

基于自动化移动管槽的叶菜栽培技术^{*}

冀泽宇, 秦宇婷, 晏 迪, 王东杰, 张 晶, 刘 雪, 李树山, 李新旭, 王利利^{**}
(北京翠湖农业科技有限公司, 北京 100094)

摘要:针对传统叶菜栽培模式生产效率低、资源浪费大等问题, 该文介绍了一种应用自动化移动管槽 (MGS) 设备进行叶菜栽培的技术。该技术通过动态调节叶菜栽培管道, 实现了单位面积产量的提升与温室空间的高效利用, 其封闭式水肥循环系统极大地节约了水资源并保障了产品安全。该文进一步从生菜的品种选择、播种育苗、移栽定植、水肥环控管理及病虫害防治和采收储藏环节阐述了 MGS 叶菜栽培技术的全程高效管理。

关键词:叶菜; 智能温室; 自动化移动管槽; 栽培技术

中图分类号: S233.74

随着现代化农业进程的加速推进及居民高质量生活水平的持续升级, 蔬菜的消费需求在居民日常生活与多个行业领域中持续攀升, 我国已成为全球主要的蔬菜生产国与消费国之一^[1]。蔬菜产业在保障食品安全、促进农业经济发展及推动乡村振兴中发挥着不可替代的作用^[2]。然而当前我国蔬菜的生产仍以传统栽培模式为主导, 普遍存在生产效率低、劳动强度偏大、资源利用不充分等问题, 严重制约了蔬菜产业向高质量、集约化方向的可持续发展^[3]。水培叶菜作为现代化设施蔬菜生产的核心典范, 凭借标准化、可控化的生产优势, 为蔬菜产业转型提供了有效路径^[4]。当前针对中国南北方气候差异显著的地域特征, 已衍生出多种适应性强的水培模式, 包括深层液体水培技术 (Deep Flow Technique, DFT)、营养液膜技术 (Nutrient Film Technique, NFT) 和动态根浮技术 (Dynamic Root Floating Technique, DRFT)^[5-7]。此类现代化水培技术不仅能够突破季节限制实现周年连续生产, 更在提升作物产量与品质、降低劳动力投入成本、提高资源利用效率等方面展现出优势, 为推动国内蔬菜产业高质量发展提供了重要技术支撑^[8]。

本文介绍的自动化移动管槽 (Moving Gutter System, MGS) 栽培技术是一项具有代表性的自动化移动管槽叶菜栽培技术, 该技术在保留 NFT 营养液循环利用等优点的同时, 通过引入可移动的管槽系统, 实现了从静态生产到动态立体生产的革命性提升, 极大地提高了空间利用率和单位面积产量, 同时兼具精准的环境控制与水肥管理, 因此, 既适合在智能温室或植物工厂中进行规模化生产, 也

能因其灵活的模块化设计, 在都市农业、垂直农场等非传统农业区域实施, 有效满足从商业化规模生产到家庭种植的多元化需求。

1 智能温室及 MGS 栽培系统

本次叶菜栽培试验在位于北京市海淀区翠湖农业科技有限公司 1200 m² 文洛式智能玻璃温室中进行, 该温室采用多连跨小屋顶结构设计, 有效增加光照入射并减少结构阴影。屋顶覆盖材料为散射玻璃, 透射率可达 90% 以上, 有利于光线的均匀分布。温室内配备了一套完整的自动化环境调控系统, 遮阳与保温系统由顶部双层幕布与侧墙幕布组成; 降温与增湿系统通过顶开窗与高压喷雾装置协同工作; 加热系统由地面加热管道与侧墙加热轨道共同构成, 以确保冬季温度均匀; 顶部环流风机可促进室内空气流动, 保证室内各处气候环境一致。

温室的环境控制依托于一套集成的传感器与执行系统。室外气象站实时监测包括日出日落时间、光照、温度、湿度、风速在内的多种气象参数。室内传感器可检测室内温度、湿度以及 CO₂ 含量等环境数据。所有数据实时传输至远程控制系统, 系统根据预设的作物生长模型与环境阈值, 自动调控环控设备, 从而将温室环境维持在作物生长的最适区间, 为试验的精确性提供了保障。叶菜 MGS 栽培系统配备有营养液循环系统、精准灌溉系统、施肥机制肥系统、栽培管道行距调节系统、自动化栽培管道消毒转运系统、RO 水制备系统 (图 1)。

