

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.008

温室穴盘苗自动移栽机设计与试验

韩绿化^{1,2} 毛罕平^{1,2} 胡建平^{1,2} 徐静云^{1,2} 赵峥嵘^{1,3} 马国鑫^{1,3}

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 江苏省现代农业装备与技术协同创新中心, 镇江 212013;
3. 江苏省农业装备与智能化高技术研究重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 针对种苗从高密度穴盘移植到低密度穴盘, 或者从穴盘直接移植到花盆的温室穴盘苗移栽生产需要, 设计了一种轻简型自动移栽机。利用成熟的直线模组和无杆气缸组合设计出自动移栽机械臂, 驱动取苗末端执行器往复于来源盘和目标盘进行取苗、移苗、栽苗操作, 采用双排链传动实现穴盘和花盆输送, 对穴盘苗的夹取操作采用气动两指四针钳夹式夹钵取苗方法。根据所设计的移栽机工作要求, 构建电气控制系统。试制样机, 开展试验研究。采用直线位移传感器系统检测分析机器取苗移栽移位性能, 结果显示对于 128/72 孔穴盘苗, 移栽效率分别达到 1 221 株/h 和 1 025 株/h, 运用单样本 t 检验法分析得到实测取苗移位间隔与理论设定穴孔间隔无显著差别, 标准差低于 0.5, 整机工作精度准确。以当地自行培育的种苗为移栽对象, 进行温室穴盘苗移栽生产试验, 对比分析自动取苗移栽效能, 结果显示多种穴盘苗移栽成功率平均达到 90.70%, 苗钵夹取破碎率低于 5%, 自动取苗移栽效果较好。

关键词: 温室; 穴盘苗; 移栽机; 位移传感器

中图分类号: S223.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)11-0059-09

Design and Test of Automatic Transplanter for Greenhouse Plug Seedlings

Han Lühua^{1,2} Mao Hanping^{1,2} Hu Jianping^{1,2} Xu Jingyun^{1,2} Zhao Zhengrong^{1,3} Ma Guoxin^{1,3}

(1. Key Laboratory of Modern Agriculture Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China
2. Jiangsu Province Synergistic Innovation Center of Modern Agricultural Equipment and Technology, Zhenjiang 212013, China
3. High-tech Key Laboratory of Agricultural Equipment and Intelligence of Jiangsu Province, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The seedlings in greenhouse at a certain stage are transplanted from high density trays into low density flats for further growth and development. To meet the demands of transplant production in greenhouse, a simple-type automatic transplanter for plug seedlings was designed. The transplanter consisted of a manipulator, an end-effector and two conveyors. The manipulator consisting of a motor, a linear modules and a rodless cylinder, moved the end-effector to the desired working position for extracting, transferring and discharging a seedling. The conveyors were designed to move the plug tray/pot to the end-effector's working space. It was the pallet-type double-row chain transmission units. The end-effector was a pincette-type mechanism using two fingers and four pins for picking up seedlings. When the end-effector extracted seedlings from the tray cells, its two cylinder fingers push out four pick-up pins to penetrate into the root soil deeply and then close making the pick-up pins hold the soil of the seedlings firmly for lifting. When the end-effector released seedlings at the discharge point, its two cylinder fingers open making the pick-up pins loosen the soil of the seedlings and then pulled the pick-up

收稿日期: 2016-04-13 修回日期: 2016-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51475216)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD08B03)、江苏省科技支撑计划项目(BE2014373)、江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)1033-5)、江苏省现代农业装备与技术协同创新中心项目(NZXT02201402)和江苏省高校优势学科建设工程项目(苏财教(2014)37号)

作者简介: 韩绿化(1980—),男,助理研究员,博士,主要从事穴盘苗全自动移栽关键技术与装备研究, E-mail: hlh_ujs@163.com

通信作者: 毛罕平(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业装备和设施农业环境控制技术研究, E-mail: maohp@ujs.edu.cn

pins back for discharging. According to the requirement of automatic transplanting of greenhouse seedlings, the electric control system was configured for the prototype. The step transmission for picking up seedlings was examined with the linear displacement sensor. The test results indicated that the transplanting rate was about 1 221 seedlings per hour for the 128-cell tray and 1 025 seedlings per hour for the 72-cell tray, respectively. The statistical analysis of one-sample t test showed that there was no significant difference in the step transmissions between the testing value and the theoretical value, and the standard deviation was less than 0.5. The performance tests were further conducted to evaluate the machine efficiency. For the four locally produced vegetable seedlings, the average success ratio in picking up seedlings was up to 90.70%, and the soil damage ratio was less than 5%. The performance of transplanting was satisfactory.

Key words: greenhouse; plug seedling; transplanter; displacement sensor

引言

在商业温室里, 种苗移栽生产已成为一项有益的生产模式^[1]。为了满足进一步的生长发育要求, 温室移栽生产需要将高密度穴盘培育的种苗移植到低密度穴盘, 或者从穴盘直接移植到花盆。人工从事移植工作劳动强度大, 比较费时, 而且受人为因素影响, 难以及时完整移栽作业, 栽植质量难以保障^[2]。为此, 研发性能可靠、经济适用的移植机械手, 对温室种苗移栽生产具有重要实用价值。

国外已报道的温室穴盘苗移栽机研究, 主要是用于成熟的工业机器人技术测试分析不同取苗爪进行穴盘苗移栽的工作能力和适应性^[3-6], 这些研究为温室移栽装备研发提供了指导。目前, 全自动移栽机已在设施园艺发达国家得到广泛应用^[7]。这类温室全自动移栽机性能很好, 但结构复杂, 价格昂贵, 使用维护困难, 而且与我国的育苗技术及其他移栽辅助作业不配套, 从而降低了移栽成功率和移栽效率。

