

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.10.008

# 单人工上苗式半自动蔬菜嫁接机关键机构设计与试验

童俊华<sup>1,2</sup> 丁煜华<sup>1</sup> 武传宇<sup>1,2</sup> 喻擎苍<sup>1</sup> 泮金辉<sup>1</sup> 孙良<sup>1</sup>

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江省种植装备技术重点实验室, 杭州 310018)

**摘要:** 半自动嫁接机价格低、适用蔬菜种类广,但其生产能力相对低。为简化操作、提高嫁接效率,设计一种单人工补给砧木和接穗苗的贴接式半自动蔬菜嫁接机。嫁接机关键部件包括砧木夹持旋转机构、旋转持苗防回转机构、切削机构等;其中,旋转持苗防回转机构采用了双棘轮反向止动,实现单电机驱动双轴间歇反向旋转,保证上苗和夹持工序有序配合;确定了砧木上苗位、夹持、切削、嫁接工位的较优布局,可实现单人工同时上砧、穗木苗。对南瓜和丝瓜穴盘苗进行嫁接试验表明:嫁接成功率达到89%,与人工相近;嫁接效率达到846.3株/h,是人工嫁接效率的3.3倍,证明该单人工上苗操作的贴接式嫁接机满足工厂化嫁接作业要求。

**关键词:** 嫁接机; 贴接法; 双棘轮; 人工上苗

中图分类号: S223.1; S616 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)10-0065-08

## Design and Experiment of Key Mechanism for Semi-automatic Vegetable Grafting Machine

TONG Junhua<sup>1,2</sup> DING Yuhua<sup>1</sup> WU Chuanyu<sup>1,2</sup> YU Qingcang<sup>1</sup> PAN Jinhui<sup>1</sup> SUN Liang<sup>1</sup>

(1. Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China

2. Key Laboratory of Transplanting Equipment and Technology of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Semi-automatic grafting machine is widely used in variety of vegetables with a low equipment price. However, its production capacity is relatively low. In order to simplify the operation and improve the efficiency of grafting, a semi-automatic grafting machine for single person to graft rootstock and scion seedlings was designed. The design of the key components of the grafting machine included stock and scion seedlings clamping and rotation mechanism, a seedling holding anti-rotation mechanism and a cutting mechanism. The seedling holding anti-rotation device adopted a double ratchet reverse stop to realize a single motor driven two axles with reverse rotation, which was used to ensure the orderly mating process for the grafting seedlings. The optimized layout design for seedling putting position, clamping, cutting, and grafting position would be convenient for single-person to put rootstock and scion seedlings at the same time. The pumpkin seedlings and loofah seedlings were used for grafting test. The different groups test of single artificial seedling was carried out to analyze the graft success rate and grafting efficiency of the model. The grafting experiments on pumpkin and loofah seedlings showed that the success rate of grafting reached 89%, which was similar to that of artificial grafting. The grafting speed reached 846.3 strains/h, which was nearly 3.3 times of artificial grafting rate. It proved that the semi-automatic grafting machine design met the requirements of factory grafting operations.

**Key words:** grafting machine; pith-cambium grafting; double-ratchets; semi-automatic grafting

## 0 引言

嫁接可增强蔬菜作物的抗病性、抗旱性,使作物早熟,提高作物产量<sup>[1-3]</sup>。目前国内蔬菜幼苗嫁接

作业多依靠人工完成,存在嫁接效率低、嫁接成本高等问题<sup>[4-6]</sup>,随着劳动力成本的上升和对生产高效率的要求,很有必要通过操作简单可靠<sup>[7]</sup>、嫁接效率和成功率高的嫁接机来实现该作业生产机械

收稿日期: 2018-02-27 修回日期: 2018-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51375460、51505429)和杭州市农业科研攻关项目(161322Z001)

作者简介: 童俊华(1984—),男,讲师,博士,主要从事农业装备智能化技术研究,E-mail: jhtong@zstu.edu.cn

通信作者: 武传宇(1976—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农业装备研究,E-mail: cywu@zstu.edu.cn

化<sup>[8-11]</sup>。

日本和韩国自20世纪90年代开始研制嫁接机<sup>[12-13]</sup>。韩国 Helper Robotech 公司开发了 GR800CS 型自动嫁接机,该机有两名操作人员,可进行茄科和瓜科蔬菜的嫁接,嫁接效率可达 800 株/h<sup>[14-16]</sup>。2011年,日本井关农机株式会社和日本生研机构共同推出了 GRF800-U 型自动嫁接机,该机使用贴接法嫁接,嫁接效率达 800 株/h,推广价格为 140 万人民币<sup>[17-19]</sup>。中国对自动蔬菜嫁接机的研究起步较晚,现有机型大多处于实验室样机状态<sup>[20-22]</sup>。1998年,中国农业大学张铁中等研制出 2JSZ-600 型蔬菜自动嫁接机<sup>[23]</sup>,嫁接效率达 600 株/h。2009年又研制了双臂蔬菜自动嫁接机,嫁接效率提升至 854 株/h<sup>[24]</sup>。2012年,北京农业智能装备研究中心研制了自动蔬菜嫁接机<sup>[25]</sup>,将作业效率提高至 800 株/h。2017年,中国农业大学褚佳等设计了南瓜科穴盘苗的单人操作嫁接机器人<sup>[11]</sup>,嫁接成功率达 95%,嫁接效率达 455 株/h。目前全自动嫁接机的生产能力高,但其价格高昂农民难以接受,且对嫁接用苗的要求较高;半自动嫁接机生产能力低,但价格和对嫁接用苗要求相对更低。我国育苗机械技术正稳步发展,但仍存在蔬菜育苗生产模式不一致等问题<sup>[21,25-26]</sup>,应在保证嫁接机高生产率的同时,开发低成本、通用性好的嫁接设备<sup>[27]</sup>。

