

分体式蔬菜育苗基质装穴机设计与试验

羊军¹ 刘影¹ 李智国¹ 张海娟² 周永科³

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西安市农机监理与推广总站, 西安 710065;
3. 杨凌天河机械制造有限公司, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对我国中小型育苗工厂育苗机械化程度低、不同批次标准化难控制、缺少芽苗播种辅助机械等问题, 设计了一台轻简化分体式蔬菜育苗基质装穴机, 主要包含 5 部分: 搅拌机构、出料机构、穴盘传送系统、刮平机构与控制系统; 试验结果显示其能够依次完成基质的加药预湿搅拌、出料、装穴以及穴盘基质刮平等工序, 以及数字化显示预湿基质的温湿度、pH 值和电导率(EC); 当出料口直径为 34 mm、双螺旋布料辊转速为 80 r/min、输送带运送速度为 0.44 m/s 时, 基质装穴合格率最高, 达到 99.05%, 此时装盘效率为 300 盘/h; 所选传感器可数字化显示搅拌后基质的温度、湿度、pH 值 EC 值, 便于大批量标准化工厂育苗。

关键词: 蔬菜; 工厂化育苗; 基质搅拌; 穴盘装填

中图分类号: S233.74 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2025)04-0224-07

OSID:



Design and Experiment of Split-type Substrate Filling Machine for Vegetable Plug-tray Seedling

YANG Jun¹ LIU Ying¹ LI Zhiguo¹ ZHANG Haijuan² ZHOU Yongke³

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
2. Xi'an Agricultural Machinery Supervision and Extension General Station, Xi'an 710065, China
3. Yangling Tianhe Machinery Co., Ltd., Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Due to the low mechanization and standardization level of the vegetable seedling and the lack of germinated-seed assisted planting machine in the small and medium-sized seedling factory of China, a simple split-type substrate filling machine for factory vegetable plug-tray seedling was developed. It mainly included five parts: stirring sub-system, discharge sub-system, tray transmission sub-system, screeding sub-system and control sub-system. The test results showed that it can successively finish the pre-wetting stirring, discharging, plug-tray filling and scraping on the plug-tray, and further digitally display the temperature and humidity, pH and EC values of the pre-wetting seedling nursing substrate. When the diameter of the hole in the bottom of the discharge port was 34 mm, the rotation speed of the double helical substrate-distributing roller was 80 r/min, and the moving speed of the conveyor belt was 0.44 m/s, the machine had the best performance in the plug-tray filling, reaching 99.05%. At this time, the filling efficiency was 300 plug trays/h, and the selected sensor can digitally show the temperature, humidity, pH and EC values of the substrate so that large quantities of standardized factory seedlings can be achieved.

Key words: vegetable; factory seedling; substrate stirring; plug-tray filling

0 引言

我国蔬菜年育苗量超 6 800 亿株, 其中穴盘育苗占总育苗量 2/3^[1]。育苗工厂育苗时常常将基

质、水与药混合后进行预湿搅拌、穴盘装填和种子/芽苗播种^[2]。该过程因人工作业, 存在劳动强度大、工作效率低、人工成本高、不同批次基质理化特性差异大等问题。

收稿日期: 2024-02-17 修回日期: 2024-04-02

基金项目: 杨凌示范区种子孵化项目(2022-JSCY-05)

作者简介: 羊军(1998—), 男, 硕士生, 主要从事蔬菜育苗机械研究, E-mail: yangjun122298@163.com

通信作者: 李智国(1984—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事小型实用农机研究, E-mail: lizhiguo0821@163.com

王福义^[3]研制了一款卧式双螺旋绞龙基质搅拌机,具有结构可靠等优点,但搅拌效率较低;赵文峰等^[4]研制的卧式基质搅拌机,能实现多种基质原料的充分搅拌;LIU等^[5]设计的4轴叶片式营养土搅拌机,通过对搅拌机的仿真模拟,发现它适用于多种粘性颗粒的搅拌;同时牛祥永等^[6]研制的新型基质搅拌机,具有不破坏基质内部结构的优点;霍彦霖等^[7]结合配方育秧土的特点指出了未来配方育秧土搅拌机的发展方向。而SHAMRA等^[8]采用旋转辊式基质出料机构作为育苗系统的穴盘填料机构,研究发现,其旋转辊的倾斜角度对苗株直立百分比有显著性影响;于海青^[9]利用伸缩齿为水稻种子覆土,解决了湿土黏附问题;鲁卫晓等^[10]利用凸轮槽机构进行基质填料,提高了出料量精确度;高原源等^[11]利用角链覆土设备对种子进行覆土,具有高效的优点,但无法用于基质装穴;渠聚鑫等^[12]研制的林业育苗专用带传动式穴盘基质装填机,具有稳定性高且易于推广等优点;谢方平等^[13]研制了一款机械气动式自动分盘流水线,利用带传动式基质装盘机构进行穴盘基质装填。

