

葫芦科穴盘苗单人操作嫁接机器人设计与试验

褚佳¹ 张立博¹ 张铁中^{1,2} 张文波¹ 王粮局¹ 刘展¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为提高葫芦科穴盘苗嫁接机器人的人均操作效率,在原先机器的基础上优化改进,设计了葫芦科穴盘苗单人操作嫁接机器人,并进行了效率提高的理论分析,通过分析得出,所设计的葫芦科穴盘苗单人操作嫁接机器人的人均操作效率与操作者的操作熟练度呈负相关的关系,理论上,设计的单人操作嫁接机器人人均操作效率比改进前提高1倍。通过试验得出,在种苗质量有保证的前提下,机器嫁接成功率可达95%,嫁接速度可达455株/h,实际作业的人均操作效率提高了50%以上。

关键词: 嫁接机器人; 葫芦科; 穴盘苗; 设计; 试验

中图分类号: S223.74; S616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)01-0007-07

Design and Experiment of Grafting Robot Operated by One Person for Cucurbitaceous Seedlings Cultivated in Plug Trays

CHU Jia¹ ZHANG Libo¹ ZHANG Tiezhong^{1,2} ZHANG Wenbo¹ WANG Liangju¹ LIU Zhan¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Ministry of Agriculture for Soil - Machine - Plant System Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: For the purpose of decreasing the investment of labour force in the process of vegetable grafting, a vegetable grafting robot operated by one person for Cucurbitaceous seedlings cultivated in plug trays was designed. The machine utilized the root-cutting grafting method. During working, the operator delivered respectively the stock and scion seedlings from plug trays on the left-hand and right-hand sides to seedling-providing platforms. The seedlings triggered the touching switches and then the machine completed automatically the subsequent motions of gripping, cutting, jointing, fixation and discharge controlled by PLC program. A theoretical analysis of promotion of grafting efficiency was done. In theory, the operating efficiency for one person of this robot can be promoted by 100%, compared with the old type of 2JSZ - 600II grafting robot. And the analysis suggested that with the operating qualification promoting, the efficiency would be higher. Experiment results showed that the grafting success rate of the machine could reach up 95% and its grafting speed was approximately 455 seedlings per hour. Compared with previous grafting robots whose grafting efficiency was merely 600 seedlings per hour operated by two people, the machine's working efficiency of per capita was improved by more than 50%. Therefore, the upgraded machine operated by one person was quite capable of developing the grafting labour efficiency.

Key words: grafting robot; Cucurbitaceous seedlings; plug trays; design; experiment

引言

与传统人工嫁接方式相比,自动嫁接在省时、省工、省力、作业质量优等方面具有显著优势^[1-4]。近年来,蔬菜自动嫁接技术在国内外有不同程度的发展。日本、韩国等是研究蔬菜自动嫁接技术最早的国家,

其研制的蔬菜嫁接机器人已应用于实际蔬菜育苗生产,但较为昂贵,并不适合一般农户和中小育苗基地^[4-11]。中国农业大学研制了2JSZ-600型和2JSZ-600 II型穴盘嫁接机^[12-13],此后,国内一些院校科研单位对蔬菜自动嫁接机装置也相继开展了研究^[14-19]。2014年,中国农业大学针对营养钵苗的

收稿日期: 2016-05-19 修回日期: 2016-08-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA10A506-2)和公益性行业(农业)科研专项(201303014-09)

作者简介: 褚佳(1989—),男,博士生,主要从事生物生产自动化研究,E-mail: chujia_1117@126.com

通信作者: 张铁中(1956—),男,教授,博士生导师,主要从事生物生产自动化及机电一体化研究,E-mail: zhangtz56@163.com

嫁接工作开展了适用于单人操作的嫁接机器人研究,并研制了相应样机^[4],其人均工作效率可达 285 株/h,但只适用于营养钵苗的自动嫁接作业。到目前为止,国内外研制的穴盘嫁接机大多需要 2 人供苗,人均效率并不理想。

因此,为提高穴盘幼苗自动嫁接的人均操作效率以及自动化水平,本文在 2JSZ-600 II 型蔬菜嫁接机的基础上,对其进行相应的改进,设计基于单人操作的葫芦科穴盘苗蔬菜嫁接机器人。

