、大葱、马铃薯、西洋参,湖南邵阳百合,云南文山三七等作物上,推广应用3600台,示范推广应用面积2.31万hm²。

#### 4 展望

我国土壤消毒机械起步较晚,但由于市场强劲的需求,近年发展很快。我国地形复杂,要求的土壤 熏蒸消毒机械多样。因此,需要研发和引进适合当 地土壤消毒的机械。

在国家重点研发计划的资助下,北京捷西农业科技有限责任公司根据平原大面积土壤消毒的需要,研发了氯化苦注射覆膜一体机、棉隆撒施机。北京农林科学院和安丘市供销农业生产资料有限责任公司研发了棉隆混土施药机<sup>[3]</sup>。

最近,海南渊源农业科技有限公司研发了高效的棉隆施药机(图9),在其基地防治中药材郁金土传病害中进行了大面积应用,展现出高效、施药均匀的特点,2024年已施用棉隆200 hm²。



图 9 海南渊源农业科技有限公司研发的棉降混土施药机

此外,南京农业机械化研究所还研发了射频消毒机,开创了土壤消毒机械的新时代[13-14]。

(下转第22页)

- replant disease[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 113: 71-79.
- [30] WANG Q, MA Y, YANG H, et al. Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper Phytophthora blight [J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2014, 30(2): 507-518.
- [31] PARTHIPAN B, MAHADEVAN A. Effects of methylisocyanate on soil microflora and the biochemical activity of soils[J]. Environmental Pollution, 1995, 87(3): 283-287.
- [32] EO J, PARK K C. Effects of dazomet on soil organisms and recolonisation of fumigated soil[J]. Pedobiologia, 2014, 57(3): 147-154.
- [33] YAKABE L, PARKER S, KLUEPFEL D. Effect of pre-plant soil fumigants on *Agrobacterium tumefaciens*, pythiaceous species, and subsequent soil recolonization by *A. tumefaciens*[J]. Crop Protection, 2010, 29(6): 583-590.
- [34] LIU X, CHENG X, WANG H, et al. Effect of fumigation with 1,3-dichloropropene on soil bacterial communities[J]. Chemosphere, 2015, 139: 379-385.
- [35] FANG W, YAN D, WANG Q, et al. Changes in the abundance and community composition of different nitrogen cycling groups in response to fumigation with 1,3-dichloropropene[J]. Science of the Total Environment, 2019, 650: 44-55.
- [36] ILIEVA Z, LAZAROVA T, MITEV A, et al. Monitoring of

- long-lasting effects of fumigation with dimethyl disulfide (DMDS) on root-gall index, root-knots, other nematode populations, and crop yield over three protected cucumber crops in bulgaria [J]. Agronomy, 2021, 11(6): 1206.
- [37] PAPAZLATANI C, ROUSIDOU C, KATSOULA A, et al. Assessment of the impact of the fumigant dimethyl disulfide on the dynamics of major fungal plant pathogens in greenhouse soils [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 146(2): 391-400.
- [38] LI W, REN L, LI Q, et al. Evaluation of ethylicin as a potential soil fumigant in commercial tomato production in China[J]. Science of the Total Environment, 2022, 854: 158520.
- [39] FANG W, YAN D, HUANG B, et al. Biochemical pathways used by microorganisms to produce nitrous oxide emissions from soils fumigated with dimethyl disulfide or allyl isothiocyanate[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2019, 132: 1-13.
- [40] FANG W, YAN D, WANG X, et al. Responses of nitrogen-cycling microorganisms to dazomet fumigation[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 2529.
- [41] FANG W, HUANG B, SUN Y, et al. Soil amendments promoting nitrifying bacteria recovery faster than the denitrifying bacteria at post soil fumigation[J]. Science of the Total Environment, 2023, 908: 168041.

(编辑: 胡新宇)

### (上接第14页)

#### 参考文献

- [1] 常钦. 目前全国现代设施种植面积达到4 000万亩: 发展设施农业丰富食物供给[EB/OL]. (2023-08-05). [2024-02-14]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202308/content 6897358.htm.
- [2] 曹坳程, 张大琪, 方文生, 等. 土传病害防治技术进展及面临的挑战[J]. 植物保护, 2023, 49(5): 260-269.
- [3] 曹坳程, 方文生, 李园, 等. 我国土壤熏蒸消毒60年回顾[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 325-335.
- [4] 曹坳程, 刘晓漫, 郭美霞, 等. 作物土传病害的危害及防治技术[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 6-16.
- [5] PIZANO M, PORTER I. 2018 Report of the methyl bromide technical options committee[R]. Nairobi: UNEP, 2018.
- [6] PIZANO M. PORTER I. 2022 Report of the methyl bromide technical options committee[R]. Nairobi: UNEP, 2022.
- [7] ZHANG D Q, CHENG H Y, HAO B Q, et al. Fresh chicken manure fumigation reduces the inhibition time of chloropicrin on soil bacteria and fungi and increases beneficial microorganisms [J]. Environmental Pollution, 2021, 286: 117460.

- [8] ZHANG D Q, YAN D D, FANG W S, et al. Chloropicrin alternated with biofumigation increases crop yield and modifies soil bacterial and fungal communities in strawberry production[J]. Science of the Total Environment, 2019, 675: 615-622.
- [9] 方文生, 曹坳程, 王秋霞, 等. 新型土壤消毒一体机提高棉隆土壤 分布均匀性[J]. 中国农业科学, 2021, 54(12): 2570-2580.
- [10] MAO L G, WANG Q X, YAN D D, et al. Flame soil disinfestation: a novel, promsing, non-chemical method to control soilborne nematodes, fungal and bacterial pathogens in China[J]. Crop Protection, 2016, 83: 90-94.
- [11] WANG X N, CAO A C, YAN D D, et al. Evaluation of soil flame disinfestation (SFD) for controlling weeds, nematodes and fungi[J]. Journal of Integrateive Agriculture, 2019, 18: 2-10.
- [12] 曹坳程, GONZÁLEZ J A. 中国甲基溴土壤消毒替代技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 172-176.
- [13] 张学进, 金永奎, 张玲, 等. 土壤射频消毒技术试验 [J]. 江苏农业 科学, 2018, 46(23): 274-277.
- [14] 杨风波, 张玲, 金永奎, 等. 射频制热技术应用现状及土壤射频消毒展望[J]. 农业工程学报, 2020, 36(8): 299-309.

(编辑:胡新宇)