本文设计一种贴接式半自动蔬菜嫁接机,其砧、穗木上苗圆盘与持苗双臂采用双棘轮防回转机构连接,实现单人工砧、穗木的上苗操作,以达到相对提高嫁接效率的目的。通过虚拟仿真构建蔬菜嫁接机模型,试制样机后结合 PLC 控制进行人机配合嫁接试验,测定机器嫁接性能参数,并与人工操作对比。

## 1 嫁接机组成与原理

该嫁接机工作区域由嫁接主区域和嫁接辅助区域组成,如图 1 所示。

幼苗嫁接主区域包括夹苗区域、搬运区域、切削区域、嫁接区域。

幼苗嫁接辅助区域包括人工上苗操作区域、送苗夹和输送苗区域。

嫁接主区域左右对称,两部分分别是接穗和砧木的工作区域。该区域由持苗盘、夹持机械臂、切削器、嫁接台和输送带组成,其中持苗盘可自转,夹持机械臂在持苗盘和嫁接台之间作来回 90° 往复动作,切削器固定布置在夹持机械臂路径中点 45° 处。工人负责在持苗盘处上苗,振料盘负责输送苗夹至嫁接台,输送带负责输送已嫁接完毕的幼苗。

整机工作流程为:操作员上苗后将两个夹持机

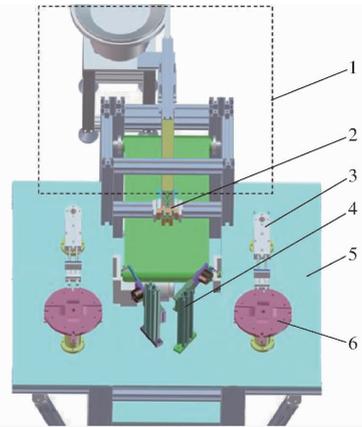


图 1 半自动蔬菜嫁接机

Fig. 1 Semi-automatic vegetable grafting machine

1. 送苗夹和输送苗区域
2. 嫁接台
3. 夹持机械臂
4. 切削器
5. 嫁接试验台面
6. 持苗盘

械臂手动调至水平状态,并对准持苗盘幼苗。上电后,人工分别补一株接穗和砧木苗,气动夹持机械臂往前夹取苗木。夹取成功后气缸杆收回,机械臂向内旋转 45° 至切削器处对幼苗进行切削处理。切削完成后,夹持机械臂继续旋转 45° 至嫁接台进行嫁接处理,嫁接台顶夹杆将苗夹顶出,夹住苗,嫁接完成的幼苗掉落至输送带排出,最后夹持机械臂回转至初始位置,同时持苗台旋转至下一个工位,此时完成了第 1 株苗嫁接,随后人工分别补一株接穗和砧木苗。第 3 株及以后的嫁接苗生产重复上电之后的动作。

自动嫁接机的关键技术是對待嫁接幼苗的处理,本文将幼苗处理分为 3 个过程,分别是取砧穗苗、切削砧穗苗和嫁接砧穗苗,分别对应嫁接机的取苗工位、切削工位和嫁接工位。

## 2 关键部位设计

### 2.1 砧穗木夹持旋转机构

砧穗木夹持搬运机构将砧木接穗苗从持苗盘处搬运到嫁接台处,这过程中夹持机构对砧木接穗苗夹持稳定性、搬运准确性以及嫁接成功率起到了决定性的作用。图 2 所示为夹持搬运机构和双棘轮旋转持苗防回转机构。

### 2.2 夹持搬运机构

夹持搬运机构的往复行程为 90°, 与相关双臂嫁接机器人<sup>[19-21]</sup>相比,缩短了行程。该机构的运动过程如图 3 所示。图中 A、B、C、D 为各持苗槽位。

幼苗从持苗盘到切削器以及嫁接台工位的移动需要机械臂来协助搬运。夹持搬运机构的设计原则是能准确取苗和夹苗,设计夹持机械臂由 SMC-CU 系列双作用气缸和固定在双作用气缸杆末端的 SMC-MHZ 系列手指气缸组成,通过双作用气缸伸