综上所述,国内外现有研究在卧式、立式基质搅拌机以及旋转辊式和带传动式穴盘基质装填设备研制方面取得了一定进展^[3-12],但其主要适用于大型现代化育苗企业。而我国大部分育苗企业采用普通日光温室进行育苗^[14],属于中小型育苗工厂,利润偏低,适用机械短缺。此外,冬春低温时大部分蔬菜采用催芽穴盘育苗,面向芽苗穴盘播种的轻简化育苗机械较少,且现有设备功能较为单一,易出现工序脱节;国内基质生产流程不标准,产出初始基质理化指标不恒定,且尚未有基质搅拌机能够实时显示搅拌基质的理化参数:温湿度、EC值、pH值,不能为不同批次搅拌的育苗基质参数调节提供数据依据,进而影响育苗工厂某一订单的商品苗整齐度。为此,本文改进设计一种轻简化分体式蔬菜育苗基质装穴机。

1 基质装穴机整机结构与工作原理

1.1 基质装穴机整机结构

该蔬菜育苗基质装穴机如图1所示,主要包含5部分:搅拌机构、出料机构、穴盘传送系统与刮平机构,依次完成基质的加药预湿搅拌、出料、装穴以及穴盘基质刮平等工序。其尺寸(长×宽×高)为2.5 m×1.1 m×1.5 m。

1.2 工作原理

工作前,穴盘传送系统的输送带左端放置一个72孔穴盘后运行通过刮平机构,调整刮平机构毛刷



图1 基质装穴机结构图

Fig.1 Substrate filling machine on plug-tray

1.72孔穴盘 2.搅拌机构 3.控制箱 4.出料机构 5.穴盘传送系统 6.刮平机构

高度确保其工作时毛刷底面与穴盘顶面能够相切。工作时,首先,在控制箱上启动整机电源开关和搅拌电机电源开关,而后将基质加入搅拌箱体内部。其次,打开水箱阀门开关向基质表面喷洒水药混合液,确保基质与水药混合液体积比为12:1,而后关闭水源阀门开关,由搅拌机构对基质进行充分均匀搅拌(显示屏上基质湿度值长时间保持恒定);同时在显示屏上观察由土壤监测传感器(型号:LT-CG-S/D-001-M1120-12,龙洲物联网有限公司)测定的基质温湿度、pH值以及EC值。启动出料电机开关与穴盘传送电机开关。然后,当人工放置于输送带左端的穴盘移动到出料机构下方时,打开出料插销开关,搅拌后的基质从箱体出料口流向双螺旋布料辊分料,而后经出料机构底部圆孔装入穴盘,穴盘随输送带通过刮平机构刮走其上部多余基质;最后,人工将装满基质的穴盘收集用于芽苗穴盘播种。

2 关键机构设计

2.1 搅拌机构设计与分析

搅拌机构剖面图如图2a所示,主要由水箱、搅拌箱体、搅拌叶片与搅拌电机等组成。采用立式搅拌结构,搅拌叶片逆时针旋转实现基质搅拌,该搅拌方式不仅能实现基质快速均匀搅拌,也能在出料时为基质提供恒定离心力,保证基质稳定均匀输出。其中,搅拌箱体容积520 L,填充系数0.6^[15],满足工厂化单次搅拌300 L基质的要求;搅拌减速电机的额定功率3 kW、额定转速60 r/min,该电机能够为基质搅拌过程以及出料过程提供足够的驱动力。搅拌电机与搅拌叶片之间通过1:1的锥齿轮箱以及搅拌轴实现动力传递。浇水量通过水箱刻度线进行定量控制。传感器各引脚沿搅拌箱体垂直周向布控,保证各引脚均能够实时与不同基质进行接触。

2.1.1 基质搅拌叶片设计与转速计算

搅拌叶片厚度为10 mm,远端边缘处焊接有矩

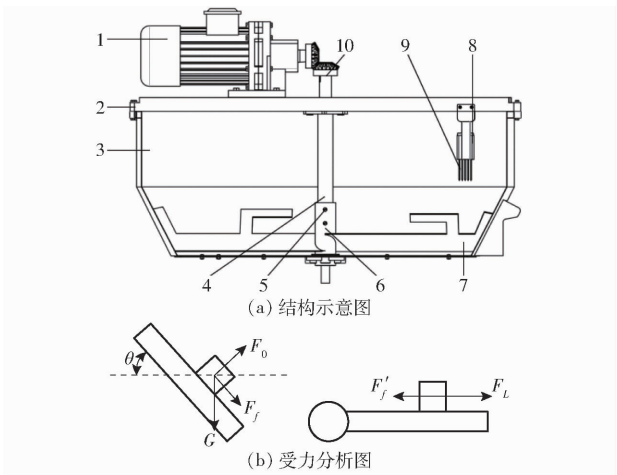


图 2 搅拌机构系统
Fig. 2 Stirring mechatronics sub-system

1. 搅拌电机 2. 电机支撑架 3. 搅拌箱体 4. 动力传动轴
5. 紧固螺栓 6. 轴套 7. 搅拌叶片 8. 传感器固定套 9. 土壤传感器 10. 锥齿轮组