1.1 营养液循环系统

营养液循环系统由储液池、回液池和紫外线消毒 (UV 消毒) 设备共同构成一个可独立调控的封闭回路。储液池最大储水量 40 m³, 回液池最大储水量 20 m³, 池内表面均做了防水处理, 每个池子底部分别安装有 1 台 4 kW 的抽水泵及液位传感器, 控制系统可根据实时液位数据, 动态调节池内液位。系统启动灌溉时, 储液池内营养液通过水泵输送至灌溉系统, 完成灌溉后携带余液汇入回液池, 当储液池内液位低于预设阈值时, 回液池内营养液被泵入 UV 消毒设备进行消毒处理后重新回到储液池, 达到营养液的持续净化与循环利用。

1.2 精准灌溉系统

为实现叶菜全生育期精准水肥供应, 每个栽培床均配有 3 个

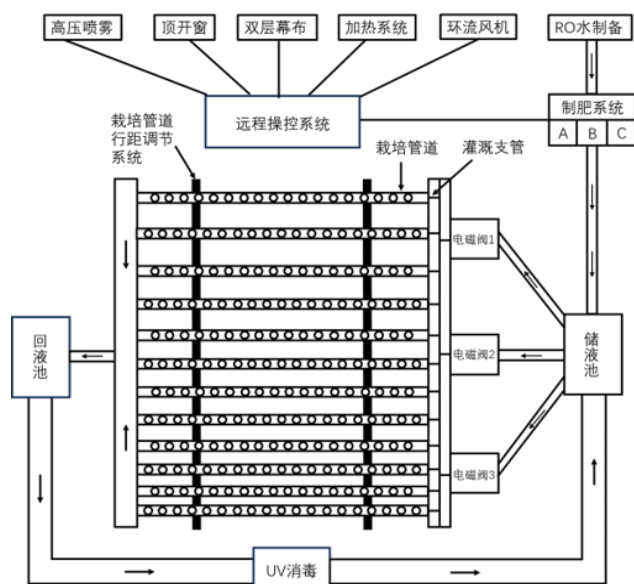


图1 MGS 叶菜栽培系统及配套设施

独立控制电磁阀，针对叶菜不同生长阶段的水分与养分需求进行分区调控，栽培床上铺设有多根灌溉支管，每根支管配备有压力补偿器和灌溉滴头并对应一根栽培管道，确保同一电磁阀控制下各植株的灌溉量均匀一致。远程控制系统综合光照累计辐射量与设定时间阈值，自动执行灌溉指令，通过控制电磁阀的启闭，精准满足叶菜全生育期的水肥需求。

1.3 施肥机制肥系统

施肥机制肥系统包括A、B、C三个母液罐和1套制肥设备。将含有不同营养元素的固体复合肥料配制成浓缩液并分别储存于三个母液罐中。通过远程控制系统设定目标营养液的电导率和酸

碱度参数并下发制肥策略，施肥机按比例抽取三种母液进行精准稀释混合，最终将满足设定标准的营养液输送至储液池，以供灌溉循环使用。

1.4 栽培管道行距调节系统

每个叶菜栽培床下面配备有一套精密的传动系统（图2）。将叶菜栽培管道卡在传动系统的定位拨齿上，系统控制拨齿进行往复运动，可将叶菜栽培管道按特定间距推送，实现植物不同生长发育阶段自动调节生长密度的功能，保障叶菜的最佳生长空间，实现栽培面积的高效利用。

1.5 自动化栽培管道消毒转运系统

位于栽培床下部的清洗设备，通过传送带将使用后的栽培管道依次输送至封闭清洗区。该区域设备通过高压喷淋系统，结合消毒液对管道内外进行彻底冲洗，以有效清除残留的青苔、植物残体等杂质，并完成消毒流程。栽培床上部的管道转运设备，可将完成清洗消毒的多根栽培管道，自动从清洗区批量转运至栽培区以便重新布设。该闭环设计减少了人工干预，在提升作业效率的同时，确保了栽培管道的快速循环与重复使用（图3～图4）。

1.6 RO水制备系统

由于叶菜栽培对水分需求高且敏感，因此需要对水质进行严格把控。RO水制备系统通过反渗透技术制备高纯度水，能够有效过滤除掉原水中的大量杂质，包括悬浮颗粒、细菌、病毒、藻类，重金属离子及有机污染物等，并添加阻垢剂和调整水质酸碱度，保证水质不会堵塞灌溉管道，避免因水质问题对作物生长产生胁迫（图5）。