近年来, 我国学者积极开展温室穴盘苗自动移栽技术研究^[8-17]。总的来看, 所研制的移栽机工作效率偏低, 为 675 株/h^[8]、500 株/h^[9]、800 株/h^[10], 移栽成功率低, 苗钵崩坏率达到 10% 左右^[8]。需要进一步开展温室穴盘苗移栽针对性研究, 推动穴盘育苗移栽产业快速高效和可持续发展, 提高设施园艺机械化水平。

本文针对温室穴盘苗移栽生产需要, 设计一种轻简型钳夹式夹钵取苗移栽机, 对移栽机进行测试分析, 并开展自动取苗移栽试验研究, 分析其实际工作效能。

1 整机功能设计

如图 1 所示, 所设计的温室穴盘苗自动移栽机为笛卡尔运动系统, 采用龙门架型机械手构造, 由移

栽机械臂、取苗末端执行器、来源盘/目标盘输送机构、控制系统等组成。来源盘/目标盘输送机构分别用来输送苗盘/花盆到取苗末端执行器的工作位置 (A、C), 由直线模组和无杆气缸组合构造的移栽机械臂驱动末端执行器从来源盘夹取穴盘苗 (A), 移送 (B) 至目标盘栽植 (C)。

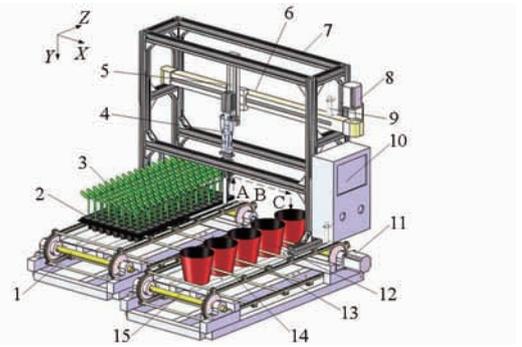


图 1 温室穴盘苗轻简型自动移栽机结构示意图
Fig.1 Schematic of simple-type automatic transplanter for greenhouse plug seedlings

1. 来源盘输送机构 2. 穴盘 3. 穴盘苗 4. 取苗末端执行器
5. 无杆气缸 6. 直线模组 7. 机架 8, 11. 电动机 9. 光电开关
10. 控制系统 12. 花盆 13. 输送链 14. 横梁杆 15. 目标盘输送机构

以穴盘移栽幼苗到花盆为例, 移栽系统的工作过程如下:

(1) 电动机驱动直线模组的滑块带动末端执行器到来源盘幼苗正上方, 无杆气缸上端进气、下端回气放下滑块, 使得末端执行器到达取苗点 (A)。

(2) 末端执行器出针刺入苗钵抓紧幼苗, 无杆气缸下端进气、上端回气, 从而提升末端执行器使得幼苗被取出。

(3) 保持幼苗提升状态, 从来源盘直线运输幼苗到目标花盆 (B)。

(4) 在目标花盆上方, 无杆气缸上端进气、下端回气放下滑块, 使得末端执行器到达放苗点 (C), 末端执行器执行释放幼苗动作, 完成一次取苗一移

苗—栽苗工作。

(5) 依次类推, 分别从来源盘靠近目标花盆一侧的穴孔里取苗, 逐个移栽幼苗到目标花盆, 取完整排苗后来源盘进给一个穴孔位, 取完整盘输送新的来源盘。

2 关键部件设计

2.1 移栽机械臂

移栽机械臂相当于人的手臂, 在标记 $X-Y$ 平面内驱动取苗末端执行器到要求的工作位置, 主要由电动机、直线模组、无杆气缸等构成。其中, 直线模组系统由电动机驱动, 形成从来源盘到目标盘 X 方向平行移位功能, 无杆气缸紧固在直线模组的滑块上, 形成 Y 方向升降功能, 二者配合形成取苗(A)—移苗(B)—栽苗(C)工作轨迹(见图 1)。

在设计中, 移栽机械臂往复移送功能采用直角坐标机器人上使用的直线模组结构实现。其工作原理是: 传动带安装在直线模组两侧的传动轴, 其中一端作为动力输入轴, 在开口传动带上固定一块用于增加设备工件的滑块。当有动力输入时, 通过带轮带动传动带而使滑块运动。通过选型比较, 选用东莞远程自动化科技有限公司生产的 CCMW50 重载同步带直线模组, 有效行程为 1 000 mm, 能满足幼苗从高密度穴盘移植到低密度穴盘的跨度需要。

移栽机械臂上下升降功能采用无杆气缸方式实现。由于采用气动方式实现, 取苗提升动作迅速, 其输出力以及工作速度灵活可调。此外, 在无杆气缸两端配置油压缓冲装置, 可减小冲击力, 也能调节活塞移动行程, 从而适应不同植株高度的幼苗取苗, 以缩短移位距离, 提高运行效率。这里, 选用日本株式会社小金井生产的 ORV 系列开口式无杆气缸, 对照选型表, 型号 ORV16 满足取苗提升力^[12]设计要求, 其许用轴向弯矩为 3.2 N·m, 选择工作有效行程为 200 mm, 可满足多数穴盘苗植株取苗高度要求^[17-18]。

2.2 取苗末端执行器

如图 2 所示, 取苗末端执行器相当于人的手指, 采用镊子型两指四针钳夹式结构^[12], 主要由气缸机械手指、橡胶气囊、限位块、收紧弹簧、挡块、夹取针等组成。其中, 气缸机械手指在限位块内绕 T 型骨架上的转轴摆转, 由双作用微型气缸、管接头、紧固在活塞杆上的夹取针和手指挡块组成, 夹取针为叉子型, 在双作用微型气缸推拉下沿着手指挡块孔伸缩, 从而构造成两指两侧各伸缩两针。两根气缸机械手指在弹簧收紧作用下并行夹住橡胶气囊, 当橡胶气囊充气时, 撑开两根气缸机械手指, 当橡胶气囊