1 系统组成与工作原理

穴盘苗单人供苗蔬菜嫁接机器人主要由砧、穗木供苗台,砧、穗木夹持搬运机构,旋转切削机构,嫁接夹自动排列输送机构以及排苗机构等 5 部分组成,如图 1 所示。

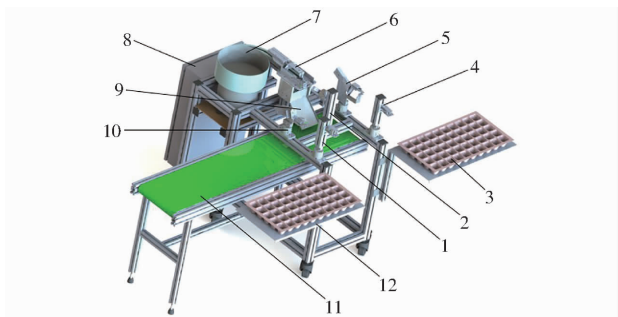


图 1 嫁接机结构示意图

Fig.1 Structure diagram of grafting robot

1. 砧木供苗台 2. 旋转切削机构 3. 穴盘 4. 穗木供苗台
5. 穗木夹持搬运机构 6. 嫁接夹输送机构 7. 振动盘 8. 控制箱
9. 排苗斜槽 10. 砧木夹持搬运机构 11. 输送带 12. 穴盘苗托盘

机器工作过程如下:①上苗:操作人员分别从左、右手边的穴盘中取出砧木和穗木幼苗,分别放置在砧木和穗木供苗台上,放苗后,供苗检测开关被启动,供苗台旋转 180°朝向砧木和穗木搬运机械手。②取苗搬运:砧木和穗木搬运机械手的气缸同时伸出,从供苗台上夹住砧木和穗木幼苗后缩回,然后旋转 90°,将砧、穗木幼苗送至切削位置。③切苗:旋转切削机构带动两把刀片转动,将砧木的一片子叶连同生长点和穗木的茎秆根部同时切除。④出夹嫁接:砧、穗木搬运机械手再次伸出,将砧、穗木幼苗的切削斜面贴合在一起,自动送夹机构输送嫁接夹完成固定。⑤排苗输送:砧、穗木机械手的夹持手爪张开,嫁接苗沿排苗斜槽落到输送带上,被运至机器之外。

2 关键部件设计与分析

穴盘苗单人供苗蔬菜嫁接机器人是对前期现有的蔬菜嫁接机器人加以改进,其基本嫁接原理与其

类似,现对改进后的关键部件进行分析。

2.1 砧、穗木供苗台

砧、穗木供苗台的功能是接过操作人员从穴盘中供给的幼苗,然后将它们传递给夹持搬运机械手。考虑到是单人操作机器,因此为机器分别配备砧木和穗木供苗台,以便在实际工作中充分做好人机相互配合。

如图 2 所示,供苗台主要由旋转气缸、支架、气爪固定板、支点开闭型气爪、夹持手爪、夹持手爪挡片、橡胶垫片、猫须开关等组成。操作时,使砧木子叶展开方向与供苗台夹持手爪的对称轴方向一致,上苗触动猫须开关,夹持手爪闭合,带动夹持手爪夹住幼苗。手爪闭合时,为了保护幼苗不受损伤,在夹持爪孔内侧贴 4 块一定厚度的橡胶垫片,垫片包裹住幼苗,起到减少损伤作用的同时,也使其不会随意转动,达到理想的夹持效果。

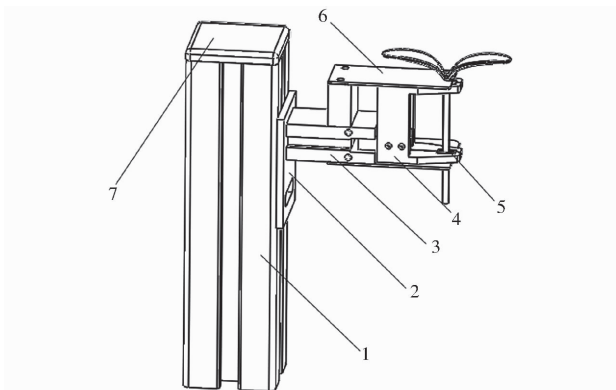


图 2 砧木供苗台

Fig.2 Stock seedling-providing platform

1. 支架 2. 气爪固定板 3. 气爪气缸 4. 夹持手爪 5. 橡胶垫片
6. 夹持手爪挡片 7. 型材盖

穗木供苗台的工作流程与砧木相同,结构也相似,生产中通常以西瓜、甜瓜、黄瓜苗作穗木,相比南瓜等砧木,其茎秆尺寸相对短小、纤细,在零部件设计中,根据穗木苗的特点,确定合适的尺寸。