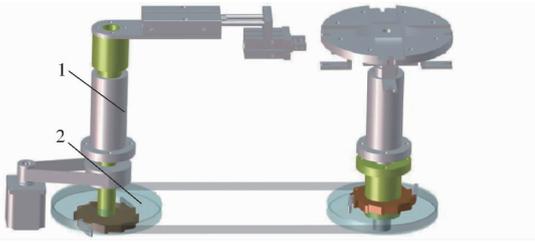


图 2 砧穗木夹持旋转机构

Fig. 2 Stock and scion seedlings clamping and rotation device

1. 夹持搬运机构 2. 双棘轮旋转持苗防回转机构

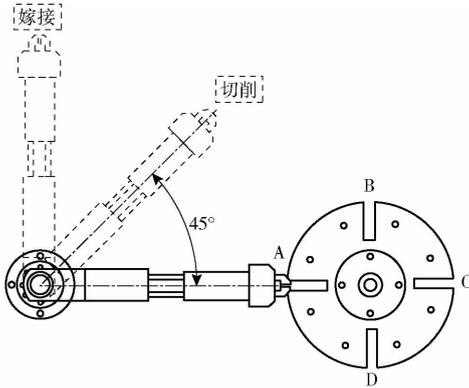


图 3 夹持搬运机构运动过程图

Fig. 3 Moving process graph of clamping and transportation mechanism

缩完成取苗和砧穗对接动作,手指气缸夹持完成夹苗动作。

初始位置下,夹持机械臂上双作用气缸启动往持苗盘上槽位 A 的方向伸出,气动夹持气缸夹紧槽位 A 中幼苗后双行程气缸回退取出幼苗;夹持臂逆时针转动 90°,将所夹持的幼苗转移至下一切削位置进行切苗;切苗后,夹持机械臂继续逆时针旋转 90°至下一嫁接位置进行嫁接,双作用气缸气动伸出将砧穗木切削点对接;嫁接完成后,夹持臂顺时针转动 90°复归初始位置。

夹持机械臂的夹持手指末端贴有适量泡沫胶,以防夹持过程中损伤幼苗。人工摆放幼苗时,应注意使幼苗叶处于持苗盘上方,根茎处于下方并保持自然下垂,确保夹持机械臂夹取幼苗成功。

### 2.3 双棘轮旋转持苗防回转机构

夹持机械臂需间歇从持苗盘四向槽位中夹取幼苗,为快速准确完成这个动作,设计了双棘轮旋转持苗防回转机构,如图 4 所示。

该机构由一对不同向棘轮、两个带轮、机械臂转轴和持苗盘转轴等组成。其中机械臂转轴与左棘轮固定,持苗盘轴套与机架和右棘轮固定。主动带轮受左棘轮控制,从动带轮固定于持苗盘转轴上。

图 5 所示为左右棘轮的向视图,棘爪固定于带轮上,是带轮和棘轮相互运动的媒介。该机构基本的工作要求是:步进电机带动机械臂转轴逆时针转

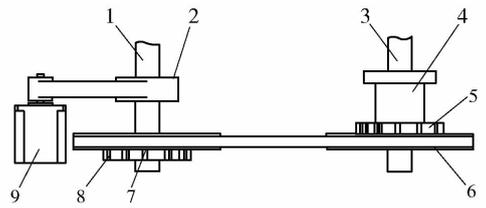


图 4 双棘轮机构平面图

Fig. 4 Planar graph of two-ratchets mechanism

1. 机械臂转轴 2. 从动轮 3. 持苗盘转轴 4. 持苗盘轴套  
5. 右棘轮 6. 从动带轮 7. 主动带轮 8. 左棘轮 9. 步进电机

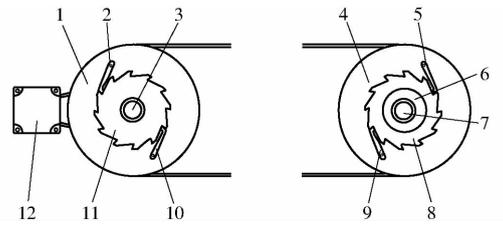


图 5 左右棘轮向视图

Fig. 5 Direction view of left and right ratchets

1. 主动带轮 2. 左棘轮第二棘爪 3. 持苗盘转轴 4. 持苗盘轴套  
5. 右棘轮 6. 从动带轮 7. 机械臂转轴 8. 右棘轮第二棘爪  
9. 步进电机 10. 左棘轮第一棘爪 11. 左棘轮 12. 右棘轮第一棘爪

动 90°,左棘轮通过棘爪摩擦阻力带动从动带轮,右棘轮止动后从动同步带轮和与之固定的持苗盘转轴保持静止;步进电机带动机械臂转轴顺时针转动 90°,左棘轮带动主动带轮并联动从动带轮,使持苗盘转轴逆时针转动 90°。

由工作要求可知,机械臂转动角度必须等于持苗盘转动角度,才可保证机械臂对幼苗夹持精准,故同步齿形带轮传动比设置为 1:1。为保证双轴在 0°、90°位置启停中棘爪完全卡入棘齿中,棘轮的棘齿需每隔 90°布置一个,由此可知棘齿齿数  $z$  为

$$z = 4n \quad (1)$$

式中  $n$ ——正整数

查机械设计手册,本设计取  $z = 16$ ,模数  $m$  通过强度要求确定,用拉力计测得并计算出力矩最大在机械臂转轴处为 0.59 N·m,可知机器工作中机械臂所需负荷强度很小,可先通过外形结构确定棘轮齿顶圆直径,本设计暂确定齿顶圆直径  $d_a$  为 70 ~ 80 mm 之间,根据公式

$$m = d_a / z = 4.375 \sim 5 \text{ mm} \quad (2)$$

取  $m = 5 \text{ mm}$ ,反向求得齿顶圆直径  $d_a = 80 \text{ mm}$ 。由模数  $m$ 、齿顶圆直径  $d_a$  和齿数  $z$  即可根据公式计算得其它设计参数,此处不再赘述。