放气时, 借助于收紧弹簧作用力, 两根气缸机械手指合拢闭合。其工作原理为通过两根气缸机械手指伸出 4 根夹取针插入穴盘苗钵体, 气缸机械手指合拢夹取针夹紧钵体, 在取苗装置带动下取出苗钵, 通过橡胶气囊撑开 2 根气缸机械手指, 4 根夹取针放松夹持钵体, 2 根气缸手指回缩夹取针脱离穴盘苗钵体来放苗。

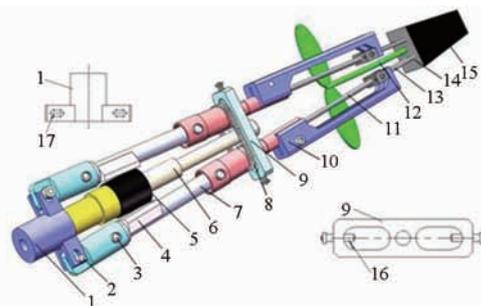


图 2 两指四针钳夹式取苗末端执行器结构示意图

Fig. 2 Schematic of pincette-type end-effector with two figures and four pins for picking up seedlings

1. T 型骨架 2. 转轴 3. 管接头 4. 垫块 5. 橡胶气囊 6. 支撑杆 7. 双作用微型气缸 8. 收紧弹簧 9. 限位块 10. 挡块 11. 活塞杆 12. 幼苗 13. 夹取针 14. 钵体 15. 穴孔 16. 限位螺钉 17. 腰型槽

根据我国穴盘苗移栽生产实际情况, 设计了取苗末端执行器的结构参数^[12]。在实际应用中, 通过调节收紧弹簧的预紧量能有效控制对穴盘苗钵体的夹持力度, 并且通过调节气缸机械手指在 T 型骨架腰型槽和限位块螺钉的安装距离, 能获得不同夹取针开度, 以适应不同规格尺寸穴盘苗夹取作业。

2.3 输送机构

根据要求的移栽操作, 设计输送装置移送来源盘/目标盆到取苗末端执行器的工作位置。其结构上采用双排链输送单元, 由链轮、链条、转轴、电动机等组成。双排链之间传输穴盘/花盆, 设计时附加横杆推送。主动链轮连通电动机, 带动链条横连杆移动, 使穴盘/花盆实现按需水平间歇步进移位。在整排苗被取完移栽后, 进给一个穴孔位进行下一排苗夹取。而目标花盆实现流水线间歇输送。考虑控制简单, 选用步进电动机系统驱动输送装置, 同时配置多个对射光电传感器, 通过探测穴盘或者花盆前侧边缘来判断输送位置信息。

2.4 控制系统

针对所设计的温室穴盘苗移栽机, 取苗臂往复移位采用步进电动机驱动的开环控制系统, 采用激光光电开关检测是否到位来控制电动机运转的控制方式, 气动回路控制采用多路磁性开关状态检测与电磁阀通断控制结构。于是有 3 套步进电动机控制系统, 使用 6 个光电开关配合接近开

关检测步进电动机系统驱动的位置信息,使用6个磁性开关传感器检查气动执行状态信息,3个电磁阀控制3个执行气缸动作,其系统硬件配置结构如图3所示。

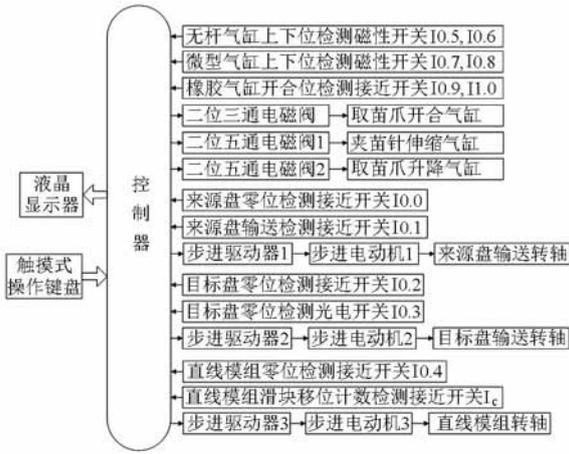


图3 控制系统硬件结构图

Fig. 3 Hardware structure diagram of control system

根据控制主体设计,选用北京多普康自动化技术有限公司生产的 TOP5530R 型三轴运动控制器。在具体使用中,对步进电动机移动系统采用 S 形加减速曲线控制,根据所用步进电动机特性和驱动系

表1 取苗移位检测仪器

Tab.1 Instruments of transplanting transmission tests

名称	型号	主要技术特性	生产企业
直线位移传感器	KTC-600mm	线性精度($\pm\%$ FS): $\pm 0.05\%$, 重复性精度: 0.01 mm, 最大工作速度: 10 m/s	深圳市淞研精工科技有限公司
插头式变送模块	BZ2204A	输出信号模式: 0.5 V, 将 12 ~ 24 V 工作电压稳压成 5 V 的电压信号, 并输出电压信号	深圳市淞研精工科技有限公司
数据采集分析系统	BZ7201	USB 接口数据采集仪, 分辨率: 16 位, 采样频率: 200 kHz	北戴河兰德科技有限责任公司

自动移位检测试验如图4a所示。将直线位移传感器机体安装在自动移栽机械手机架上,其伸缩拉杆沿取苗水平移位方向与无杆气缸上端紧固,通过驱动末端执行器从而带动直线位移传感器拉杆伸缩,引起直线位移传感器阻值压变,最终将直线机械



(a) 取苗移位检测装置

统结构特点,确定启动频率、启动时间、启动速度等参数^[19]。为了及时快速响应各个夹取动作,对气动执行元件动作到位信息进行检测,以到位磁性开关的检测信号为触发信号启动下一执行动作,从而使取苗末端执行器具备感应能力。最终,根据温室穴盘苗自动移栽工作要求,编制控制软件,实现自动供苗、送盆以及取苗、移苗、栽苗等移栽操作。