2.2 砧、穗木夹持搬运机械手

砧、穗木夹持搬运机械手的主要作用是接过供苗台上的幼苗,送至切削位置,切苗后,再送至嫁接夹输送位置。切苗时,180°旋转气缸带动两把切刀同时动作,切除砧木的 1 片子叶与生长点,保留 1 片子叶和茎秆,切除穗木的根部,保留子叶与生长点。在此过程中,砧木夹持手爪须维持砧木子叶方向不变,以确保准确切除子叶与生长点。切苗后,搬运机械手将砧、穗木幼苗运至嫁接夹输送位置,砧木和穗木的切削斜面被塑料夹固定在一起,完成嫁接。

2.2.1 砧木夹持搬运机械手

如图 3 所示,砧木夹持搬运机械手主要包括旋

转气缸底座、90°旋转气缸、联接夹块、直推气缸固定板、直推气缸、导杆定位片、导杆、气爪支撑板、气爪、夹持手爪、支叶滑坡等部件。如图 3 所示,机构中选用的是 SMC CXSM10-70 型直推气缸,有伸出和缩回两种状态,缸径 10 mm,行程 70 mm。切削时,导杆顶在幼苗茎秆上方,起到支撑作用,以保证砧木苗 1 片子叶与生长点的切除更加准确和彻底。

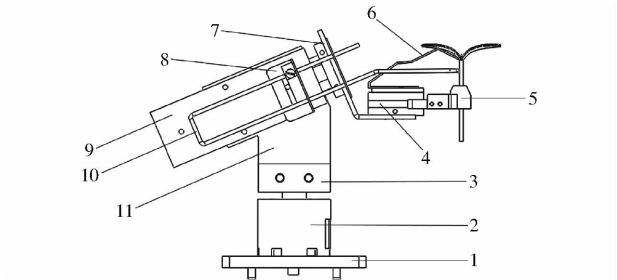


图 3 砧木夹持搬运机械手

Fig. 3 Stock gripping and transporting unit

1. 气缸座 2. 旋转气缸 3. 气缸联接夹块 4. 支点开闭型气爪
5. 夹持手爪 6. 砧木支叶滑坡 7. 砧木气爪板 8. 导杆固定板
9. 直推气缸 10. 导杆 11. 直推气缸固定板

机构具体工作过程如下:当砧木供苗台将幼苗运至指定位置后,直推气缸伸出,夹持手爪夹住幼苗,直推气缸缩回;随后,旋转气缸转动 90°,将砧木幼苗运至切削位置,如图 4a 所示;切苗后,直推气缸再次伸出,将幼苗运至嫁接夹输送位置,等待送夹固定,直至完成嫁接过程,如图 4b 所示。

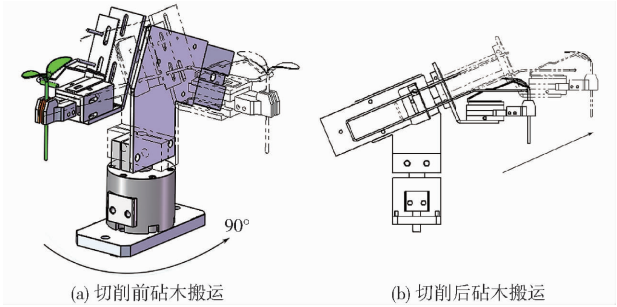


图 4 砧木夹持搬运机械手工作过程

Fig. 4 Working process of gripping and transporting of stock

夹持手爪与幼苗的接触面积应大一些,减小手爪闭合时对幼苗茎秆产生的压强,从而减轻幼苗损伤,提高成活率,根据整机结构布局,将夹持手爪的高度设计为 16 mm,并在夹孔内侧贴一定厚度的橡胶垫片,减少零件对苗的损伤。

2.2.2 穗木夹持搬运机械手

如图 5 所示,穗木夹持搬运机械手中执行元件的选用与砧木相同,工作流程也相同。直推气缸的轴线方向与气爪支撑板的倾斜方向垂直,气爪支撑板上平面与水平面平行,穗木支苗板的延长线方向与水平面垂直,于是可得