双棘轮旋转持苗防回转机构通过机构之间的配合传动控制双轴反向旋转,能完成动作并简化控制逻辑。因为棘轮齿数固定,棘爪依靠卡位能实现精确定位,辅助夹持机械臂完成夹持、嫁接这些工位对

机械臂位置精度的要求。

## 2.4 切削机构

贴接嫁接法需对砧木和接穗都进行切削,并将砧木和接穗都削成斜面。图6所示为切削工位图,为保证切削机构互不干涉,左半部接穗的切削采用自上而下旋转切削,右半部砧木切削采用自下而上旋转切削,两个切削机构中的转动轴线均与切削转臂的中心线偏置一定的角度。

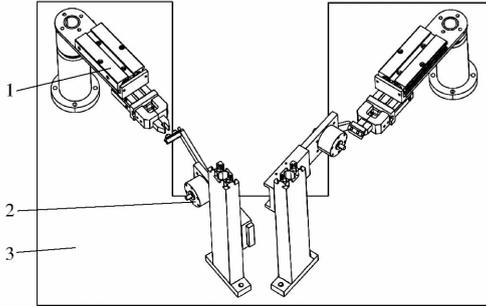


图6 切削工位图

Fig.6 Graph of cutting working position

1. 夹持机械臂 2. 切削机构 3. 试验台面

如图7所示,该切削机构由调节滑槽、旋转气缸、刀片安装板、刀片固定螺钉、刀片、紧定螺钉、切削转臂、距离调节臂组成。距离调节臂与调节滑槽组成滑动副,距离调节臂通过螺钉与调节滑槽固定,可以调整切削刀片的切削半径。切削转臂通过旋转气缸驱动,固定安装在旋转气缸的轴端,能使切削刀片有一个 $180^\circ$ 范围上下切削的动作。

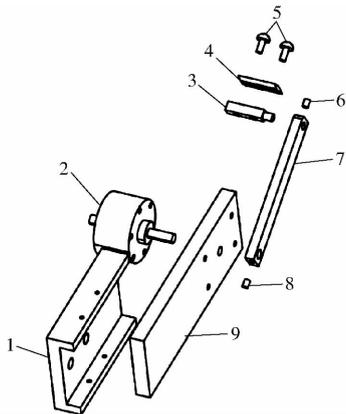


图7 切削机构分解图

Fig.7 Decomposition graph of cutting mechanism

1. 调节滑槽 2. 旋转气缸 3. 刀片安装板 4. 切削刀片 5. 刀片固定螺钉 6. 紧定螺钉1 7. 切削转臂 8. 紧定螺钉2 9. 距离调节臂

接穗子叶下方 $8\sim 10\text{ mm}$ 处需斜切出一个切口,砧木则需切除子叶节处的生长点、一片真叶,形成斜切口。

准确的切苗角度和较高成功率是嫁接需实现的目标,为此,本嫁接机构设置夹持机械臂移动时在切削机构处停顿片刻,以辅助实现切苗的稳定。

## 2.5 嫁接台机构

砧木和接穗切削好后,需要在嫁接台处对接并夹持。如图8所示为嫁接台机构,该机构由振动筛选盘、苗夹轨道槽、仿形导向块、苗夹气缸、单杆气缸等组成。

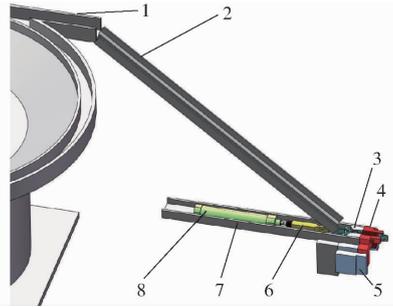


图8 嫁接台示意图

Fig.8 Schematic of grafting bench

1. 振动筛选盘 2. 苗夹轨道槽 3. 仿形导向块 4. 压夹块 5. 苗夹气缸 6. 推夹杆 7. 气缸槽 8. 单杆气缸

嫁接台机构工作原理为:振动筛选盘可调整至一定的频率进行振动筛选苗夹,苗夹由苗夹轨道槽引导入气缸槽,单杆气缸的推夹杆往前推动苗夹通过仿形导向块。仿形块的具体结构如图9所示,仿形块内部漏斗形设计容许苗夹铁丝通过,使苗夹保持水平状态。苗夹气缸收缩压迫苗夹接受到待嫁接苗后,苗夹气缸张开完成嫁接苗的嫁接工作。

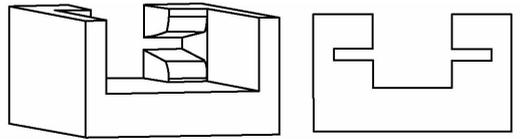


图9 仿形导向块

Fig.9 Profiling guide block

苗夹夹持好待嫁接苗后,掉落至输送带,由输送带运输至嫁接机外部进行后处理。

## 2.6 嫁接机嫁接效率理论分析

自动嫁接机各道工序设计完成后需考虑嫁接过程中人与机器相配合的时间对嫁接效率的影响,以指导后续试验。

本文将自动嫁接机的各道工序按时间先后顺序进行排列,制成工作时序图如图10所示。图中将时序分为机器运行操作和人工操作两部分。图中, $T$ 为人工操作时间; $t_1$ 为夹臂取苗时间; $t_3$ 为切削苗时间; $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 为搬运苗时间; $t_4$ 为嫁接苗时间; $t_5$ 为夹臂复位时间。

