

# 移植手防苗损伤技术研究

陈大伟<sup>1</sup>, 李业凯<sup>1</sup>, 初 麒<sup>2</sup>, 刘淑梅<sup>1</sup>, 柳甜甜<sup>1</sup>, 辜 松<sup>3</sup>

(1.山东中天盛科自动化设备有限公司, 山东 日照 276805; 2.广州实凯机电科技有限公司, 广东 广州 510640; 3.华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642)

**摘 要:** 移植手抓取种苗时, 从种苗正上方直接下移至抓取位置易造成高株种苗受压破损, 采取先在种苗侧方下移到作业高度再水平运动到抓取位置的运动轨迹可避免该情况发生, 进而降低移植手对种苗的株高要求。但移植手水平运动至作业位置过程中, 易与种苗伸展开的枝叶发生碰撞, 导致枝叶折断, 针对这一问题, 设计一种可利用正压气流对种苗枝叶进行导向, 进而防苗损伤的四齿伸缩式移植手。通过对正压气流管路的流体仿真分析, 确定正压气流管路为2条, 中心距离为15 mm。以红掌为移植对象, 进行了移植手防苗损伤作业性能正交试验, 确定移植手作业参数。即正压气流管路进口压力为0.4 MPa、管路内径为8 mm、移植手水平移动速度为0.04 m/s时, 移植手对红掌种苗防损伤成功率为98%。

**关键词:** 移植手; 正压气流; 种苗; 导向

**中图分类号:** S233.74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-2154 (2020) 04-0022-05

## 0 引言

设施农业生产中, 自动化移植机已成为国外种苗生产中的重要节点设备, 目前欧美、日韩等许多国家已经研制出多种机械式、机器人自动化式的移植设备<sup>[1]</sup>。近年来, 中国设施园艺装备不断发展, 但机械化水平还相对落后<sup>[2]</sup>, 严重缺乏应用于主要生产环节的机械化装备<sup>[3,4]</sup>, 如种苗移植作业主要采用人工作业, 劳动强度大且移植效率较低, 人工成本也不断攀升<sup>[5]</sup>。因此开发研制符合我国国情、高效可靠、适合规模作业要求的移植设备成为设施园艺的发展趋势之一<sup>[6]</sup>。

移植手是自动化移植设备的关键末端执行机构, 在荷兰、美国等国家, 穴盘种苗移植技术发展已较为成熟<sup>[7]</sup>, 主要分为铲式和针式两种类型。Kutz 等人早在上世纪 80 年代已开始对移植手进行研究<sup>[8]</sup>, 主要通过气缸驱动片状或针状部件完成种苗抓取。欧洲一些企业采用导管式移植手, 即利用

导管形状引导齿变形达到合理的入土角度<sup>[6]</sup>, 为使钢齿角度可渐变, 减轻钢齿与导管间摩擦力, 通常导管尺寸较长, 占用空间大。近年来, 国内对移植手的研究也取得了初步成果。蒋焕煜<sup>[9]</sup>、韩绿化<sup>[10]</sup>、蒋卓华<sup>[11]</sup>等人对移植手作业性能进行了试验研究, 高国华<sup>[12]</sup>、张丽华<sup>[13]</sup>等人针对移植手对基质坨夹紧效果进行了研究。目前移植机械手的研究主要集中在种苗移植过程中钢齿对穴盘种苗的基质坨抓取作业性能, 作业时移植手通常在种苗的正上方一定高度伸出钢齿进行移植, 因此对于枝叶稍高且较脆弱的种苗, 移植手在下移过程中易造成枝叶损伤, 因此移植手采取水平运动, 从侧方到达移植作业位置的方式, 可防止种苗枝叶压伤, 但移植手硬性将种苗推向一侧, 对于枝叶展开角度较大的种苗, 仍易造成损伤。

针对移植手易对种苗枝叶造成撞击损伤的问题, 本文提出一种利用正压气流实现种苗定向倒伏的方法, 即在移植手上设置气流管路, 利用管路中

收稿日期: 2020-04-14

基金项目: 山东省重点扶持区域引进急需人才项目(2019YF0010)。

作者简介: 陈大伟(1982—), 男, 中级经济师, 主要从事农业机器人设计研究。

通讯作者: 辜松(1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事现代园艺生产装备的研究。E-mail: sgu666@sina.com