形刮料板,搅拌工作时可将箱体内壁黏附基质刮落。此外,左右搅拌叶片中间焊接有增强叶片,有助于提高基质搅拌效率。同时,基质在被搅拌过程中主要受到搅拌叶片的推移、碰撞及摩擦等多种力共同作用,发生上抛运动、周线运动以及离心运动等^[16]。要想达到比较理想的搅拌效果,搅拌叶片的转速 n 应该控制在一个合理的范围内,即 $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$ ^[6]。基质被充分搅拌后,出料过程中在搅拌叶片带动下,基质受到自身离心力的作用可实现从搅拌箱体出料口稳定出料。其中

$$n_{\min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g(\sin\theta - \lambda \cos\theta)}{d(\sin\theta - \lambda \cos\theta)}} \quad (1)$$

$$n_{\max} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g(\sin\theta + \lambda \cos\theta)}{d(\sin\theta - \lambda \cos\theta)}} \quad (2)$$

式中 d ——搅拌叶片直径,取 0.85 m
 λ ——基质与搅拌机构摩擦因数,取 0.40^[16]
 θ ——倾斜角度,取 45°^[6]
 g ——重力加速度,取 9.80 m/s²

计算可得, $N_{\min} \approx 45.88$ r/min, $N_{\max} \approx 70.08$ r/min, 均值约为 58 r/min,通过公式计算以及减速器 50:1 减速比综合考虑,本文设计搅拌叶片转速为 60 r/min。

2.1.2 基质搅拌电机功率计算

在对基质搅拌时搅拌电机需要为搅拌叶片提供充足动力,因此通过公式^[15]

$$P = Kv \quad (3)$$

式中 P ——搅拌电机功率
 v ——搅拌机生产率,取 1.4 t/h
 K ——功率系数,取 2^[15]

计算出基质搅拌过程所需功率为 2.8 kW,因此本文取搅拌电机功率为 3 kW。

2.1.3 搅拌叶片上基质单元受力分析

搅拌叶片上基质单元受力分析如图 2b、2c 所示。图中 F_0 为搅拌叶片对基质的驱动力, N ; G 为物料重力, N ; F_f 为基质所受摩擦力, N ; F_L 为基质所受离心力, N ; F'_f 为基质所受轴向摩擦力, N 。由图可得,在强制搅拌叶片的带动下,育苗基质运动受到多种力共同作用,其中包括受到搅拌叶片剪切力、基质自身重力与斜向摩擦力合力产生的上抛运动、周线运动,同时在叶片离心力和切向摩擦力的合力作用下,基质亦产生了一个由轴心向外的离心运动。同时,通过公式^[17]

$$F_L = m\omega^2 R_1 \quad (4)$$

$$V_L = \omega R_1 \quad (5)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (6)$$

式中 m ——基质质量, kg
 ω ——搅拌叶片角速度, rad/s
 R_1 ——搅拌叶片旋转半径, m
 V_L ——基质离心速度, m/s

计算得到基质离心速度为 2.67 m/s,搅拌机构不仅能实现基质快速充分搅拌,还能在出料过程中为基质提供离心速度,保证基质顺利从搅拌箱体出口流出。

2.2 出料机构设计

出料机构结构如图 3 所示,主要由双螺旋布料辊、布料箱、出料口、出料电机等组成。工作原理:搅拌后基质流向布料箱中部,而后双螺旋布料辊旋转将基质向布料箱两侧均匀输送布料,最后经多孔出料口装入穴盘的每个小穴。布料辊为两侧对称的双螺旋结构(图 3b),便于均匀布料。此外,由于基质中存在木质纤维等成分,在出料口处容易挂料致使出料口堵塞,因此将双螺旋布料辊最低线与布料箱内底面间距设计为 2 mm,确保双螺旋布料辊布料时可对出料口进行不间断疏通,保证具有纤维的基质不会堵塞出料孔。同时基于 72 孔穴盘每列有 12 个穴孔,在布料箱底面设计 12 个圆形出料孔^[18]为基质出料口(图 3c),一个出料口对应一个穴孔,保证基质能对应落入并填满穴孔,提高装穴合格率。

2.2.1 基质输送基本条件

双螺旋布料辊的基质输送布料能力对基质出料装穴过程起着决定作用。图 4 为左侧螺旋布料辊上基质单元受力图,布料辊绕 Ozy 平面的顺时针方向旋转,基质通过螺旋布料辊的水平挤压作用使基质由点 O 向 x 轴正向运动;同理,右侧布料辊将基质由点 O 向 x 轴负方向分布运动。单元基质主要受到以下 3 种力的影响:沿着双螺旋布料辊切线方向的静摩擦力 F 、垂直于双螺旋布料辊表面的支承力