人工操作时间为上接穗苗和上砧木苗的时间。机器操作时间为夹持机械臂从持苗盘取苗时间、切削苗时间、搬运苗时间、嫁接苗时间、夹臂复位时间。嫁接完成一株幼苗所需时间由人工操作时间和机器操作时间共同组成,人工操作时间为 $T$ ,机器操作时

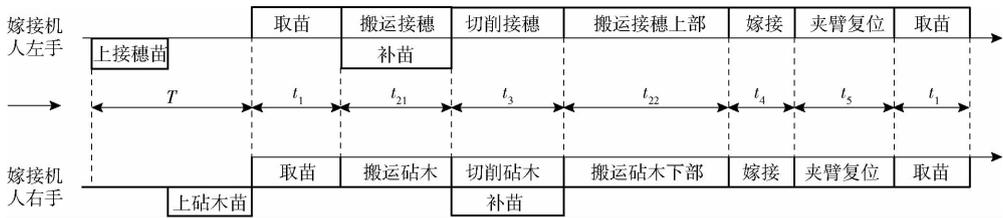


图 10 嫁接机工作时序图

Fig. 10 Working sequence in time graph of grafting machine

间为  $t_1 \sim t_5$ 。完成第 1 株苗所需时间是人工操作时间加上机器操作时间,上苗完成后启动机器。随着第 2 株苗、第 3 株苗的嫁接,人可在机器操作的同时进行补苗,所以每株苗所需时间可用机器操作时间代替。

假设本嫁接机实际上可达到或多于 800 株/h 的嫁接效率。

设  $t_a$  为完成第 1 株嫁接苗所需时间,  $t_b$  为完成第 2 株及之后每株苗所需时间。根据上文分析,可列出

$$t_a = T + t_1 + t_{21} + t_3 + t_{22} + t_4 + t_5 \quad (3)$$

$$t_b = t_1 + t_{21} + t_3 + t_{22} + t_4 + t_5 \quad (4)$$

按自动嫁接过程及安全生产要求,人必须在机器完成嫁接动作时间之内完成上苗动作,得人工操作时间和机器操作时间需满足

$$T \leq t_b \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{3\,600n}{t_a + (n-1)t_b} = \frac{3\,600n}{T + nt_b} \quad (6)$$

式中  $n$ ——嫁接次数

$\zeta$ ——完成  $n$  次嫁接的工作效率,株/h

对于所给理论目标,工作效率应满足

$$\zeta \geq 800 \text{ 株/h} \quad (7)$$

对同一人进行基础上苗培训,得出人工操作时间分布在 3~9 s 内,据此对  $T$  进行取值。图 11 中 4 条曲线分别代表人工操作时间  $T$  为 3.0、5.0、7.0、9.0 s 时嫁接效率随机器操作时间变化的关系。

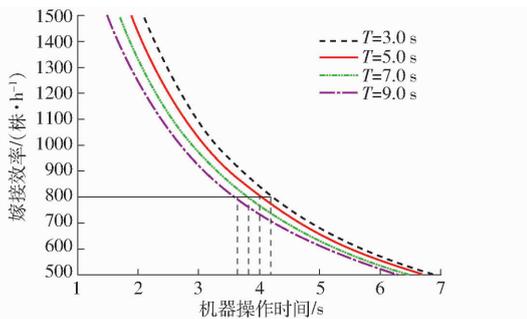


图 11 嫁接效率与人机操作时间关系曲线

Fig. 11 Relationship curves of grafting efficiency and time of human and machine operation

由图可看出,机器操作时间从 1.0 s 到 6.0 s 时,嫁接效率变小的幅度较大。根据嫁接效率关系

式(7)对图进行处理,可得出机器操作时间  $t_b$  的要求范围,经分析,为达到嫁接效率要求,在不同的人工操作时间  $T$  下,有如下关系

$$\begin{cases} t_b \leq 4.2 \text{ s} & (T = 3.0 \text{ s}) \\ t_b \leq 4.0 \text{ s} & (T = 5.0 \text{ s}) \\ t_b \leq 3.8 \text{ s} & (T = 7.0 \text{ s}) \\ t_b \leq 3.6 \text{ s} & (T = 9.0 \text{ s}) \end{cases} \quad (8)$$

据此做出人工和机器操作时间关系图,如图 12 所示。每个人个体差异明显,操作熟练度不同。在预期的嫁接效率下,人工操作时间  $T$  不同,机器操作时间  $t_b$  的要求也不同。

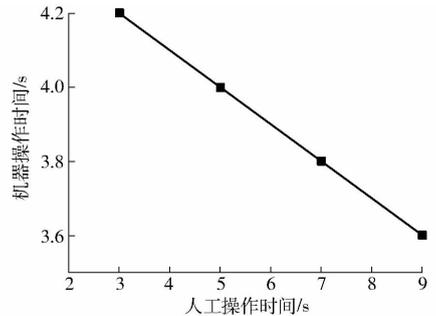


图 12 人工和机器操作时间关系

Fig. 12 Relationship graph of artificial and machine times

在实物试验中,可预先测得试验员人工操作时间  $T$ ,结合式(5)以及图 12 得出机器操作时间,并通过调控机器运行速度以达到这个机器操作时间,从而明确试验目标,以更快地在试验中获得理想嫁接效率。