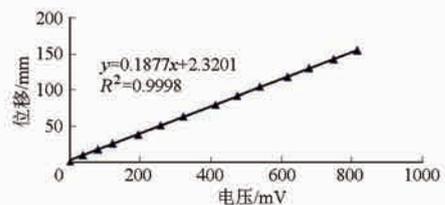
3 试验与结果分析

3.1 取苗移位试验

3.1.1 试验方案

对取苗移位进行检测,分析移位运动特性,以考核移栽系统作业性能是否达到设计要求,为机器的进一步改进提供依据。试验方案为:采用直线位移传感器对自动取苗移位运动状态检测,方法是将拉杆式直线位移传感器的伸缩拉杆紧固在取苗末端执行器上,获取自动取苗移栽过程中末端执行器位置变化以及外界振动干扰引起的位移应变信号,经隔离变送器输入到数据采集仪记录,通过数据分析研究移栽机实际运行动态特性。所用仪器如表1所示。

位移量转换成电信号,从而检测移栽机实际运行动态特性。应用前对直线位移检测系统进行移动位移量与测量电压信号关系标定,采样频率为 1 000 Hz。对标定结果拟合,如图4b所示,得到实际位移 D_p (mm) 与位移传感器电压测量值 V_{out} (mV) 的关系:



(b) 系统检测标定

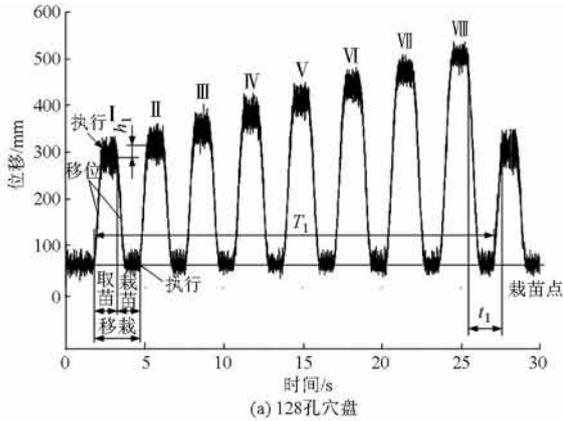
图4 自动对穴取苗移位检测

Fig. 4 Tests for transplanting transmission of picking up seedlings from tray cells

1. 末端执行器 2. 无杆气缸 3. 直线模组 4. 机架 5. 直线位移传感器 6. 计算机 7. 控制系统

$D_p = 0.1877V_{out} + 2.3201$, 其线性拟合度为 0.9998, 具有较好的线性度。

设定从穴盘移栽幼苗到花盆, 分别进行 128 孔、72 孔两种规格穴盘自动取苗移位检测, 系统以高速状态运行(控制器步进移位设定为 1 000 mm/min, 气动以不产生冲击为准), 无杆气缸全行程工作。理论设定两种规格穴盘的穴孔间隔为 32 mm (128 穴盘)、42.5 mm (72 穴盘), 花盆设定尺寸为口



径 360 mm。进行 128/72 穴盘单排苗连续取苗往复移位, 重复 10 次试验。试验后采用 SPSS 18.0 软件对所获数据作统计方差分析, 设显著水平 $\alpha = 0.05$ 。

3.1.2 结果与分析

图 5 为从穴盘移栽幼苗到花盆的取苗移位位移与时间关系图, 采用单个取苗末端执行器工作, 对于 128 穴盘苗, 取完整排苗需移位 8 次 (I-VIII), 对于 72 穴盘苗, 取完整排苗需移位 6 次 (I-VI)。

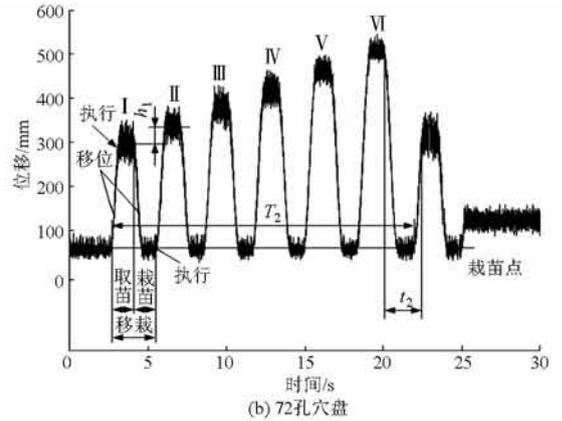


图 5 从穴盘取苗移位到花盆位移检测结果

Fig. 5 Testing results of transplanting transmission from tray cells to pots

如图 5 所示, 从穴盘移栽幼苗到花盆, 一个移栽过程主要包括取苗和栽苗两个环节, 并且在时间和路程上取苗与栽苗相等。其中, 取苗过程分为取苗移位和取苗执行两部分, 栽苗过程分为栽苗移位和栽苗执行两部分, 取苗移位和栽苗移位对等, 取苗执行和栽苗执行对等。采用步进电动机系统驱动末端执行器移位, 利用气动方式实现取苗和栽苗动作, 在取苗和栽苗的过程中气动和步进电动机系统产生了高频振动信号, 表现在数据图上为取苗点(图 5a 中 I-VIII 和图 5b 中 I-VI)和栽苗点的噪声信号, 而在取苗和栽苗移位的过程中系统以平滑的 S 形曲线运行, 表明选用的控制器以及步进移位参数设定较好, 而在取苗点和栽苗点应注意调节气动冲击和电动机启动停车的平稳性。

如图 5a 所示, 从移栽时间上看, 每移栽 8 株苗, 所得 10 次测试分析的平均运行时间 T_1 为 23.579 s, 则移栽效率约为 20.36 株/min。如图 5b 所示, 每移栽 6 株苗, 所得 10 次测试分析的平均运行时间 T_2 为 21.065 s, 则移栽效率约为 17.09 株/min, 与荷兰飞梭 PC-21 全自动移栽机工作效率^[7]相当, 对于 128/72 孔穴盘苗, 移栽效率分别达到 20 株/min (128 孔穴盘苗) 和 17.1 株/min (72 孔穴盘苗)。但是采用单个取苗末端执行器工作, 在相同的穴盘轮廓尺寸与花盆间距下, 128 孔穴盘布局要比 72 孔穴盘布局移栽效率高, 每分钟多移栽 3.27 株幼苗, 主要原因是两种穴盘穴孔间隔和孔数不同, 虽然取完