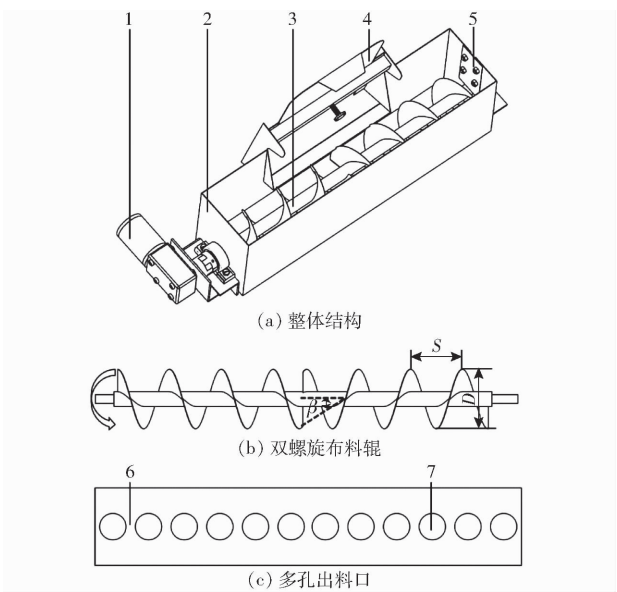


图 3 出料机构结构示意图

Fig. 3 Schematics of discharge sub-system

1. 出料电机 2. 布料箱 3. 双螺旋布料辊 4. 出料插销开关
5. 拆卸板 6. 布料箱底板 7. 基质出料口

N 以及周围基质对其挤压力和重力的合力 G , 合力 G 与双螺旋布料辊切线方向的夹角为 β , 若夹角过大, 物料会受到一个 z 轴正方向的合力, 使基质进行圆周上抛运动, 基质无法在双螺旋布料辊带动下实现稳定的单向运动, 造成能量浪费。

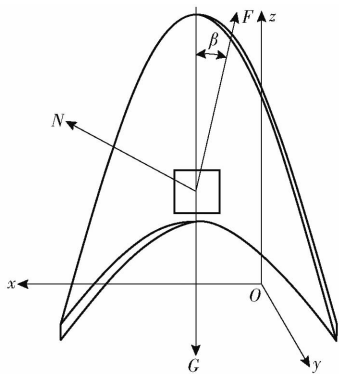


图 4 基质单元在螺旋辊叶片上受力分析

Fig. 4 Schematic of force balance of substrate unit on a leaf of screw roller

基质单元在双螺旋布料辊上的力学平衡方程为^[19]

$$N = G \sin \beta \quad (7)$$

$$F = N \tan \psi \quad (8)$$

$$G \cos \beta > F \quad (9)$$

$$\beta < \frac{\pi}{2} - \psi \quad (10)$$

$$\beta = \pi/4 - \psi/2 \quad (11)$$

式中 ψ ——基质与螺旋布料辊之间的摩擦角, 取 21.8° ^[16]

为了完成设定运动, G 沿着螺旋布料辊切线方

向的分力必须大于其摩擦力。因此依据公式 (9)、(10)^[19] 计算得到 $\beta < 68.2^\circ$ 。

同时, 当螺旋布料辊上的基质轴向速度达到最大值时, 初始加速度为最大, 基质运转速度最大, 螺旋布料辊的布料能力也达到最大^[19]。当出料箱体内部的双螺旋布料辊在理论上满足公式 (11) 时, 可以实现最大布料能力, 计算得到螺旋布料辊的最佳偏角约为 34.1° 。

2.2.2 双螺旋布料辊叶片直径与螺距计算分析

双螺旋布料辊叶片直径与螺距是影响其布料能力的重要参数^[19]。考虑到育苗工厂效率需要装 300 盘/h (1.4 t/h), 因此, 通过公式^[19]

$$D = K_1 \sqrt[2.5]{Q_L / (\varepsilon \rho C)} \quad (12)$$

式中 D ——螺旋直径, m

Q_L ——输送效率, 取 1.8 t/h

K_1 ——物料综合特性系数, 取 0.041 5^[20]

C ——倾角系数, 倾角为 0° , 取 1.0

ε ——布料槽充盈系数, 取 0.6

ρ ——基质密度, 取 440 kg/m^3 ^[16]

计算得到布料辊叶片直径 $D = 89 \text{ mm}$ 。为了方便加工, 取 $D = 90 \text{ mm}$ 作为螺旋布料辊的设计直径。

螺旋叶片的螺距直接影响物料布料过程^[19], 因此, 双螺旋布料辊应当选取合适的螺距。一般实心叶片螺距 $S = 0.8D$ ^[19], 计算得螺旋叶片的螺距 $S = 72 \text{ mm}$ 。为了方便加工, 取螺距 S 为 70 mm。通过软件 Digimizer (v5.4.4, 美达软件有限公司) 测量当螺旋叶片直径为 90 mm、螺距为 70 mm 时螺旋布料辊在其轴叶片交界处的螺旋偏角 β 为 34.07° , 与最佳角度 34.1° 的误差系数低于 1%, 满足布料能力最强条件, 因此选取双螺旋布料辊螺距 $S = 70 \text{ mm}$ 。