的正压气流使种苗枝叶归拢、向同一侧倒伏，以减缓移植手水平进给过程中对种苗的撞击强度。本文以移植量较大，枝叶较多的红掌种苗为代表进行研究，考察正压气流对红掌种苗的拢苗效果，以期利用正压气流辅助移植手达到防止移植过程中对种苗造成损伤的目的。

## 1 移植手设计

### 1.1 正压气流拢苗原理

如图1所示为比较常见的移植手类型，铲式移植手的钢铲在插入基质过程中，通过导向孔板，使钢铲向基质块中心聚拢实现对基质块的收缩拾取，适用于小苗移植；针式和导管式移植机械手，同样利用导向孔板或导管使钢针行成一定角度，以收缩夹持基质块，这两种模式为避免压损种苗需要较大的作业空间高度。

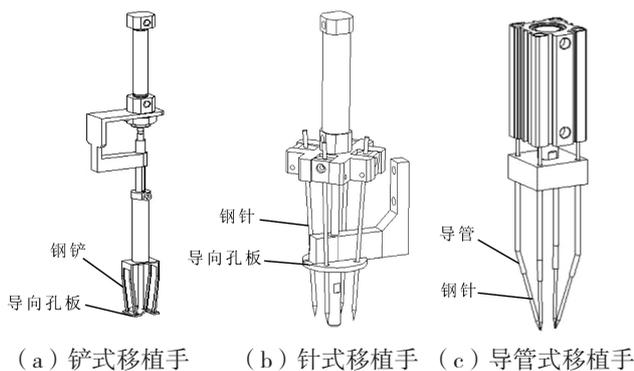


图1 常见移植机械手

在高株种苗移植过程中，移植手避开种苗所在区域，于种苗侧方下落至所需作业高度，再水平运动到达最终所需移植作业位置，则可有效避免移植机械手由种苗正上方下落导致的压伤种苗枝叶问题，同时在设计中则无需考虑种苗的高度问题。如图2所示，为避免移植手水平运动过程中硬性将种苗推向一侧造成种苗损伤，在移植手上设置正压气流管路，在移植手水平运动至与种苗接触前，先利用正压气流将种苗拢向一侧，使其呈倒伏状，以避免移植手与种苗的硬性碰撞。

### 1.2 设计方案

目前国内72穴穴盘在种苗的生产中普遍使用，穴孔尺寸如图3所示，穴孔上边尺寸为38 mm × 38 mm，

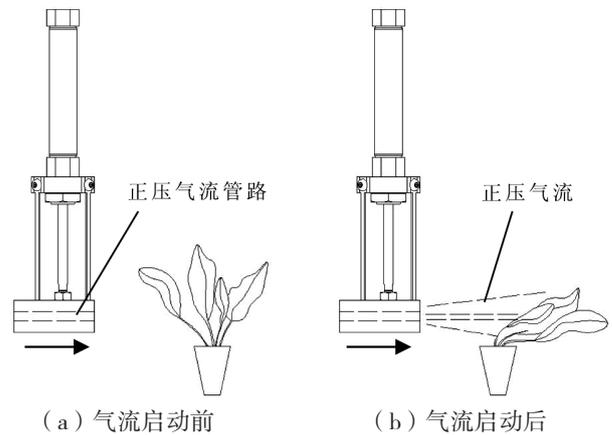


图2 正压气流拢苗原理示意图

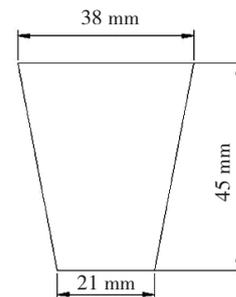


图3 穴孔尺寸

下边尺寸为21 mm × 21 mm，穴孔深度为45 mm，穴孔倾角约为80°，相邻穴孔间距为43 mm。

针对上述参数，移植手设计如图4所示。移植手主要由气缸、钢齿固定块、4个片状钢齿及钢齿导向块组成。通过气缸的伸缩回时，4个钢齿在钢齿导向块的作用下，以一定角度伸缩，实现种苗的抓取动作。