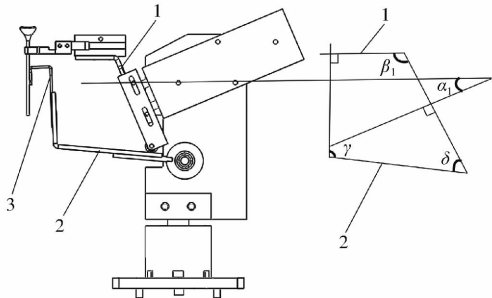


图 5 穗木夹持搬运机械手

Fig. 5 Scion gripping and transporting unit

1. 穗木气爪支撑板 2. 穗木支苗板 3. 穗木支苗片

$$\begin{cases} \beta_1 = \alpha_1 + \frac{\pi}{2} \\ \delta = \frac{3}{2}\pi - \beta_1 - \gamma \end{cases} \quad (1)$$

式中 α_1 ——直推气缸轴线方向与水平面夹角
 β_1 ——气爪支撑板折弯角度
 γ ——穗木支苗板折弯角度
 δ ——穗木支苗板与气爪支撑板夹角

为了加工方便,可考虑让穗木支苗板的折弯角度 γ 与气爪支撑板的折弯角度 β_1 相等,由式(1)得

$$\delta = \frac{\pi}{2} - 2\alpha_1 \quad (2)$$

因此,一旦确定直推气缸的安装角度 α_1 ,就可根据式(1)计算穗木气爪支撑板的折弯角度 β_1 以及穗木支苗板与气爪支撑板的夹角 δ ,为实际的零件加工和整机装配提供数据参考。

穗木直推气缸安装板的设计如图 6 所示,根据 CXSM 型气缸安装孔的尺寸,得到底边长为 34 mm、高为 40 mm 的等腰三角形,于是可得

$$\tan \alpha_1 = \frac{17}{40} = 0.425 \quad (3)$$

据式(3)可以计算出直推气缸中心线与水平面的夹角 α_1 为 23°,根据式(1),则 $\beta_1 = 113^\circ$, $\gamma = 113^\circ$, $\delta = 44^\circ$ 。

因此,设计时,将穗木气爪支撑板的折弯角度与

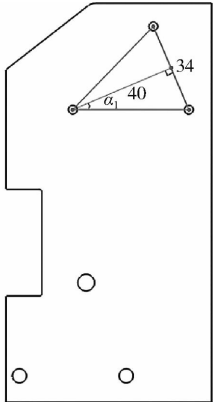


图 6 气缸安装板

Fig. 6 Mounting plate of cylinder

穗木支苗板的折弯角度定为 113° , 装配时, 保持穗木支苗板与穗木气爪支撑板的夹角为 44° 。

2.2.3 位置关系分析

为确保砧、穗木切削斜面能够准确地贴合在一起, 需要对旋转切削机构的中心安装高度 H 、切削半径 r 以及砧、穗木切削时的坐标位置进行计算分析。砧、穗木切削、贴合、输送嫁接夹的过程如图 7 所示。

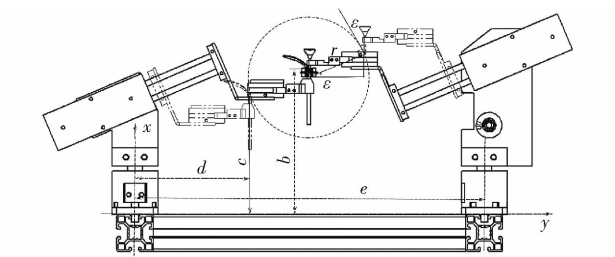


图 7 切削、贴合、送夹过程示意图
Fig. 7 Sketch of cutting and jointing

图 7 中, ε 为砧、穗木切削斜面与竖直平面的夹角, 根据之前的研究成果, 当该角度为 30° , 且切刀中心高度 H 与嫁接苗贴合中心高度 b 相等时, 贴合效果比较好, 嫁接成活率也比较高; r 为切削机构的旋转半径; 切削时, 砧木生长点距离框架平面的高度为 c , 距离砧木夹持搬运机械手安装中心的水平长度为 d ; 砧、穗木夹持搬运机械手安装中心之间的水平距离为 e ; 直推气缸的安装角度为 α_1 , 行程为 70 mm 。于是可得

$$\begin{cases} d + 70\cos\alpha_1 = \frac{e}{2} \\ c + 70\sin\alpha_1 = b \end{cases} \quad (4)$$