2.2.3 双螺旋布料辊驱动功率计算及电机选型

双螺旋布料辊的驱动功率是克服物料输送过程中各种阻力所消耗的能量。通过公式^[19]

$$P_0 = k \frac{Q_L (u_0 L_h + H)}{367} \quad (13)$$

$$P_h = k \frac{P_0}{\tau} \quad (14)$$

式中 P_0 ——螺杆轴所需功率, kW

k ——动力转换系数, 取 1.4^[19]

u_0 ——物料阻力系数, 取 2.5^[19]

P_h ——电动机驱动功率, kW

L_h ——螺杆工作长度的水平投影长度, 取 0.54 m

H ——螺旋工作长度垂直投影长度, 取 0

τ ——驱动装置总传动效率, 取 0.9^[19]

计算得布料辊驱动电机功率为 14 W, 因此选择额定

功率为 24 W 的直流电机作为螺旋布料辊驱动电机,为双螺旋布料辊提供足够的布料驱动力。

2.3 刮平机构设计与分析

刮平机构结构如图 5 所示,主要由支架、毛刷刮板、横梁、升降丝杠、直线轴承、导向板等组成。其主要作用是将穴盘上表面多余基质刮掉,同时对少数边缘不合格穴孔进行基质补充。升降丝杠可拖动刮平毛刷上下运动,确保工作时刮平毛刷的底面与穴盘的上表面相切起到刮平作用。经多次预试验确定毛刷刮板的 V 形角度为 80°,高度为 19 cm 时刮平效果最佳。刮平机构支架内壁贴合安装两块导向板,能使毛刷刮板底面与输送带之间保持平行,提高工作稳定性。

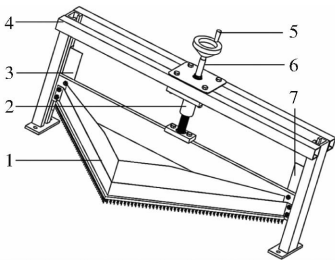


图 5 刮平机构结构示意图

Fig. 5 Structure diagram of screeding sub-system

1. 毛刷刮板 2. 直线轴承 3. 导向板 4. 支架 5. 手摇轮 6. 升降丝杠 7. 导向板

2.4 控制系统设计

控制系统原理如图 6 所示,主要包括搅拌电机开关、出料电机开关、穴盘传送系统开关、调速器以及基质参数监测传感器等。作用是控制基质装穴机的搅拌、出料、装盘等工序有序运行,同时实现对搅拌中基质的温湿度、pH 值、EC 值实时显示,方便人工及时调整,确保不同批次基质的理化指标恒定。

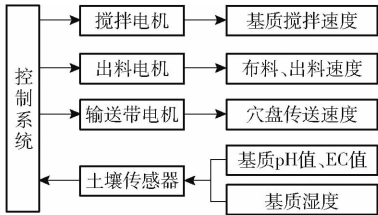


图 6 控制系统原理图

Fig. 6 Schematic of control sub-system

3 整机性能验证试验

3.1 材料

为验证本文设计的基质装穴机工作性能与可靠性以及确定关键部件的最佳工作参数,进行了整机性能试验。试验时间为 2023 年 9 月 15—28 日,平均温度 23.3℃,空气平均相对湿度 58.4%;试验地点为杨凌天河机械制造有限公司的加工中心(东经

108°04′10″,北纬 34°17′32″)。育苗基质采用陕西杨凌霖科生态工程有限公司生产的育苗基质(草炭与蛭石的体积比为 2:1)。每袋育苗基质体积为 50 L,执行标准为 LY/T 1970—2011,pH 值处于 5.0~7.8 之间,含水率小于等于 35%,通气孔隙度大于等于 20%。试验中育苗穴盘选用 72 孔(6 行×12 列)、尺寸(长×宽×高)为 54 cm×27 cm×5 cm,单个穴孔的基质容量约为 40 mL。

3.2 试验方案设计

为获得设备的最佳工作性能参数,采用全面试验方法(表 1),选取影响基质装穴效果的 3 个主要因素,双螺旋布料辊转速、出料机构出料口直径和输送带运送速度,进行 64(4×4×4)组试验。螺旋布料辊转速含 4 个水平:40、60、80、100 r/min^[19];同时经过多次预试验发现当出料口直径处于 32~35 mm,以及穴盘传送系统的输送带速度在 0.40~0.46 m/s 范围时基质装盘合格率处于较高水平,因此,出料口直径水平设置为:32、33、34、35 mm^[18];输送带速度水平设置为:0.40、0.42、0.44、0.46 m/s^[14]。

试验步骤如下:首先,调节刮平机构毛刷刮板最低端与输送带上表面距离为 5 cm;其次,接通整机电源后将 300 L 基质加入搅拌箱体内部进行搅拌;然后,打开水箱阀门,当水流量计达到预设数值 25 L,关闭水箱阀门,由搅拌机构对基质进行充分预湿搅拌;然后,人工在穴盘传送系统左端放置穴盘,当预湿基质参数稳定在要求理化指标范围内,进行出料与穴盘输送;然后,当穴盘运输到出料机构正下方,打开出料插销装穴;最后,刮平机构将穴盘上表面的多余基质刮平,人工收集装满基质的穴盘。