72 穴盘整排苗节省了运行时间, 比 128 穴盘少用 2.514 s, 但移栽株数相对少 2 株。此外, 以高于幼苗高度为准, 通过调节无杆气缸上油压缓冲器来改变滑块行程, 可以缩短末端执行器上下升降移位时间, 能进一步提高移栽工作效率。

为了使穴盘/花盆输送与取苗栽苗协调配合, 需要分析移栽过程中最短运行时间, 以保证在下次取苗前来源盘输送到位和在下次栽苗前目标盆输送到位。从移栽过程分析来看, 来源盘输送的动作执行是在整排苗中最后 1 株幼苗取完后开始, 到下次取苗到来前完成来源盘输送, 而目标盆输送的动作执行是在每次栽完苗之后开始, 到下次栽苗到来前完成目标盆输送, 分别对应 t_1 和 t_2 时间段(见图 5a、5b 中)。因此, 来源盘是整排苗取完之间的空档时间移位, 目标盆是每两株苗之间的最短空档时间移位。在所测试的移栽效率下, 对移位检测数据进行分析, 得出 128 穴孔来源盘输送时间为 1.937 s, 72 穴孔来源盘输送时间为 2.491 s, 128 穴盘对应的目标盆输送最短时间为 1.623 s, 72 穴盘对应的目标盆输送最短时间为 2.036 s。与移位间隔相比较, 可得能同时满足两种规格穴盘/花盆移栽输送的最低平均速度为 20.87 mm/s, 即为穴盘/花盆输送系统的运行速度条件。

在满足运行速度的条件下, 末端执行器相邻两次取苗移位间隔(图 5 中 h_1 、 h_2) 应达到理论设定的穴孔间距要求, 以保证从穴孔里准确取苗。由于在

取苗点和栽苗点存在高频噪声信号干扰,对采集的数据进行低通滤波处理,获得取苗移位平滑信号曲线。针对128孔穴盘和72孔穴盘,分别取出相邻两次取苗移位采集得到的间隔数据,各有70组和50组数据。把理论设计所用穴盘穴孔间隔当作比较

值,将测试所得取苗移位间隔(图5中 h_1 、 h_2)与理论设计穴孔间隔进行单样本 t 检验($\alpha = 0.05$)。从单样本统计数据得出,128、72穴盘自动取苗移位的平均值分别为32.1086 mm、42.5866 mm,标准差分别为0.5026、0.4047。检验结果如表2所示。

表2 取苗移位单样本 t 检验结果

Tab.2 One-sample t test of transplanting transmission for picking up seedlings from tray cells

检验值	t 统计量	自由度	p 值(双侧)	均值差值	差分的95%置信区间	
					下限	上限
32(128穴盘)	1.8087	69	0.0748	0.1086	0.0112	0.2285
42.5(72穴盘)	1.5130	49	0.1370	0.0866	0.0284	0.2016

从表2检验结果可以看出,对于128孔穴盘和72孔穴盘,检验 p 值均大于显著水平0.05,表明实测取苗移位间隔与理论设计穴孔间隔无显著差别。通过实测检验分析,验证了所设计自动取苗移位系统的可靠性,能精准达到对穴移位取苗功能。另外,在自动移栽试验中,调整末端执行器夹取针开合距离时,应注意自动取苗移位偏差,防止夹取针插入苗钵的过程中超越移位偏差边界刺破穴盘,从而不能对正取苗。

3.2 自动移栽试验

3.2.1 试验方案

以番茄、黄瓜、辣椒、西兰花为移栽对象,取苗末端执行器按最优工作参数组合^[12]进行多种穴盘苗自动移栽试验,同时考虑取苗移位偏差影响,试验情况如图6所示。在试验中,分别从128孔穴盘和72孔穴盘移栽幼苗到花盆(使用50孔穴盘代替)。所用穴盘苗来自江苏省镇江市当地农户自行培育的种苗,其生长特性如表3所示。每个试验中,连续移栽整盘苗,重复3次。移栽工作效率为128孔穴盘20株/min,72孔穴盘17株/min。自动移栽试验如图6所示,记录试验结果并作数据分析。

取苗成功率代表了取苗、带苗、投苗的成功情况,是自动取苗移栽性能好坏的综合表现。这里移栽成功率 S_R 定义为

$$S_R = \frac{N_{SF} - N_{MS} - N_{FF} - N_{LD}}{N_{SF} - N_{MS}} \times 100\%$$

式中 N_{SF} ——进给穴孔总数,个

N_{MS} ——空穴数,个

N_{FF} ——取苗失败数,主要包括幼苗未被取出、根坨破碎过半以及未成功投苗数,株

N_{LD} ——伤苗数,株

对于蔬菜穴盘苗,夹取针刺破叶子,或者单个叶子被撕扯掉等现象,不会对幼苗后期生长造成太大

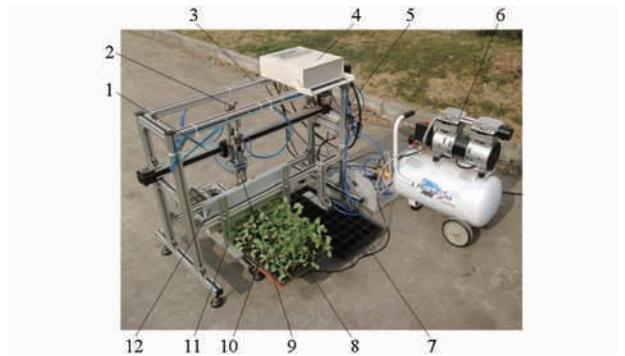


图6 轻简型温室穴盘苗移栽机自动移栽试验装置

Fig.6 Test equipment for transplanting of simple-type automatic transplanter for greenhouse plug seedlings