建立平面直角坐标系, 则切削时砧木生长点的坐标为 (d, c) , 贴合中心与切削机构旋转中心的坐标为 $(\frac{e}{2}, b)$, 穗木切削点的坐标为 $(\frac{e}{2} + r\cos\varepsilon, b + r\sin\varepsilon)$, 于是, 可得切削半径

$$r = \sqrt{\left(\frac{e}{2} - d\right)^2 + (b - c)^2} \quad (5)$$

代入式 (5), 得 $r = 70\text{ mm}$, 可见, 切削半径 r 由直推气缸行程唯一确定, 而与其它参数无关。考虑到整机布局, 实际中取 $e = 380\text{ mm}$, 砧、穗木切苗贴合中心与切削机构旋转中心高度 $H = b = 160\text{ mm}$; 又知, 直推气缸中心线与水平面的夹角 $\alpha_1 = 23^{\circ}$ 。则可得, 切削时砧木生长点的坐标为 $(125.6, 132.6)$, 穗木切削中心点的坐标为 $(250.6, 195)$, 根据这两点的坐标, 可大致确定砧木和穗木夹持搬运机构各个零部件的安装位置, 再以夹持搬运机构零部件的装配位置为准, 确定砧、穗木供苗台和嫁接夹输送机构的安装位置, 至此, 整机的位置关系基本确定。实际操作中, 以计算得到的坐标位置为参考, 微调后, 即可使嫁接机达到效果最好、最合适的工作状态。

2.3 嫁接机效率理论分析

针对改进后的单人操作模式与改进前的双人操作模式进行对比, 从理论上分析人均效率的提高情况。

根据之前所描述的嫁接机器人的工作流程, 可将嫁接机器人的工作时序进行简图化, 作出相应的工作时序图, 如图 8 所示。图中分别绘制了单人操作嫁接机的工作时序与改进前的双人操作嫁接机的工作时序。

如图 8a 所示, 由于单人操作, 砧木与穗木上苗时会存在一定的时间差 Δt_1 , 而这个时间差则意味着操作人员操作的熟练程度; 在双人操作时, 理论上可视为两人同时上苗, 因此可视为不存在时间差。

- 图中 Δt_1 ——砧穗木上苗时间差
 T_1 ——上苗、取苗、搬运时间
 Δt_2 ——取苗复位时间
 T_2 ——切苗、出夹嫁接时间

这些参数中, T_1 、 T_2 和 Δt_2 为固定参数, 因为这些时间是相应的气缸动作时间, 并且由控制程序所设定, 而 Δt_1 为砧穗木上苗时间差, 可理解为操作人员由砧木上苗后开始至穗木上苗结束, 这个时间差主要取决于操作人员上苗的熟练程度以及从穴盘里

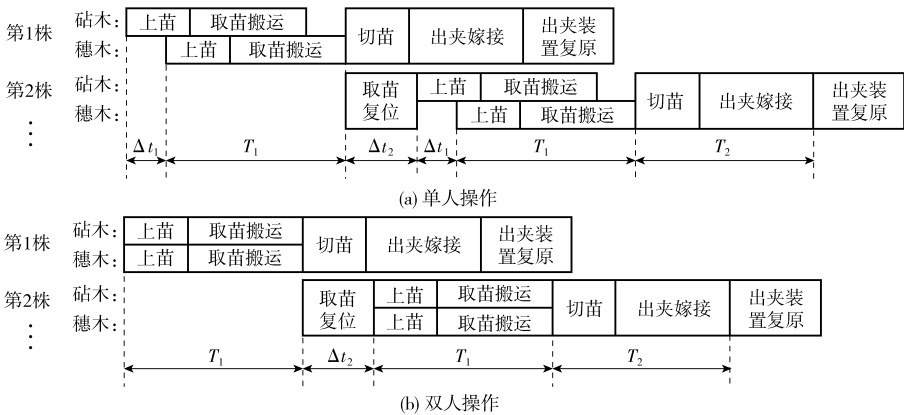


图 8 嫁接机器人工作时序

Fig. 8 Timing diagrams of grafting robots

人工取苗的熟练程度,因此,这个时间差可表征操作人员的操作熟练程度。在理论分析过程中,假设每次嫁接操作,操作人员的这一参数都是恒定的。这里需要强调,理论上假设操作人员已经具备一定的熟练程度,即

$$\Delta t_1 < T_1 + \Delta t_2 \tag{6}$$

该不等式表明假定在一次嫁接过程中砧穗木取苗机械臂复位前操作人员已经准备好进行下一次嫁接的上苗工作。在这个假设下,双人操作模式过程中,上苗时间差对整个嫁接过程效率并不产生影响,如图 8b 所示。