试验后,记录每个穴盘的不合格穴数 w ,即空穴以及没填满基质的单穴总数(图 7),进而计算每个穴盘的基质装穴合格率

$$W = \frac{72 - w}{72} \times 100\%$$
 (15)

式中 W ——基质装穴合格率, %

每 10 个穴盘为一组试验求平均值作为本次试验的平均合格率。

3.3 统计分析

使用 SAS 9.2 软件分析数据,进行穴盘装穴合格率的变异系数计算。同时以基质装穴合格率为因变量,以出料口直径、双螺旋布料辊转速以及输送带运送速度为自变量进行多元方差分析。

当穴盘传送系统输送带速度在 0.42~0.44 m/s 范围内时,出料机构出料量与穴盘需料量处于相对平衡状态,即刮平机构的刮平毛刷前部不会堆积大量

表 1 试验方案与结果

Tab.1 Design and results of experiments

出料口直 径/cm	布料辊转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	输送带速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	装穴合格 率/%	变异系数/ %	出料口直 径/cm	布料辊转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	输送带速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	装穴合格 率/%	变异系数/ %
32	40	0.40	67.14	3.74	34	40	0.40	77.78	8.92
		0.42	76.39	5.76			0.42	87.50	1.91
		0.44	77.78	2.59			0.44	90.28	1.99
		0.46	70.83	3.85			0.46	87.50	2.25
	60	0.40	73.61	2.97		60	0.40	83.33	3.05
		0.42	79.17	3.29			0.42	87.50	1.34
		0.44	81.94	2.62			0.44	91.67	2.61
		0.46	77.78	2.37			0.46	87.50	2.79
	80	0.40	75.00	2.98		80	0.40	95.83	4.27
		0.42	79.17	3.08			0.42	98.17	2.34
		0.44	83.33	4.30			0.44	99.05	1.67
		0.46	75.12	2.08			0.46	97.34	1.37
	100	0.40	72.22	4.58		100	0.40	93.06	11.4
		0.42	77.78	8.99			0.42	94.44	1.20
		0.44	79.17	2.70			0.44	95.83	3.35
		0.46	69.44	3.37			0.46	90.28	9.38
33	40	0.40	75.00	3.81	35	40	0.40	75.00	1.74
		0.42	80.56	2.41			0.42	77.78	1.85
		0.44	86.11	2.45			0.44	84.72	1.83
		0.46	77.78	4.91			0.46	77.78	2.14
	60	0.40	77.98	4.18		60	0.40	77.78	2.09
		0.42	88.89	1.71			0.42	81.94	3.17
		0.44	80.56	3.86			0.44	86.11	2.66
		0.46	77.78	5.18			0.46	96.54	4.58
	80	0.40	84.72	3.69		80	0.40	87.50	3.04
		0.42	87.50	2.41			0.42	94.44	2.79
		0.44	90.28	4.01			0.44	88.89	4.24
		0.46	84.72	2.83			0.46	87.50	4.89
	100	0.40	83.33	5.09		100	0.40	84.72	3.14
		0.42	88.89	1.45			0.42	88.89	3.25
		0.44	86.11	0.87			0.44	86.11	4.53
		0.46	79.17	2.51			0.46	69.44	2.19

基质,且刮平后穴盘内部不会存在空穴或半穴的情况(图 7),此时基质装穴机的穴盘装填合格率最高;当输送带速度低于 0.42 m/s 时,出料机构出料量大于穴盘需料量,导致刮平毛刷前部堆积大量基质且刮平机构无法将基质全部装入穴盘内部;而当输送带速度高于 0.44 m/s 时,出料机构出料量小于穴盘需料量,穴盘两侧空穴没有基质可被装入,导致存在大量空穴或半穴的情况,装穴合格率降低。

当出料口直径为 34 mm、螺旋布料辊转速为 80 r/min、输送带运送速度为 0.44 m/s 时,基质装穴合格率最高,为 99.05%(表 1);同时在此最优工作参数组合下,变异系数为 1.67%,设备的工作可靠性较高,能够最大程度满足工厂化蔬菜育苗播种育苗对基质搅拌装穴的生产要求。

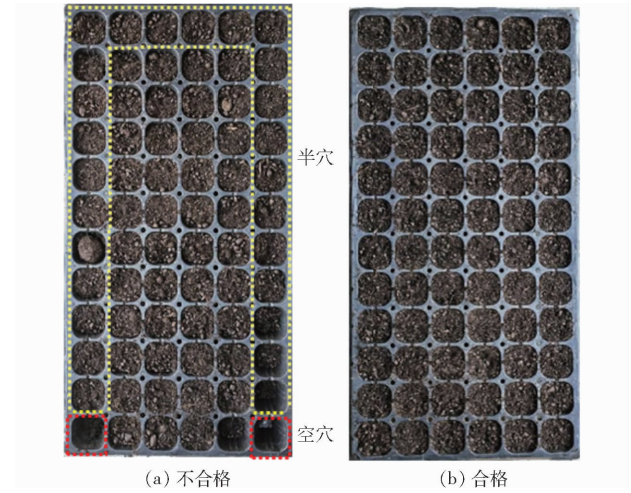


图 7 穴盘装填效果

Fig.7 Plug tray filling result

多元方差分析结果表明:出料口直径和双螺旋

布料辊转速对基质装穴合格率有显著性影响($P < 0.05$)(表2),但输送带运送速度对基质装穴合格率无显著影响($P > 0.05$)。不显著原因可能是输送带的运送速度处于一个合理范围,能够保证出料机构出料量与穴盘基质需料量基本一致,对基质装穴合格率没有产生较大影响。