1. 直线模组
2. 无杆气缸
3. 机架
4. 控制器
5. 气动回路
6. 空压机
7. 目标盘
8. 来源盘
9. 取苗末端执行器
10. 穴盘苗
11. 压盘条
12. 分苗板

的影响,这里 N_{LD} 只统计幼苗主茎折断情况。

3.2.2 结果与分析

自动取苗移栽性能试验结果如表4所示。由表4知,128孔穴孔和72孔穴孔黄瓜穴盘苗的取苗移栽成功率分别为83.59%和86.57%,自动取苗移栽效果最差,其余3种穴盘苗的取苗移栽成功率均在90%以上。其中,西兰花的自动取苗移栽效果最好,移栽成功率为93.60%(128孔穴盘)和93.87%(72孔穴盘),其次是辣椒和番茄,辣椒穴盘苗自动取苗移栽效果高于番茄穴盘苗。总的来看,对于同一种穴盘苗,72孔穴盘的取苗移栽成功率均高于128孔穴盘,穴孔大一点成功取苗移栽的可能性增大。

分别对128孔穴盘苗和72孔穴盘苗移栽不成功的情况与供试情况作比较,如图7所示。如图7a显示,对于128孔穴盘育苗移栽,辣椒穴盘苗未取出数最多,达到4%,其次是黄瓜和西兰花穴盘苗,番茄穴盘苗未取出数最少。对于72孔穴盘育苗移栽,穴盘苗未取出数百分比由大到小依次为辣椒、番茄、黄瓜、西兰花。使用柱塞将未取出的穴盘苗从穴孔排水口顶出,发现这些苗钵的盘根较少,根系没有从

表 3 移栽用穴盘苗的生长特性

Tab. 3 Growth characteristics of seedlings used in performance tests

穴盘孔数	种类	苗龄/d	根坨含水率/%	叶片数	株高/mm	叶长/mm	叶宽/mm
128	番茄	32	57.49 ± 2	2 ~ 3 真叶	112.50 ± 6.75	37.55 ± 5.49	23.19 ± 4.11
	黄瓜	20	58.72 ± 2	2 子叶 1 心叶	72.62 ± 5.51	41.25 ± 5.17	24.47 ± 4.68
	辣椒	42	56.24 ± 2	3 ~ 4 真叶	178.80 ± 8.05	33.91 ± 6.52	22.26 ± 3.14
	西兰花	31	59.01 ± 2	2 ~ 3 真叶	86.75 ± 8.99	75.31 ± 8.65	50.19 ± 8.04
72	番茄	45	58.63 ± 2	4 ~ 5 真叶	131.65 ± 5.28	39.43 ± 4.67	24.09 ± 4.63
	黄瓜	31	59.84 ± 2	1 叶 1 心	87.46 ± 6.15	62.54 ± 6.43	35.68 ± 6.44
	辣椒	51	58.49 ± 2	5 ~ 6 真叶	182.17 ± 6.41	37.19 ± 5.75	28.62 ± 4.17
	西兰花	38	58.47 ± 2	4 ~ 5 真叶	90.14 ± 6.34	81.46 ± 7.37	57.08 ± 7.74

注:株高、叶长、叶宽数据为算术平均值 ± 标准偏差。

表 4 自动取苗性能试验结果

Tab. 4 Results of performance tests for automatic transplanting

穴盘孔数	种类	N_{SF}	N_{MS}	N_{FF1}	N_{FF2}	N_{LD}	N_{FF3}	$S_R/\%$
128	番茄	384	9	4	15	9	9	90.13
	黄瓜	384	0	6	12	33	12	83.59
	辣椒	384	0	15	12	0	0	92.97
	西兰花	384	9	6	6	12	0	93.60
72	番茄	216	7	4	6	5	3	91.39
	黄瓜	216	0	3	5	14	7	86.57
	辣椒	216	2	6	4	2	2	93.46
	西兰花	216	4	2	4	4	3	93.87