钢齿导向块是移植手的关键部件，对移植手的抓取效果至关重要。钢齿限位块外形设计为长方体空腔，前端设置成V型以减少移植手与种苗间的干涉，同时对种苗有聚拢效果。为保证多个移植手可同时并成一排进行移植作业，移植手钢齿导向块宽度参照穴孔上边尺寸及穴孔间距，设置为40 mm。为保证钢齿在任意入土位置插入穴盘时，不与穴孔内部发生干涉或摩擦，设计钢齿经钢齿导向块的钢齿限位孔限位后入土角度约为80°。钢齿导向块腔体内部设置正压气流管路，实际作业时，该管路与气源连接。

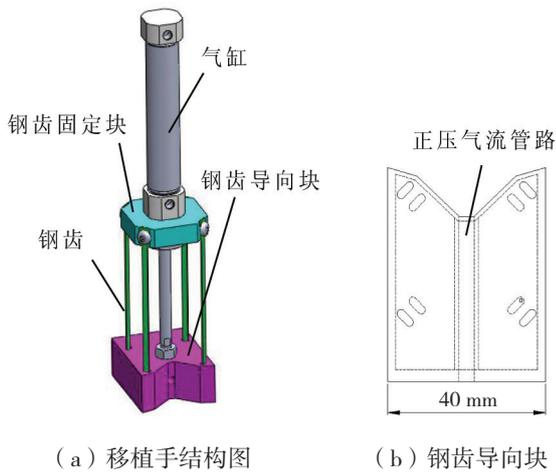


图4 移植机械手

## 2 正压气流管路流场分析

### 2.1 正压气流管路流场分析

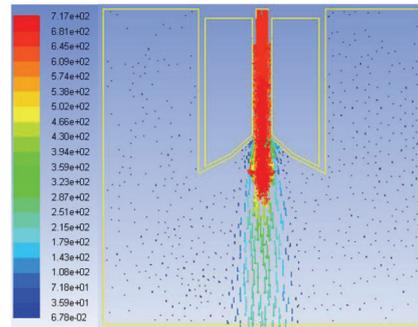
为了解正压气流管路中喷射气流的有效作用范围,对上述钢齿导向块腔体内部正压气流管路进行流场分析。为便于正压气流管路与常用气管连接,仿真分析中设定正压气流管路内径为4 mm。

利用 SolidWorks 软件对钢齿导向块建立三维模型,使用 Gambit 软件对模型进行网格划分,由于钢齿导向块对称分布,截取 1/2 钢齿导向块模型作为仿真对象,采用标准  $k-\varepsilon$  湍流模型。将正压气流管路尾端设为压力进口,综合考虑气流拢苗效果且需避免种苗损伤,压力进口处压力值分别设为 0.3、0.4 MPa,正压气流管前端设为自由流动出口,空气密度  $\rho$  为  $1.29 \text{ kg/m}^3$ ,环境压力为  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,环境温度为 298 K,动力黏度  $\mu$  为  $1.78 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ ,获得正压气流管路速度场分布如图 5 所示。

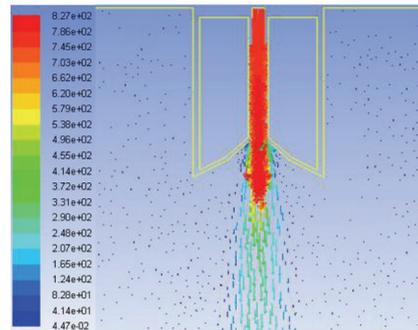
从图 5 可以看出,正压气流管路喷射出的气流有效作用范围没有完全覆盖钢齿导向块前端区域,且气流有效作用范围受气流压力的影响很小,单管射流范围未能覆盖整株穴盘苗,且流场边缘气流作用力较弱,难以保证实现理想拢苗效果。