表2 方差分析
Tab.2 Analysis of variance

因素	自由度	Ⅲ型平方和	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
出料口直径	3	1 825.70	608.57	26.73	<0.000 1
布料辊转速	3	604.41	201.47	8.85	<0.000 1

在基质装穴机的最优工作参数组合下,试验计算得出其工作效率为300盘/h,搅拌后温度、湿度、

pH值以及EC值分别为(22.4 ± 0.4)℃、(50 ± 0.3)%、 5.73 ± 0.06 、(0.79 ± 0.01) mS/cm。

4 结论

(1)设计了一台轻简化分体式蔬菜育苗基质装穴机,其主要包含5部分:搅拌机构、出料机构、穴盘传送系统、刮平机构与控制系统,试验结果显示其能够依次完成基质的加药预湿搅拌、出料、装穴以及穴盘基质刮平等工序。

(2)试验发现,当出料口直径为34 mm,双螺旋布料辊转速为80 r/min、输送带运送速度为0.44 m/s时,基质装穴合格率最大,达到99.05%,此时装盘效率为300盘/h,搅拌后基质的温度、湿度、pH值以及EC值能够正常数字化显示。

参 考 文 献

[1] 韩吉书,宋甲斌,李中华,等.穴盘育苗新技术应用与新设备开发[J].农业工程技术,2019,39(31):13-17.
HAN Jishu, SONG Jiabin, LI Zhonghua, et al. Application of new technology and development of new equipment for plug seedling[J]. Agricultural Engineering Technology, 2019,39(31):13-17. (in Chinese)

[2] 郭孟报,杨明金,刘斌,等.我国蔬菜育苗产业现状及发展动态[J].农机化研究,2015,37(1):250-253.
GUO Mengbao, YANG Mingjin, LIU Bin, et al. Present situation and development trend of vegetable seedling industry in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015,37(1):250-253. (in Chinese)

[3] 王福义.水稻育苗秧盘土混合搅拌机设计及验算[J].农业科技与装备,2017(11):45-51.
WANG Fuyi. Design and checking calculation of rice seedling tray soil mixing mixer[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2017(11):45-51. (in Chinese)

[4] 赵文峰,孙玉娟,袁修坤,等.育苗基质搅拌机结构特点分析[J].河北农机,2018(4):35-36.

[5] LIU J, BA0 M, ZHANG F, et al. Mixing simulation of cohesive particles in a soil mixer[J]. Powder Technology, 2022, 399: 117218.

[6] 牛祥永,汪超,林康,等.育苗基质搅拌机的研制[J].机电工程技术,2022,51(2):51-55.
NIU Xiangyong, WANG Chao, LIN Kang, et al. Development of seedling substrate mixer[J]. Electromechanical Engineering Technology, 2022,51(2):51-55. (in Chinese)

[7] 霍彦霖,郑鑫,赫景旭,等.配方育秧土搅拌机设计参数分析研究综述[J].农机化研究,2023,45(2):263-268.
HUO Yanlin, ZHENG Xin, HE Jingxu, et al. Summary of research on design parameters of formula seedling soil mixer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023,45(2):263-268. (in Chinese)

[8] SHARMA A, KHAR S. Design and development of a vegetable plug seedling transplanting mechanism for a semi-automatic transplanter[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 326: 112773.

[9] 于海青.2BDS-1800型水稻育苗播种覆土机技术研究[J].农业科技与装备,2010(2):65-71.
YU Haiqing. 2BDS-1800 type rice seedling sowing machine technology research[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2010(2):65-71. (in Chinese)

[10] 鲁卫晓,张祖立,王君玲,等.凸轮式基质填料装置的设计[J].农机化研究,2012,34(9):139-142.
LU Weixiao, ZHANG Zuli, WANG Junling, et al. Design of cam-type substrate packing device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012,34(9):139-142. (in Chinese)

[11] 高原源,王秀,冯青春,等.穴盘育苗基质覆土装置的设计与试验[J].农机化研究,2018,40(5):98-104.
GAO Yuanyuan, WANG Xiu, FENG Qingchun, et al. Design and experiment of soil covering device for plug seedling substrate[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018,40(5):98-104. (in Chinese)

[12] 渠聚鑫,郭克君,汤晶宇,等.林业育苗穴盘基质装填机结构设计[J].农机化研究,2013,35(5):88-91.
QU Juxin, GUO Kejun, TANG Jingyu, et al. Structural design of plug matrix loader for forestry seedling[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013,35(5):88-91. (in Chinese)