注: N_{FF1} 为幼苗未被取出数; N_{FF2} 为根坨破碎过半数; N_{FF3} 为未成功投苗数。

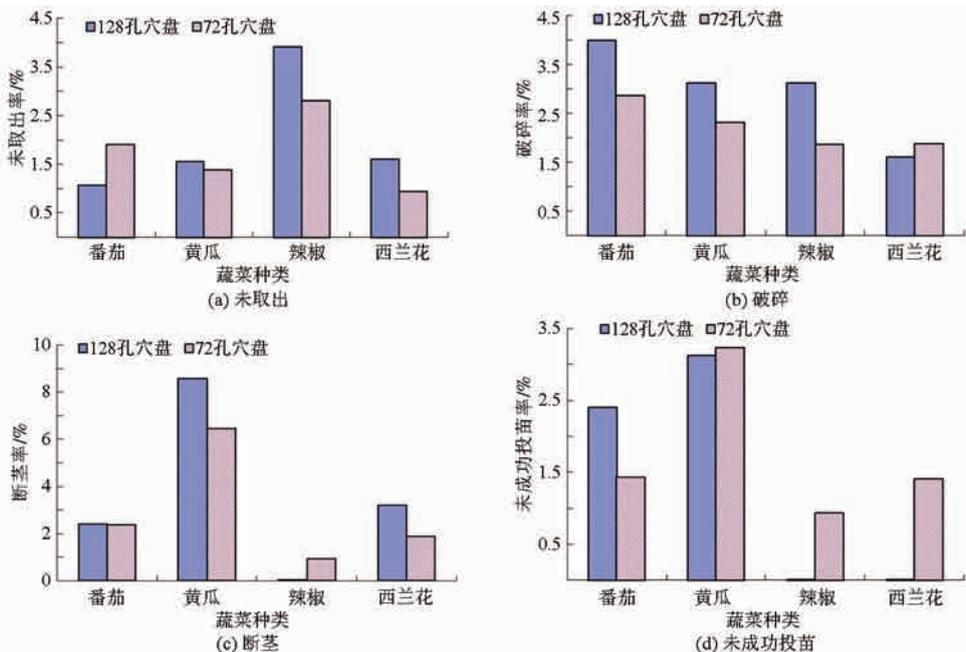


图 7 自动移栽试验不成功情况分析

Fig. 7 Failure analysis in automatic transplanting seedlings from tray cells

穴孔底部到上部包裹基质体。结合苗钵破碎情况(图 7b),多种穴盘苗自动夹取钵体过半的破碎率低于 5%,对于同一种穴盘,破碎率由大到小依次为番茄、黄瓜、辣椒、西兰花。进一步检查苗钵结构体,钵体破碎源自根系包裹不严密,只取出苗茎主根区一团基质,大部分苗钵残留在穴孔内。对盘根性差的

穴盘苗应改善育苗根系结构。从图 7c 可以看出,黄瓜穴盘苗断茎情况比较严重,这是黄瓜苗茎干生理结构脆弱所致。虽然西兰花苗钵质量最好,但断茎情况仅次于黄瓜穴盘苗,主要是西兰花幼苗芽顶部折断,分析发现试验用西兰花穴盘苗植株多数弯曲,取苗时夹取针容易压折苗茎,导致芽顶折断。番茄

穴盘苗比较硬实,但在夹取过程中由于植株庞大,机械提取时不易折弯,有很多折伤的情况。辣椒穴盘苗断茎数很少,主要原因是辣椒苗生性直立,叶子滑溜,夹取很顺畅,但72孔穴盘培育的辣椒苗植株比较大,取苗时有折断现象。在未成功释放穴盘苗方面,黄瓜和番茄穴盘苗未成功投苗数较多(图7d),最高为3.24%,试验时发现黄瓜和番茄幼苗植株冠幅较大,投苗时幼苗叶子牵挂纠缠在取苗末端执行器上,不能准确定点释放,对72孔穴盘辣椒苗和西兰花苗也是这种情况。机械化移栽时,使用根系发达的矮壮苗有利于生产作业^[20]。

单从自动取苗移栽成功率来看,4种穴盘苗平均取苗移栽成功率为90.70%。所设计的温室穴盘苗移栽机能较好地穴盘中抓取幼苗,并移送至生长盘/花盆栽植。相比国内其它的移栽机构^[8,10],所研制的移栽机械手结构简单,功能精确,并经济适用于当地的移栽生产。与荷兰PC-21型移栽机^[7]相比,在相当的取苗移栽速度下,多种穴盘苗移栽效果较好,并且所设计的温室穴盘苗自动移栽装置通过机械、电气、气动技术的优化配置,使其结构简单。然而仍需要从园艺条件和机械因素改进育苗移栽技术体系,针对相同类型的种苗,开展从育苗到移栽标准化生产模式研究。

4 结论

(1)根据温室穴盘苗移栽生产特点,设计了一种两指四针钳夹式夹钵取苗自动移栽机,包括移栽机械臂、取苗末端执行器、来源盘输送装置和目标盘输送装置、控制系统。利用移栽机械臂的直线模组驱动末端执行器往复于来源盘和目标盘,利用移栽机械臂的无杆气缸驱动末端执行器下放和上升进行取苗、栽苗操作,对穴盘苗的夹取操作采用两指四针钳夹式方法,输送装置用来输送苗盘/花盆到取苗末端执行器预先设定的对穴取苗和投苗栽植工作位置。

(2)对自动移栽取苗移位进行检测,从移栽时间上看,对于128孔/72孔穴盘苗,移栽效率分别达到1221株/h和1025株/h,针对所用两种穴盘的规格尺寸,128孔/72孔穴盘自动移栽取苗移位的平均值分别为32.1086mm、42.5866mm,标准差分别为0.5026、0.4047,统计分析结果显示128/72穴盘实测取苗移位间隔与理论设定穴孔间隔无显著差别。以当地自行培育的种苗为移栽对象,进行温室穴盘苗移栽生产,多种穴盘苗平均取苗移栽成功率达到90.70%,自动移栽效果较好。

参 考 文 献

- 1 TING K C, GIACOMELLI G A, LING P P. Workability and productivity of robotic plug transplanting workcell [J]. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 1992, 28(1): 5-10.
- 2 周婷,汪小岳,王超群,等. 温室穴盘苗移栽机的设计与仿真分析[J]. *机械设计与研究*, 2009, 25(2): 121-124.
ZHOU Ting, WANG Xiaochan, WANG Chaoqun, et al. Design and simulation analysis of transplanter for potted tray seedlings in greenhouse [J]. *Machine Design and Research*, 2009, 25(2): 121-124. (in Chinese)
- 3 KUTZ L J, MILES G E, HAMMER P A, et al. Robotic transplanting of bedding plants [J]. *Transactions of the ASAE*, 1987, 30(3): 586-590.
- 4 TING K C, GIACOMELLI G A, SHEN S J. Robot workcell for transplanting of seedlings part I -Layout and materials flow [J]. *Transactions of the ASAE*, 1990, 33(3): 1005-1010.
- 5 SHAW L N. Removing and handling modular vegetable seedling from nursery trays [J]. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 1999, 112: 153-155.
- 6 HŮLA P, ŠINDELÁŘ R, TRINKL A. Verification of applicability of ABB robots for trans-planting seedlings in greenhouses [J]. *Research in Agricultural Engineering*, 2008, 54(3): 1553-1662.
- 7 Visser Horti Systems. Plug transplanters[EB/OL]. [2016-03-27]. <https://www.visser.eu/plug-transplanters/#>.
- 8 吕英石,李新涛,陈显全,等. 可调整式花卉穴盘苗假指机构之研究[J]. *农业机械学报*, 2003, 12(1): 11-24.
LŪ Yingshin, LI Hsintao, CHEN Yuquan, et al. The development of adjustable transplanting mechanism for plug seedlings [J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2003, 12(1): 11-24. (in Chinese)
- 9 张丽华,邱丽春,田素博,等. 指针夹紧式穴盘苗移栽爪设计[J]. *沈阳农业大学学报*, 2010, 41(2): 235-237.
ZHANG Lihua, QIU Lichun, TIAN Subo, et al. Design of a needle clamping claw for plug seedling transplanting [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2010, 41(2): 235-237. (in Chinese)
- 10 冯青春,王秀,姜凯,等. 花卉幼苗自动移栽机关键部件设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(6): 21-27.
FENG Qingchun, WANG Xiu, JIANG Kai, et al. Design and test of key parts on automatic transplanter for flower seedling [J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(6): 21-27. (in Chinese)
- 11 孙国祥,汪小岳,何国敏,等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(10): 47-53.
SUN Guoxiang, WANG Xiaochan, HE Guomin, et al. Design of the end-effector for plug seedlings transplanter and analysis on