图2 栽培管道行距调节设备



图3 栽培管道运输设备



图4 栽培管道清洗设备



图5 RO水制备系统

2 栽培技术

2.1 品种选择

通过前期发芽率和环境适应性试验,筛选出‘富兰德里’(奶油生菜)、“塔西托”(罗马生菜)、“吉米诺”(橡叶生菜)、“斑比”(宝石生菜)4个表现优良的叶菜品种,均由瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司提供。

2.2 播种育苗

采用50孔专用育苗盘及规格为40 mm × 60 mm的叶菜专用基质块进行育苗(图6)。首先将基质块置于育苗盘中,使用育苗专用水溶性肥料配制电导率(EC)为1.0 mS/cm、pH值为5.8的浸泡液,对基质块进行充分浸泡与膨胀处理。随后采用精量播种器将种子点播于基质块中心,播种深度统一控制在1.5 cm,确保每块基质仅播种一粒种子。播种完成后详细记录各育苗盘的播种时间与对应品种信息,并将其移入人工气候催芽室。催芽室环境设定为温度25℃、相对湿度85%左右,直至种子萌发^[6]。

2.3 移栽定植

当叶菜幼苗生长至3叶1心期时,移栽定植于温室的栽培管道中^[9]。定植时基质块底部垂直于栽培管道放置,确保每个定植孔内放置一棵幼苗。在定植过程中需按品种及幼苗大小进行分级处理,避免混栽,以利于统一管理并提升叶菜成品的外观整齐度与商品率(图7)。

2.4 水肥环控管理

为满足叶菜生长对环境条件的需求,需根据外界和温室内的气候动态调整环控设备,当气温较高、光照较强时,系统通过开启顶窗加强通风,展开遮阳幕布减弱光强,并启动高压喷雾装置进行降温;在气温较低、光照不足时,则启动加热系统增温,收拢幕布以增强保温,并启用补光灯补充光照。确保白天温度维持在25~28℃,夜间温度保持在20~23℃,空气相对湿度控制在60%~80%,每日累计光照不低于6~8 h^[10]。



图6 叶菜播种育苗



图7 叶菜移栽定植



图8 叶菜采收区

为满足叶菜全生育期对养分的均衡需求,避免不同营养元素在浓缩状态下发生拮抗或沉淀,采用A、B、C三个母液罐组合配置叶菜的肥料配方,其中A罐每200 L溶液中含有硝酸铵钙20 kg、硝酸钾1 kg、氯化钾1 kg、DTPA铁710 g;B罐每200 L溶液中含有硝酸钾10 kg、磷酸二氢钾7 kg、硫酸镁2 kg、硝酸镁4 kg、硼砂80 g、EDTA锰220 g、硫酸锌6 g、硫酸铜0.6 g、钼酸钠4 g;C罐为pH值调节母液,每200 L含氢氧化钾1 kg。设置叶菜不同时期所需营养液的EC值和pH值,施肥机根据设定值将浓缩液按比例稀释之后置于储液池进行灌溉。每日定时对营养液进行检测,并结合植株长势动态调整母液配比与用量。储液池内营养液每月整体更换1次,以维持成分配比稳定。

2.5 病虫害防治措施

叶菜生产过程中,针对菜蚜、烟粉虱、潜叶蝇等害虫,主要采用以物理和生物防治为核心的综合防控策略。温室内均匀悬挂黄色和蓝色粘虫板,放置害虫诱捕器和补虫灯,定期释放丽蚜小蜂与烟盲蝽等生物天敌寄生和捕食害虫。温室通风窗及人员出入口安装防虫网与防虫门帘隔绝外来虫源^[11]。及时清理生产过程中的老叶、黄化叶、病害叶及感染植株。所有工作人员及访客需要穿戴防护服并进行严格的消毒处理方可进入生产区域。温室内外环境保证每日进行一次全面的消毒处理。

2.6 采收储藏

结合当前市场需求和各叶菜品种的采收标准及时进行采收(图8)。奶油生菜单株重量达到0.25~0.35 kg,罗马生菜单株重量为0.20~0.35 kg,宝石生菜单株重量为0.30~0.40 kg,橡叶生菜单株重量为0.20~0.30 kg。采收应选择清晨低温时段进行。采收时保留根托,延长贮藏期和新鲜度。采收后摘除植株基部的老叶、黄化叶与损伤叶,整理摆放于带透气孔的专用保鲜框内,转运至0~5℃、相对湿度90%~95%的环境中储藏,并避开与其他水果混放,防止加速品质劣变^[12]。