[13] 谢方平,杨靖,符志勇,等.2BP-2000型水稻育秧播种机分盘装置设计与试验[J].农业工程学报,2024,40(3):26-36.
XIE Fangping, YANG Jing, FU Zhiyong, et al. 2BP-2000 type rice seedling planter plate device design and test[J]. Transactions of the CSAE, 2024, 40(3):26-36. (in Chinese)

[23] 王纪章,王涛,付益辉,等. 数字孪生技术在农业生产管控中的应用现状与展望[J]. 农业机械学报,2024,55(9):1-20.
WANG Jizhang, WANG Tao, FU Yihui, et al. Application status and development prospects of digital twin technology in agricultural production process control[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2024,55(9):1-20. (in Chinese)

[24] 张春龙,李德程,张顺路,等. 基于激光测距的三坐标联动割胶装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2019,50(3):121-127.
ZHANG Chunlong, LI Decheng, ZHANG Shunlu, et al. Design and test of three-coordinate linkage natural rubber tapping device based on laser ranging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019,50(3):121-127. (in Chinese)

[25] ZHANG S, ZHANG C, ZHANG J, et al. Design and experiment of suspension-typed rubber tapping device[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2018, 27: 110-118.

[26] 张春龙,盛希宇,张顺路,等. 天然橡胶机械化采收锯切功耗影响因素试验[J]. 农业工程学报,2018,34(17):32-37.
ZHANG Chunlong, SHENG Xiyu, ZHANG Shunlu, et al. Experiment of influence factors on sawing power consumption for natural rubber mechanical tapping[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(17): 32-37. (in Chinese)

[27] 温翔宇,洪苑妹,熊建明,等. 固定式天然橡胶自动割胶机设计与试验[J]. 农业机械学报,2023,54(增刊2):128-135.
WEN Xiangyu, HONG Yuanmei, XIONG Jianming, et al. Design and experiment of fixed automatic natural rubber tapping machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2023,54(Supp.2):128-135. (in Chinese)

[28] 张喜瑞,曹超,张丽娜,等. 仿形进阶式天然橡胶自动割胶机设计与试验[J]. 农业机械学报,2022,53(4):99-108.
ZHANG Xirui, CAO Chao, ZHANG Li'na, et al. Design and test of profiling progressive natural rubber automatic tapping machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(4): 99-108. (in Chinese)

[29] 宁彤,梁栋,张燕,等. 固定复合运动轨道式割胶机的设计与试验研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2022,44(4):100-109.
NING Tong, LIANG Dong, ZHANG Yan, et al. Design and experimental research of fixed compound motion track rubber tapping machine[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2022, 44(4): 100-109. (in Chinese)

[30] 汪雄伟,耿贵胜,李福成,等. 固定式全自动智能控制橡胶割胶机设计[J]. 农业工程,2020,10(7):79-84.
WANG Xiongwei, GENG Guisheng, LI Fucheng, et al. Design of fixed automatic intelligent control rubber tapping machine[J]. Agricultural Engineering, 2020, 10(7): 79-84. (in Chinese)

(上接第 230 页)

[14] 刘明丹,吕晓荣,齐向军,等. 基于 AT89S52 芯片的自动育苗生产线设计[J]. 农业工程学报,2012,28(9):229-232.
LIU Mingdan, LÜ Xiaorong, QI Xiangjun, et al. Design of automatic seedling production line based on AT89S52[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(9):229-232. (in Chinese)

[15] 李利桥,王德福,李超,等. 转筒与桨叶组合式日粮混合机设计与试验优化[J]. 农业机械学报,2017,48(10):67-75.
LI Liqiao, WANG Defu, LI Chao, et al. Design and experimental optimization of rotary drum and paddle combined diet mixer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(10):67-75. (in Chinese)

[16] DING X, WEI Y, YAN Z, et al. Simulation and experiment of the spiral digging end-effector for tray digging in plug tray seedling substrate[J]. Agronomy, 2022, 12(4): 779-790.

[17] 王德福,党春雪,黄会男,等. 桨叶式日粮混合机机理分析与参数优化[J]. 农业机械学报,2020,51(6):122-131.
WANG Defu, DANG Chunxue, HUANG Huinan, et al. Mechanism analysis and parameter optimization of paddle type grain mixer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(6):122-131. (in Chinese)

[18] 黄会男,王德福,李百秋,等. 保育猪饲料喂器设计与排料性能试验[J]. 农业机械学报,2018,49(10):154-162.
HUANG Huinan, WANG Defu, LI Baiqiu, et al. Feeder design and discharge performance test for nursery pigs[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018,49(10):154-162. (in Chinese)

[19] LIU M, WANG N, CHEN X, et al. Design of feed screw conveyor[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1601(6): 062005.

[20] 郭小宏,李荣强. 混合料粒料速度特性与摊铺机布料器结构和转速规律研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2008(4):38-41.
GUO Xiaohong, LI Rongqiang. Study on the velocity characteristics of mixture particles and the structure and speed law of paver distributor[J]. Road Construction Machinery and Construction Mechanization, 2008(4):38-41. (in Chinese)