### 3 试验

本试验需测定嫁接机的嫁接成功率、嫁接效率和嫁接后的幼苗存活率,并与人工进行比较,验证嫁接机的可行性。

本次试验上苗工序由人工完成,切削、搬运、嫁接等工序由机器自动完成。整个试验嫁接过程连续进行以保证统计数据科学性。

#### 3.1 试验准备

本试验采用瓜科“锦栗”南瓜作为砧木,“六叶早”丝瓜苗作为接穗,钵苗均采用集约化生产方式,保证每株嫁接苗生长和发育情况相似,排除个体差异对试验结果产生的影响。

试验过程中,为排除不确定因素的影响,该嫁接机的上苗过程均由同一人操作,后续操作由机器自动完成。

在机器作业中,采用 $5 \times 10$ 规格的50孔规格穴盘,试验对象分为A和B两组,每组包含100株砧木和100株接穗,对A组进行两次连续试验,每次试验使用50株砧木、50株接穗进行嫁接。待试验员休息充分后,对B组进行两次连续试验。相对应的,在人工嫁接作业中,试验员也连续嫁接合计200株的两组幼苗,并允许中途休息。

### 3.2 试验材料参数测定

贴接法嫁接方式需将砧木和接穗两个斜面靠在一起,用嫁接夹固定。本文培育的嫁接苗要求南瓜砧木胚轴直径在 $2.2 \sim 3.0$  mm,丝瓜接穗胚轴直径在 $1.5 \sim 2.0$  mm。

砧木和接穗的胚轴截面为椭圆形,利用测量工具对A、B两组砧木和接穗胚轴同一位置短轴和长轴进行测量,得出均值并计算记录基本参数如表1所示。

表1 试验材料数据

Tab.1 Data of test materials

苗木种类	组别	株数/株	胚轴直径 均值/mm	标准差/ mm
南瓜苗砧木	A	100	2.5	0.1
	B	100	2.4	0.1
丝瓜苗接穗	A	100	2.0	0.1
	B	100	2.0	0.1

本试验所选用的南瓜苗砧木和丝瓜苗接穗的胚轴直径符合要求范围,由标准差可得出每一株之间的胚轴直径变化不大,证明培育出的成品符合嫁接条件要求,可进行试验。

### 3.3 嫁接成功率及效率试验分析

试验员上苗的时间越短,嫁接效率越高。经过一段时间的上苗培训后,一般情况下,要求试验员动作规范快速放好幼苗。测得人工操作时间 $T$ 在4 s以内,根据图11对应机器操作时间 $t_b$ 在 $4.1 \sim 4.3$  s以内。

由于机器操作时间和嫁接效率负相关,所以机器操作时间 $t_b$ 的优化目标应接近较小值4.1 s。经程序调整后,测得机器操作时间在 $4.0 \sim 4.1$  s之间波动,符合要求,实际人工操作时间在4 s以内即可达到理论嫁接效率。

图13为嫁接过程:人工上苗、机器取苗、机器搬运幼苗、切削砧木和接穗、嫁接夹苗和输送下苗。

根据获得的人工操作时间和机器操作时间组合对A组和B组幼苗进行试验,结果如表2所示。

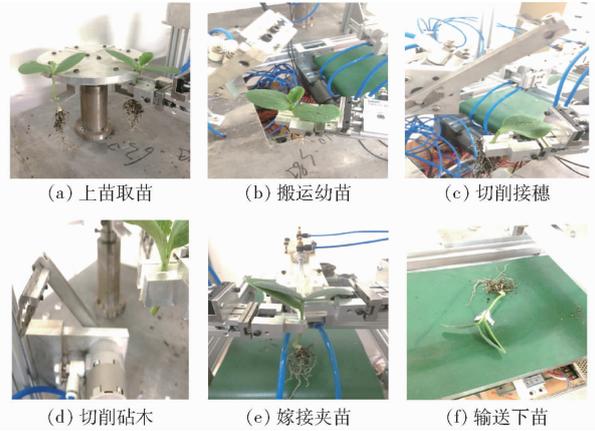


图13 嫁接过程示意图

Fig.13 Sketches of grafting processing

表2 成功率及嫁接效率试验结果

Tab.2 Test result of success rate and grafting efficiency

试验组别	幼苗数/对	总时间/s	嫁接效率/ (株·h <sup>-1</sup> )	夹持失败数/对	切削失败数/对	嫁接失败数/对	成功率/%
A	50	212.6	846.7	1	0	3	92
	50	213.3	843.9	1	2	4	86
B	50	212.9	845.5	1	2	3	88
	50	212.0	849.1	0	1	4	90
人工	50	723.8	248.8	0	5	0	90
	50	711.2	253.1	0	3	0	94
	50	715.9	251.4	0	4	0	92
	50	689.1	261.2	0	1	0	98

该试验结果与传统人工嫁接试验作对比。规定夹持失败为未夹持住幼苗,切削失败为切错或未切到幼苗苗茎,嫁接失败为砧穗木彼此分离。为消除人为因素影响,测得准确的嫁接效率,总时间不包括上下苗盘时间,试验员中途停留休息时间等在本试验中不作统计。从表2可以看出,机器作业的嫁接速率比人工作业快,嫁接成功率两者基本一致。为更直观地表达这些变化,讨论机器作业和人工作业对试验结果嫁接效率和成功率影响的显著性,作单因素方差分析,如表3、4所示。