3 栽培优势及经济效益

MGS叶菜栽培模式相较于传统叶菜栽培模式具有显著优势。传统露地或日光温室叶菜栽培密度仅为 $20 \sim 30$ 棵/ m^2 ,而MGS叶菜栽培模式的栽培密度可达到 $50 \sim 60$ 棵/ m^2 ,空间利用率高达80%,单位面积产量较传统模式提升约70%。该模式通过对幼苗进行分级管理及全程精准水肥供给,可将叶菜产品商品率提升至95%以上,且依托智能温室的环境调控能力,MGS叶菜栽培模式能够实现周年连续生产,每年可种植 $10 \sim 12$ 茬,打破了传统栽培模式受季节因素限制仅能种植 $3 \sim 4$ 茬的瓶颈,大幅提升了设施利用效率。目前,传统栽培的普通叶菜市场售价为 $3 \sim 5$ 元/kg,而采用MGS技术生产的高品质无公害叶菜,在高端销售渠道的售价可达 $8 \sim 12$ 元/kg,若采用带根托包装销售,单棵售价可达到6元,扣除各项生产成本(水费 3.5 万元/ hm^2 、肥料费用 26 万元/ hm^2 、种子费用 18 万元/ hm^2 、基质块费用 45 万元/ hm^2 、燃气及电能消耗费用 90 万元/ hm^2 、人工费用 40 万元/ hm^2 、植保费用 6 万元/ hm^2 、管理费用 8 万元/ hm^2 、其他费用 2 万元/ hm^2)后,该模式下叶菜年收益利润可达 150 万元/ hm^2 左右。此外,MGS叶菜栽培模式还可依托其智能化、标准化的生产场景,开展观光农旅采摘等延伸活动,进一步提高设施场地的综合利用率,拓宽盈利渠道,提升整体综合效益。

4 结语

本文主要未来MGS叶菜栽培模式将朝着智能化、模块化与城市农业深度融合的方向发展,通过AI与物联网技术实现全程精准调控,并更广泛地应用于垂直农场等城市空间,构建高效的食物供应链。同时针对一些特殊的蔬菜类作物,例如矮生的番茄和辣椒以及小型的根茎类作物也可尝试匹配相应的MGS栽培模式,为其生产提供一种全新的工厂化路径。

参考文献

- [1] 陈明均,贺坦.全球蔬菜产业发展现状[J].中国果菜,2025,45(5):1-8.
- [2] 周杰,夏晓剑,胡璋健,等.“十三五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J].中国蔬菜,2021,(10):20-34.
- [3] 张丽英,熊敏,张雅青.我国蔬菜产业发展现状与机遇[J].农业与技术,2024,44(15):161-163.
- [4] 马义东,齐翀,金鑫,等.水培叶菜智能化收获技术装备发展现状[J].现代农业装备,2025,46(6):1-8.
- [5] 李蔚,滕云飞,雷喜红,等.深液流水培(DFT)生菜高效栽培技术[J].农业工程技术,2018,38(28):20-22.

- [6] 廖晨,彭晓云,谢亮,等.植物工厂营养液膜技术管道水培生菜高效栽培及采后处理技术[J].肥料与健康,2021,48(6):27-31.
- [7] 张超,徐丹,刘康妮,等.连栋玻璃温室 NFT 水培生菜栽培技术[J].农业工程技术,2022,42(10):12-15.
- [8] 纪献停.水培技术在叶菜类作物生产中的应用与质量评价[J].当代农机,2024,(3):68-69.
- [9] 王坐京,王志勇,高冠英,等.生菜、小青菜、小白菜深液流水培周年高效栽培技术[J].蔬菜,2024,(11):71-75.
- [10] 王虹,周强,丁小涛.植物工厂叶菜类蔬菜高效栽培技术研究[J].上海蔬菜,2021,(6):18-20.
- [11] 朱琳.设施栽培条件下叶菜类高产高效生产关键技术解析[J].新农民,2025,(8):71-73.
- [12] 刘玉军,徐桂燕,王英,等.贮藏温度对叶菜类蔬菜采后品质的影响[J].中国果菜,2021,41(3):1-6.

*** 项目支持:**北京市智能温室蔬菜创新团队项目(BAIC12-2026);北京市乡村振兴农业科技项目(NY2501010026)。

作者简介:冀泽宇,硕士,主要从事设施蔬菜栽培技术的研究。

**** 通信作者:**王利利,博士,高级农艺师,主要从事设施蔬菜栽培研究。

[引用信息]冀泽宇,秦宇婷,晏迪,等.基于自动化移动管槽的叶菜栽培技术[J].农业工程技术,2026,46(18):46-49.