因此,在上述假设的前提下,分析图 8 的嫁接工作时序图,可得出在两种操作模式下嫁接机的人均操作效率分别为

$$\lambda_1 = \frac{n}{n(\Delta t_1 + T_1) + (n-1)\Delta t_2 + T_2} \tag{7}$$

$$\lambda_2 = \frac{n}{2[nT_1 + (n-1)\Delta t_2 + T_2]} \tag{8}$$

式中 λ_1 ——单人操作人均效率
 λ_2 ——双人操作人均效率
 n ——嫁接幼苗数

在此,又定义

$$\eta = \lim_{n \rightarrow +\infty} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right) \times 100\% \tag{9}$$

式中 η ——单人操作人均效率提高率

这里对于 η 作出相应的解释:当嫁接幼苗数较多时(理论上可理解为 $n \rightarrow +\infty$),理论上单人操作人均效率较双人操作人均效率的提高率。因此,根据式(7)~(9)可得出

$$\eta = \left(\frac{2}{\frac{\Delta t_1}{T_1 + \Delta t_2} + 1} - 1 \right) \times 100\% \tag{10}$$

定义

$$\alpha = \frac{\Delta t_1}{T_1 + \Delta t_2} \tag{11}$$

这里将 α 定义为砧穗木上苗时间差与上苗、取苗、搬运时间和取苗复位时间总和的比值,便可理解为操作人员的操作熟练度, α 越小表明操作越熟练,根据上述分析,可得出 $\alpha \in (0, 1)$ 。于是,可作出在这一期间内 η 与 α 的关系曲线,如图 9 所示。

图 9 表明,随着 α 的减小, η 会相应增大,这表示在嫁接过程中,随着操作人员熟练程度的提高,单人操作模式的人均效率较之双人操作模式会有更大的提高程度。因此,理论上,对于单人操作模式来说,操作人员操作越熟练,人均嫁接效率将会越高。由图可知,理论上,单人操作模式较之双人操作模式的人均操作效率可提高 1 倍。

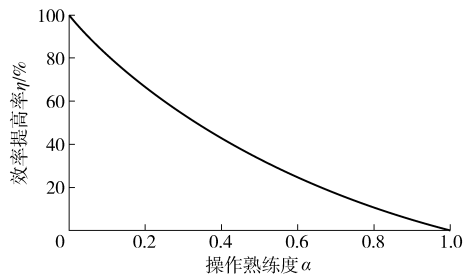


图 9 操作熟练度与效率提高率之间的关系曲线

Fig. 9 Relationship curve between η and α

3 试验

为测定机器的嫁接速度和嫁接成功率,选用云南黑籽南瓜和津春 4 号黄瓜作为砧木与穗木,进行相关试验。试验过程中,由 1 人供砧、穗木苗,机器自动完成余下工序,整个嫁接过程如图 10 所示。

黑籽南瓜亲和性好、成活率高,具有良好的生产性能,抗枯萎病、耐低温,适宜冬季嫁接作业。南瓜和黄瓜嫁接种苗有自育和工厂集约化生产两种来源方式^[20]。试验中使用 5×10 穴盘,每盘 50 株苗,为方便比较,试验分 3 组进行,每组分别试验 2 次,每次嫁接 50 株幼苗。A 组选用实验室自育的南瓜和黄瓜苗进行嫁接试验;B 组选用中农富通公司通州基地集约化生产的同品种南瓜和黄瓜苗进行嫁接试验;C 组则作为对照,不使用苗,机器空运行。为排除其它因素的干扰,试验中由同一个人操作机器,试验数据如表 1 所示。

由表 1 可见,选用集约化生产的南瓜和黄瓜苗,嫁接速度可达 455 株/h,比使用实验室自育苗增加近 34 株/h,嫁接成功率可达 95%,比使用实验室自育苗提高近 6 个百分点。这是因为,实验室条件有限,无法完全满足幼苗生长对温度、湿度和光照的要求,且育苗全靠经验进行,导致种苗质量参差不齐;而工厂集约化育苗,科学调控温度、湿度和光照等,种苗强壮、整齐,嫁接成功率高,同时由于苗的一致性好,减少了试验人员从穴盘到供苗台的操作时间,相应地提高了嫁接速度。由 C 组参照试验可知,机器空运行的嫁接速度最高可达 625 株/h,是选用集约化生产幼苗嫁接速度的 1.4 倍,这表明,人工供苗环节占用了许多时间。随着操作者熟练程度的增加,供苗时间会相应减少,机器有进一步提高嫁接速度的潜力。此外,试验结果表明,选用集约化生产幼苗进行嫁接的人均操作速度为 455 株/h,比原有的 2JSZ-600 II 型嫁接机器人的人均作业效率(300 株/h)提高了近 50%。此外,试验过程中,测量操作人员的实际上苗操作平均时间差(Δt_1)为 1 s