### 2.2 双正压气流管路流场分析

为保证正压气流管路喷射出的气流可完全覆盖穴孔内种苗,结合上述正压气流管路速度场的分布情况,拟在钢齿导向块内设置 2 条正压气流管路。



(a) 0.3 MPa正压气流管路速度场分布



(b) 0.4 MPa正压气流管路速度场分布

图5 正压气流管路速度场分布

采用与上述同样方法对钢齿导向块腔体内部 2 条正压气流管路进行流场分析,目的在于观察 2 条正压气流管路射流场分布情况,及 2 条射流之间是否会产生干扰,以此确定 2 条正压气流管路的合理间距。

分别对 2 条正压气流管路中心距为 10、15、20 mm 的 3 个钢齿导向块模型进行流场分析,结果如图 6 所示。从图中可以看出,当正压气流管路中心距为 10 mm 时,钢齿导向块前端中心区域的有效气流场面积已接近覆盖穴盘苗,且 2 处射流之间相互影响很小,未造成气流走向混乱。当正压气流管路中心距为 15 mm 时,2 股气流产生的有效气流场面积几乎可覆盖整株穴盘苗,气流流速较均匀平稳。当正压气流管路中心距为 20 mm 时,2 股气流在中间区域重合减少,气流流速明显降低,气流场分布不均匀。综合以上分析,移植手钢齿导向块腔体内部 2 条正压气流管路的间距设定为 15 mm。

## 3 移植手防苗损伤作业性能试验

为考察增设正压气流管的移植手对种苗的拢苗导向作用及防损效果,对移植手进行防苗损伤作业

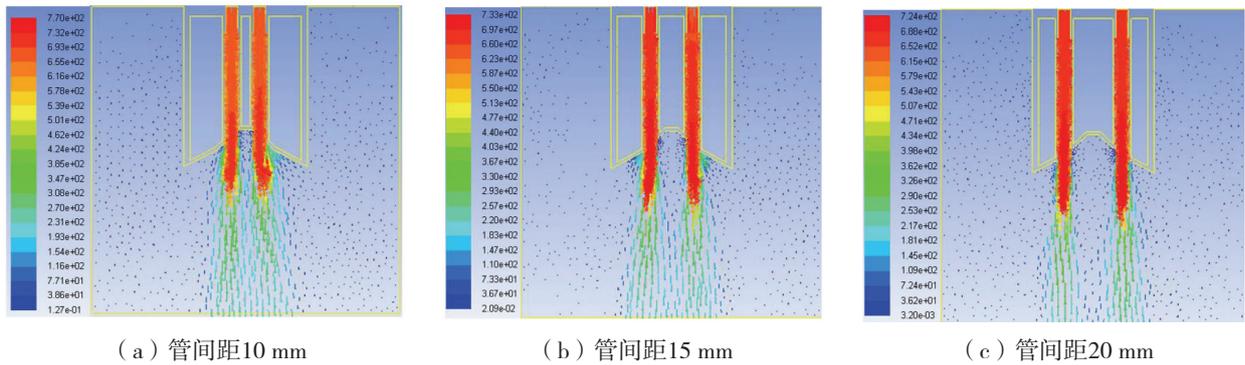


图6 不同间距正压气流管路速度场分布

性能试验，以确定移植手合理的作业参数。

### 3.1 材料与方

在种苗拢苗导向过程中，正压气流管中喷射气流的压力对种苗的导向作业效果有重要的影响，正压气流压力过小，气流导向能力不强，无法保证种苗枝叶达到归拢倒伏状态，气流压力过大易导致种苗出现损伤。正压气流管内径的变化直接影响气流有效作业范围，但在保证拢苗效果的前提下，应尽可能减小管径，节省耗气量。移植手的水平进给速度也会对种苗损伤产生影响，当气流导向效果不好时，移植手的高速进给会造成枝叶的损伤。