- virtual prototype [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 47-53. (in Chinese)
- 12 韩绿化, 毛罕平, 严蕾, 等. 穴盘育苗移栽机两指四针钳夹式取苗末端执行器[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 23-30.
HAN Lühua, MAO Hanping, YAN Lei, et al. Pincette-type end-effector using two fingers and four pins for picking up seedlings [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 23-30. (in Chinese)
- 13 童俊华, 蒋焕煜, 蒋卓华, 等. 钵苗自动移栽机器人抓取指针夹持苗坨参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 8-16.
TONG Junhua, JIANG Huanyu, JIANG Zhuohua, et al. Experiment on parameter optimization of gripper needles clamping seedling plug for automatic transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(16): 8-16. (in Chinese)
- 14 童俊华, 蒋焕煜, 周鸣川. 基于遗传算法的穴盘苗自动移钵路径优化[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 45-49, 26.
TONG Junhua, JIANG Huanyu, ZHOU Mingchuan. Optimization of seedling transplanting path based on genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 45-49, 26. (in Chinese)
- 15 吴俭敏, 颜华, 金鑫, 等. 移栽机送盘装置与定位控制系统研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1): 14-18.
WU Jianmin, YAN Hua, JIN Xin, et al. Research on disk conveying device and positioning control system for transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 14-18. (in Chinese)
- 16 童俊华, 蒋焕煜, 武传宇. 基于贪心算法的温室钵苗稀植移栽路径优化[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 8-13.
TONG Junhua, JIANG Huanyu, WU Chuanyu. Optimization of seedlings lower density transplanting path based on greedy algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 8-13. (in Chinese)
- 17 韩绿化, 毛罕平, 胡建平, 等. 穴盘苗自动移栽钵体力学特性试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 24-28.
HAN Lühua, MAO Hanping, HU Jianping, et al. Experiment on mechanical property of seedling pot for automatic transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(2): 24-28. (in Chinese)
- 18 缪小花, 毛罕平, 韩绿化, 等. 黄瓜穴盘苗拉拔力及钵体抗压性能影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1): 27-32.
MIAO Xiaohua, MAO Hanping, HAN Lühua, et al. Analysis of influencing factors on force of picking plug seedlings and pressure resistance of plug seedlings [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 27-32. (in Chinese)
- 19 NGUYEN Kim Doang, NG Teck-Chew, CHEN I-Ming. On algorithms for planning S-curve motion profiles [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2008, 5(1): 99-106.
- 20 YANG Y, TING K C, GIACOMELLI G A. Factors affecting performance of sliding-needles gripper during robotic transplanting of seedlings [J]. Transactions of the ASAE, 1991, 7(4): 493-498.

~~~~~

(上接第 73 页)

- 12 代丽, 孙良, 赵雄, 等. 基于运动学目标函数的插秧机分插机构参数优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 35-42.  
DAI Li, SUN Liang, ZHAO Xiong, et al. Parameters optimization of separating-planting mechanism in transplanter based on kinematics objective function[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(3): 35-42. (in Chinese)
- 13 YE Bingliang, JIN Xuejun, YU Gaohong, et al. Parameter modification guiding optimization design and tests of a rotary transplanting mechanism for rice plug seedlings[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2015, 31(6): 863-873.
- 14 李丽. 水稻钵苗移栽机构的优化设计及试验研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.
- 15 俞高红, 黄小艳, 叶秉良. 旋转式水稻钵苗移栽机构的机理分析与参数优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 16-22.  
YU Gaohong, HUANG Xiaoyan, YE Bingliang. Principle analysis and parameters optimization of rotary rice pot seedling transplanting mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 16-22. (in Chinese)
- 16 叶秉良, 吴国环, 俞高红, 等. 旋转式水稻钵苗移栽机构移栽臂设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 45-52.  
YE Bingliang, WU Guohuan, YU Gaohong, et al. Design and test on transplanting arm of rotary transplanting mechanism for rice pot-seedling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 45-52. (in Chinese)
- 17 吴国环. 非圆齿轮行星系水稻钵苗移栽机构的优化设计与试验[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
- 18 王林伟. 非圆齿轮行星系水稻钵苗移栽机构的参数优化与设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014.
- 19 黄小艳. 旋转式水稻钵苗移栽机构的参数优化与设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.
- 20 李革, 陈孝明, 俞高红, 等. 基于 VB 的旋转式分插机构运动干涉判别方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 44-47.  
LI Ge, CHEN Xiaoming, YU Gaohong, et al. Distinguishing method for motion interference of rotary transplanting mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 44-47. (in Chinese)
- 21 李革, 赵匀, 俞高红. 椭圆齿轮行星系分插机构的机理分析和计算机优化[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 78-81.  
LI Ge, ZHAO Yun, YU Gaohong. Theoretical analysis and parameters optimizing of separating-planting mechanism with planetary elliptical gears[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(4): 78-81. (in Chinese)