表3 成功率及嫁接效率数据统计

Tab.3 Statistics of success rate and grafting efficiency

	组别	观测组数	平均值	方差
嫁接效率/(株·h <sup>-1</sup> )	机器作业	4	846.3	4.8
	人工作业	4	253.6	28.6
成功率/%	机器作业	4	89.0	6.7
	人工作业	4	93.5	11.7

由表3可知,机器作业嫁接效率均值为846.3株/h,人工嫁接效率为253.6株/h,从方差看,每盘苗的嫁接效率机器作业比人工作业更稳定。机器作业成功率均值为89%,与人工嫁接成功率

表 4 成功率及嫁接效率的方差分析

Tab. 4 Variance analysis of success rate and efficiency of grafting

差异源		<i>F</i>	<i>P</i>	$F_{0.05}$
嫁接效率	组间	42 030. 80	< 0. 01	5. 99
成功率	组间	4. 42	0. 08	5. 99

93.5% 相比,低了 4.5 个百分点,从方差看,每盘苗嫁接的成功率机器作业比人工作业更稳定。由表 4 分析结果可知,在机器和人工作业的嫁接效率上,临界值  $F$  大于  $F_{0.05}$ ,且无显著影响概率  $P$  小于 0.01,表明机器和人工作业对嫁接效率有非常显著的影响,在机器和人工作业的嫁接成功率上,临界值  $F$  小于  $F_{0.05}$ ,且无显著影响概率  $P$  大于 0.01,说明机器和人工作业对成功率的影响不显著。总体来说,试验结果满足本文设计目标,该半自动嫁接机效率可达人工的 3.3 倍,且机器嫁接成功率与人工作业基本一致。

根据试验结果可知,在机器作业中,切削失败、嫁接失败的个数较多,对嫁接成功率影响较大。通过分析,发现若人工上苗时子叶朝向未调整到位,切削过程中会出现切歪的现象,破坏需要保留的子叶,导致切削失败,上苗中应该将子叶调整到位;由于植物培育差异性,部分砧木子叶与茎秆连接处会

出现畸形弯曲,切削后截面与接穗截面差异过大无法对接,产生大幅偏移,导致嫁接失败,应从培育角度科学生产优质砧木接穗以降低畸形率。在人工作业中,人工切苗时,切苗角度和力度控制出现偏差都会导致切削失败,而夹持和嫁接过程相对更费时但是不容易出错。

## 4 结论

(1)为提高嫁接机的运行效率,本文优化嫁接机关键机构布局,使持苗旋转臂的总旋转角为  $90^\circ$ ,切削工位在其旋转范围的  $45^\circ$  位置,砧穗木上苗盘采用同侧设计,方便人机配合嫁接作业。

(2)嫁接机关键部位设计了双棘轮旋转持苗防回转机构,可实现单电机驱动双轴间歇旋转,提高嫁接效率,双棘轮定位精确,保证了嫁接的成功率。

(3)嫁接台安装仿形导向块和气缸夹持手,保证苗夹精准夹苗;人工操作时间和机器操作时间为 4 s 和 4.1 s 以内,使嫁接效率符合要求。

(4)嫁接样机通过人机配合嫁接试验得出常规作业性能参数,嫁接成功率和嫁接效率稳定,其嫁接成功率为 89%,嫁接效率为 846.3 株/h,是人工嫁接效率的 3.3 倍,满足工厂化生产嫁接苗的需求。

## 参 考 文 献

- 张凯良,褚佳,张铁中,等. 蔬菜自动嫁接技术研究现状与发展分析[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(3):1-13. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170301&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170301&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.001.  
ZHANG Kailiang, CHU Jia, ZHANG Tiezhong, et al. Development status and analysis of automatic grafting technology for vegetables[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3):1-13. (in Chinese)
- KUBOTA C, MCCLURE M A, KOKALIS-BURELLE N, et al. Vegetable grafting: history, use, and current technology status in North America[J]. Hort Science, 2008, 43(6):1664-1669.
- 褚佳,张铁中. 葫芦科营养钵苗单人操作嫁接机器人设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(增刊):259-264. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2014s142&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2014s142&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.042.  
CHU Jia, ZHANG Tiezhong. Design and experiment of vegetable grafting robot operated by one-person for cucurbitaceous seedlings cultivated in humus pots[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.):259-264. (in Chinese)
- 童俊华,喻擎苍,泮金辉,等. 双断根嫁接机自动搬运与回栽装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(10):59-66. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20171007&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171007&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.007.  
TONG Junhua, YU Qingcang, PAN Jinhui, et al. Design and experiment of automatic carrying and replanting device for both-root-cut grafting machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(10):59-66. (in Chinese)
- 王家胜,张峰峰,刘志波,等. 蔬菜自动嫁接装备及技术研究进展[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2017,34(4):303-307.  
WANG Jiasheng, ZHANG Fengfeng, LIU Zhibo, et al. Research progress on equipment and technology of vegetable auto-grafting[J]. Journal of Qingdao Agricultural University(Natural Science), 2017, 34(4):303-307. (in Chinese)
- 林欢,许林云. 中国农业机器人发展及应用现状[J]. 浙江农业学报,2015,27(5):865-871.  
LIN Huan, XU Linyun. The development and prospect of agricultural robots in China[J]. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2015, 27(5):865-871. (in Chinese)
- 王荣华,邱立春,田素博. 我国穴盘苗机械化生产的现状与发展[J]. 农机化研究,2008,30(7):230-231.  
WANG Ronghua, QIU Lichun, TIAN Subo. Status and development of mechanized processing of plug seedling in China[J].

- Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(7): 230 - 231. (in Chinese)
- 8 辜松, 江林斌. 国内外蔬菜嫁接机的发展现状[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(6): 847 - 851.  
GU Song, JIANG Linbin. Development of domestic and foreign vegetable[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(6): 847 - 851. (in Chinese)
- 9 郑群, 宋维慧. 国内外蔬菜嫁接技术研究进展(上)[J]. 长江蔬菜, 2000(8): 1 - 4.  
ZHENG Qun, SONG Weihui. Research progress of vegetable graft technique in the world[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2000(8): 1 - 4. (in Chinese)
- 10 张路. 贴接法自动蔬菜嫁接机器人的设计与试验研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.  
ZHANG Lu. Mechanical design and experimental study on cut-pasted automatic grafting robot for fruits and vegetables [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012. (in Chinese)
- 11 褚佳, 张立博, 张铁中, 等. 葫芦科穴盘苗单人操作嫁接机器人设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 7 - 13. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170102&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170102&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.002.  
CHU Jia, ZHANG Libo, ZHANG Tiezhong, et al. Design and experiment of grafting robot operated by one person for cucurbitaceous seedlings cultivated in plug trays[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 7 - 13. (in Chinese)
- 12 辜松. 2JC-500型自动嫁接机西瓜苗嫁接效果生产试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 84 - 88.  
GU Song. Production test of 2JC-500 automatic grafting machine for watermelon[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 84 - 88. (in Chinese)
- 13 张品端. 日本的蔬菜嫁接机器人[J]. 机器人技术与应用, 1997(5): 11 - 14.
- 14 CHIU Y C, CHANG M Y, WU G J, et al. Development of an automatic outward-feature properties measurement system for grafted tomato seedlings[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(1): 101 - 113.
- 15 EC21Inc. Supreme precision grafting robot [S/OL]. [https://helpersys.en.ec21.com/supreme-precision-grafting-robot\\_2012260\\_2012262.html](https://helpersys.en.ec21.com/supreme-precision-grafting-robot_2012260_2012262.html).
- 16 COMBA L, BARGE P, GAY P, et al. Autonomous robot design for pot-plant nurseries [C] // Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Belgirate: AIIA, 2011: 22 - 24.
- 17 铃木正肚, 小林研, 猪之奥康治, 等. ウリ科野菜用接ぎ木装置の開発(第4報)——実証実験と装置の实用化[J]. 农业机械学会誌, 1996, 58(3): 59 - 68.
- 18 森川信也, 西浦芳史, 藤浦建史, 等. 果菜类用简易接ぎ木装置に関する研究(第1報)——割り接ぎ用台木切断器具の試作[J]. 農業機械学会誌, 2004, 66(1): 82 - 89.
- 19 大越崇博, 小林研. ウリ科接ぎ木装置用自动给苗装置の開(第1報——台木用自动给苗装置の性能評") [J]. 农业机械学会誌, 2013, 75(2): 100 - 107.
- 20 初麒, 姜凯. 2JC-600型自动嫁接机的试验研究[J]. 农机化研究, 2011, 33(1): 183 - 186.  
CHU Qi, JIANG Kai. Experimental study on 2JC-600 automatic grafting machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(1): 183 - 186. (in Chinese)
- 21 姜凯, 郑文刚, 张骞, 等. 蔬菜嫁接机器人研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 8 - 14.  
JIANG Kai, ZHENG Wen'gang, ZHANG Qian, et al. Development and experiment of vegetable grafting robot[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 8 - 14. (in Chinese)
- 22 邹贵祖, 辜松. 果蔬机械化嫁接育苗生产[J]. 农机化研究, 2009, 31(2): 235 - 237.  
ZOU Guizu, GU Song. The production of vegetables mechanized grafting seedling[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2009, 31(2): 235 - 237. (in Chinese)
- 23 张铁中. 2JSZ600型蔬菜自动嫁接机[J]. 农村百事通, 2000(21): 42.
- 24 杨丽, 刘长青, 张铁中. 双臂蔬菜嫁接机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(9): 175 - 181.  
YANG Li, LIU Changqing, ZHANG Tiezhong. Design and experiment of vegetable grafting machine with double manipulators [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9): 175 - 181. (in Chinese)
- 25 陈正贝. 基于斜接面接合的茄科蔬菜针接式嫁接机关键技术研究及优化[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.  
CHEN Zhengbei. The key technology study and parameters optimization of pin-connected solanaceae vegetable grafting robot based on slanted cutting surface [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)
- 26 褚佳, 张铁中, 李军, 等. 断根嫁接苗自动栽植装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 28 - 34. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20161004&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161004&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.004.  
CHU Jia, ZHANG Tiezhong, LI Jun, et al. Design and experiment of automatic planting device for root-cut grafted seedlings [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 28 - 34. (in Chinese)
- 27 楼建忠, 李建平, 朱盘安, 等. 斜插式蔬菜嫁接机砧木夹持机构研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 30 - 35.  
LOU Jianzhong, LI Jianping, ZHU Pan'an, et al. Design and test of stock clamping mechanism for vegetable grafting [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(7): 30 - 35. (in Chinese)