综合以上分析，试验以种苗防损成功率为目标函数，以气流压力  $P$ 、气流管内径  $D$  及移植手水平移动速度  $V$  为影响因素，按 3 因素 3 水平进行正交试验，共计 9 组。综合考虑气流效果、气路安装匹配及移植手作业效率，气流压力  $P$  的 3 个水平设定为 0.2、0.3 和 0.4 MPa；气流管内径  $D$  的 3 个水平设定为 4、6、8 mm；移植手水平移动速度  $V$  的 3 个水平设定为 0.01、0.04、0.07 m/s。试验中，种苗经正压气流导向后，移植手水平移动到作业位置，无枝叶出现损伤则为防损成功。

试验选用移植期红掌种苗，每组条件下采用不同种苗进行 50 次试验，如图 7 所示。根据移植手钢齿作业角度需求，钢齿导向块与穴盘上表面间距为 12 mm，为避免移植手与红掌种苗散开枝叶干涉，钢齿导向块前端初始位置与穴孔边缘距离定为 40 mm。试验时，正压气流启动后，移植手通过 4 轴机械手水平运动到实际抓取组培苗位置，然后向上提起，此时观察红掌种苗损伤情况。



图7 移植手防苗损伤作业性能试验台

### 3.2 结果与分析

移植手防苗损伤作业性能试验结果如表 1 所示。

表1 移植手防苗损伤作业性能正交试验结果

| 试验号    | 试验水平                |                   |                                     | 作业成功率 /% |
|--------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|----------|
|        | 气流压力 $P/\text{MPa}$ | 管内径 $D/\text{mm}$ | 速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ |          |
| 1      | 0.2                 | 4                 | 0.01                                | 92       |
| 2      | 0.2                 | 6                 | 0.04                                | 88       |
| 3      | 0.2                 | 8                 | 0.07                                | 74       |
| 4      | 0.3                 | 4                 | 0.04                                | 84       |
| 5      | 0.3                 | 6                 | 0.07                                | 88       |
| 6      | 0.3                 | 8                 | 0.01                                | 98       |
| 7      | 0.4                 | 4                 | 0.07                                | 92       |
| 8      | 0.4                 | 6                 | 0.01                                | 100      |
| 9      | 0.4                 | 8                 | 0.04                                | 98       |
| $k_1$  | 84.7                | 89.3              | 96.7                                |          |
| $k_2$  | 90.0                | 92.0              | 90.0                                |          |
| $k_3$  | 96.7                | 90.0              | 84.7                                |          |
| 极差 $R$ | 12.0                | 2.7               | 12.0                                |          |

对表1数据进行极差分析,从极差结果可以看出,气流压力 $P$ 与移植手水平移动速度 $V$ 对于移植手防损作业性能影响较大,而气流管内径 $D$ 的影响很小。在气流压力为0.2 MPa时,成功率随移植手水平移动速度的增加呈现下降趋势,主要原因是气流压力较低,大部分组培苗未出现倒伏,当移植手运动速度较快时,强行将枝叶推向一侧,导致有枝叶出现折断现象。当气流压力为0.4 MPa时,种苗均向同一方向倾斜,此时如移动速度较慢,则可沿着种苗倾倒的方向顺势将种苗推向一侧,防损效果较好。综合考虑作业效果及生产率,移植手作业参数定为气流压力0.4 MPa、正压气路管内径8 mm、移植手水平移动速度0.04 m/s,此时,防损成功率为98%。

#### 4 结语

1) 针对移植手在移植过程中易造成的种苗撞击损伤的问题,设计一种利用正压气流防苗损伤的四齿伸缩式移植手。

2) 对正压气流管路的流场进行分析,确定管路为2条,管路中心距为15 mm。

3) 对移植手进行防苗损伤作业性能试验,确定移植手作业参数为气流压力0.4 MPa、正压气路管内径8 mm及移植手水平移动速度0.04 m/s,在此条件下,移植手防苗损伤成功率为98%。

#### 参考文献

[1] 岳建魁,郭俊先,梁佳,等.国内外移植机械发展现状[J].新疆农机化,2016(5):30-32,36.  
[2] 辜松.设施园艺现代生产装备与技术[M].北京:中国农业出版社,2015:1-2.