左右,而程序设定的上苗、取苗、搬运时间与取苗复位时间总和($T_1 + \Delta t_2$)为 3 s,将其代入式(10)可得 $\eta = 50\%$,表明试验结果符合理论分析。另外,试验过程中 A 组与 B 组都出现了苗有损伤的现象,分

别为 A 组 4 株,B 组 2 株。原因在于损伤的幼苗其茎秆较粗,故在夹持过程中会产生一定的损伤,若实际嫁接时采用较为一致的幼苗,嫁接时,可保证嫁接品质。

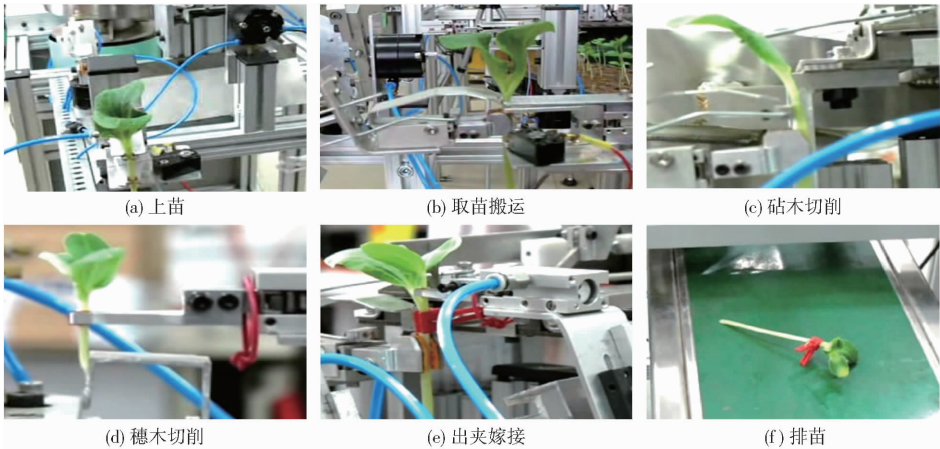


图 10 嫁接过程示意图

Fig. 10 Sketches of grafting processing

表 1 机器的嫁接速度和成功率

Tab.1 Grafting speed and success rate

试验参数	A 组		B 组		C 组	
	1	2	1	2	1	2
幼苗数/株	50	50	50	50	50	50
总时间/s	424	430	394	396	288	290
嫁接速度/(株·h ⁻¹)	424	418	456	454	625	620
成功数/株	45	44	48	47		
成功率/%	90	88	96	94		

于葫芦科穴盘幼苗的单人操作蔬菜嫁接机器人,机器由 1 人操作,简单方便。

(2)分析了单人操作与原有机型在人均嫁接操作效率上的优势,理论上与原有 2JSZ-600 II 型嫁接机器人(单人操作 300 株/h)相比,设计的单人操作蔬菜嫁接机器人的人均作业效率能够提高 1 倍。通过理论分析,可知单人操作模式下,人均嫁接效率与操作者的操作熟练程度相关。

(3)在种苗质量有保证的前提下,机器的嫁接成功率可达 95%,嫁接速度可达 455 株/h,实际作业的人均操作效率提高了 50% 以上。

4 结论

(1)在实验室原有机器的基础上,设计了适用

参 考 文 献

1 陈亚丽,朱为民,刘龙洲. 嫁接技术在葫芦科作物中的应用[J]. 长江蔬菜, 2012(6): 6-10.
CHEN Yali,ZHU Weimin, LIU Longzhou. Application of grafting technology in cucurbitaceae plants[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2012(6): 6-10. (in Chinese)

2 宋永海. 黄瓜嫁接技术[J]. 现代农业科技, 2010(20): 145, 147.