[3] 辜松.设施园艺装备化作业生产现状及发展建议[J].农业工程技术,2018,38(4):10-15.  
[4] 张跃峰,杨艳丽,初麒,等.设施园艺种苗生产装备系统[J].农机化研究,2018,40(10):257-261.  
[5] 金三林,朱贤强.我国劳动力成本上升的成因及趋势[J].经济纵横,2013,154(2):37-42.  
[6] 黎波,辜松,初麒,等.椰糠培育叶菜种苗移植机械手设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(14):18-24.  
[7] 辜松,杨艳丽,张跃峰.荷兰温室盆花自动化生产装备系统的发展现状[J].农业工程学报,2012,28(19):1-8.  
[8] KUTZ L J, MILES G E, HAMMER P A, et al. Robotic transplanting of bedding plants[J]. Transactions of ASAE,1987,30(3):586-590.  
[9] 蒋焕煜,施经挥,任焯,等.机器视觉在幼苗自动移钵作业中的应用[J].农业工程学报,2009,25(5):127-131.  
[10] 韩绿化,毛罕平,胡建平,等.温室穴盘苗自动移栽机设计与试验[J].农业机械学报,2016,47(11):59-67.  
[11] 蒋卓华,蒋焕煜,童俊华.穴盘苗自动移栽机末端执行器的优化设计[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(6):1119-1125.  
[12] 高国华,冯天翔,李福.斜入式穴盘苗移栽手爪工作参数优化及试验验证[J].农业工程学报,2015,31(24):16-22.  
[13] 张丽华,邱立春,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.

(下转第38页)

## Design and Experiment of Peanut Harvester in South China

Wang Binbin, Zhang Xuan

(Guangdong Institute of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou 510630, China)

**Abstract:** According to the soil characteristics and planting agronomy of peanut in South China, an economic and applicable peanut harvester was developed. This paper introduces the overall structure and working principle of the machine, and designs and calculates the key parts of the machine. This machine selects the secondary separation cleaning device which is composed of conveying separation chain grate and vibrating screen. It has good separation effect of loam and fruit seedling, small loss rate, compact structure and high reliability. It is suitable for peanut harvesting under various soil and planting agronomic conditions in South China. Through the field performance experiment, the productivity of the machine was 0.17 hm<sup>2</sup>/h, the fruit-loss rate was 1.5%, the damage rate was 0.15%, and the impurity content was 17%. All indexes met the requirements of industry standards.

**Key words:** peanut in South China; harvester; design; experiment

(上接第26页)

## Study on Preventing Transplanting Manipulator from Damaging Seedlings

Chen Dawei<sup>1</sup>, Li Yekai<sup>1</sup>, Chu Qi<sup>2</sup>, Liu Shumei<sup>1</sup>, Liu Tiantian<sup>1</sup>, Gu Song<sup>3</sup>

(1. Shandong Zhongtianshengke Automation Equipment Co., Ltd., Rizhao 276805, China;

2. Guangzhou Sky Mechanical & Electrical Technology Co., Ltd., Guangzhou 510640, China;

3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** When the transplanting manipulator grabs the seedlings, moving directly from the top of the seedlings to the grabbing position will easily cause damage to the tall seedlings. The problem can be avoided by transplanting manipulator moving down to the working height from seedling side and then horizontally moving to the grab position, this method can reduce the plant height requirements for transplantation. However, during the movement of the transplanting manipulator to the working position, it is easy to collide with the seedlings, resulting in damage to the seedlings. Aiming at this problem, this paper designs a four-tooth telescopic transplanting manipulator that can use positive pressure air flow to guide seedlings and prevent damage to seedlings. Through the fluid simulation analysis of the positive pressure airflow pipeline, it is determined that two positive pressure airflow pipelines are required, and the center distance is 15 mm. An orthogonal experimental to avoid transplanting manipulator damaging seedlings was carried out, experimental results showed that when the positive pressure air flow pipeline inlet pressure was 0.4 MPa, the pipeline inner diameter was 8 mm, and the transplanting manipulator horizontal moving speed was 0.04 m/s. The success rate of preventing anthurium seedlings damage was 98%.

**Key words:** transplanting manipulator; positive pressure airflow; seedlings; guidance