3 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 grafting robot[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007,38(6): 847-851. (in Chinese)

4 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?file_no=2014s142&flag=1. 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)

5 XU Donglei, TIAN Subo. Current status of grafting robot for vegetable[C] // 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, 2011,4: 1954-1957.

6 LEE J, KUBOTA C, TSAO S J, et al. Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127(2): 93-105.

7 王锋锋,刘明刚,吴晓峰,等. 国内外苗木嫁接机器人研究现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2011, 39(1): 16-18.
WANG Fengfeng,LIU Minggang,Wu Xiaofeng,et al. Development trend of domestic and foreign seedling grafting robots[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2011, 39(1): 16-18. (in Chinese)

- 8 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.
ZHANG Pinduan. Vegetable grafting robots in Japan[J]. Robot Technique and Application, 1997(5): 11-14. (in Chinese)
- 9 姜凯, 张骞, 王秀, 等. 嫁接夹自动排序供夹装置设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 256-261. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2012s53&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.053.
JIANG Kai, ZHANG Qian, WANG Xiu, et al. Design for automatic sequencing and supplying device for grafting clips[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 256-261. (in Chinese)
- 10 崇博大越. ウリ科用全自動接木ロボットの開発[J]. 農業機械学会誌, 2011, 73(1): 19-21.
- 11 鈴木正肚, 小林研, 猪之奥康治. ウリ科野菜用接ぎ木装置の開発(1)-要素技術の検討[J]. 日本農業機械学会誌, 1995(5): 67-76.
- 12 张铁中. 2JSZ-600 型蔬菜自动嫁接机[J]. 农村百事通, 2000(21): 42.
- 13 张铁中. 2JSZ-600 II 型蔬菜自动嫁接机[J]. 南方农机, 2002(1): 15.
- 14 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)
- 15 闫俊杰. 营养钵苗嫁接机器人的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
YAN Junjie. Study on grafting robot for nutritional bowl seedling[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 16 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)
- 17 褚佳, 张铁中, 张立博, 等. 套管式蔬菜自动嫁接机出套装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 64-70. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160209&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.02.009.
CHU Jia, ZHANG Tiezhong, ZHANG Libo, et al. Design and experiment of tube-outputting device for vegetable grafting machine using tube-grafting method[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 64-70. (in Chinese)
- 18 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?file_no=20161004&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.004.
CHU Jia, ZHANG Tiezhong, LI Jun, et al. Mechanism to plant root-cut grafted seedlings in automatically[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 28-34. (in Chinese)
- 19 中国农业大学. 一种自动嫁接机: 中国, CN102823438B[P]. 2014-02-19.
- 20 陈殿奎. 国内外蔬菜穴盘育苗发展综述[J]. 中国蔬菜, 2000(增刊1): 9-13.
CHEN Diankui. Summary of foreign and domestic vegetable corps plug transplants production[J]. China Vegetables, 2000(Supp.1): 9-13. (in Chinese)

(上接第 28 页)

- 17 顾玲, 管荣根. 基于卡尔曼滤波数据融合的并联机床动态定位方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 195-201.
GU Ling, GUAN Ronggen. Dynamic positioning method for parallel machine based on Kalman filtering data fusion[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(7): 195-201. (in Chinese)
- 18 李莉, 张彦娥, 汪懋华, 等. 现代通信技术在温室中的应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 195-200.
LI Li, ZHANG Yan'e, WANG Maohua, et al. Communication technology for sustainable greenhouse production[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 195-200. (in Chinese)
- 19 王新, 赵斯琪, 王力扬, 等. 果园作业车稳定性控制方法研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 13-18. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150503&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.003.
WANG Xin, ZHAO Siqi, WANG Liyang, et al. Stability control method for orchard vehicle[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 13-18. (in Chinese)
- 20 孙玉文, 沈明霞, 张祥甫, 等. 基于嵌入式 ZigBee 技术的农田信息服务系统设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 148-151.
SUN Yuwen, SHEN Mingxia, ZHANG Xiangfu, et al. Design of embedded agricultural intelligence services system based on ZigBee technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 148-151. (in Chinese)
- 21 盛平, 郭洋洋, 李萍萍. 基于 ZigBee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 229-233. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20121241&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.041.
SHENG Ping, GUO Yangyang, LI Pingping. Intelligent measurement and control system of facility agriculture based on ZigBee and 3G[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 229-233. (in Chinese)
- 22 MAO Xu, WANG Xin, ZHANG Junchao, et al. Design of electric orchard vehicle four-wheel steering control system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 4(2): 245-248.