

断根嫁接苗自动栽植装置设计与试验

褚佳¹ 张铁中^{1,2} 李军¹ 尹权¹ 张立博¹ 张文波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: 为进一步提高断根嫁接育苗作业的自动化程度, 针对现有的瓜科蔬菜嫁接机嫁接完成后幼苗栽植一直依靠人工的现状, 设计了断根嫁接苗自动栽植装置, 包括移苗机构、插苗机构、插孔机构等关键机构, 并对关键部件进行了仿真。仿真结果表明, 当插苗运送气缸上升速度与插苗手爪打开速度的比值在 0.22 ~ 0.55 之间时, 插苗手爪可以顺畅撤离穴盘, 并不会对已栽植好的嫁接幼苗产生影响。并对装置栽植性能进行了试验, 试验结果表明, 装置的栽植成功率为 92%, 最长栽植时间为 7 s/株, 可较为理想地与相应的瓜科断根蔬菜嫁接机配套使用, 满足其自动育苗的要求。

关键词: 栽植装置; 断根; 嫁接; 自动; 设计; 试验

中图分类号: S223.1; S616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0028-07

Design and Experiment of Automatic Planting Device for Root-cut Grafted Seedlings

Chu Jia¹ Zhang Tiezhong^{1,2} Li Jun¹ Yin Quan¹ Zhang Libo¹ Zhang Wenbo¹

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

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

Abstract: Root-cutting grafting is a new method in cucurbitaceous seedlings grafting. Compared with the traditional methods, root-cutting grafting seedling grows with stronger root, resulting in a greater production in a longer harvesting period. Recently many grafting robots can work well in grafting processing. But the lack of planting grafted seedlings automatically has become a problem in the automation of industrialized nursery process. To solve this problem, a mechanism of automatically planting root-cut grafted seedlings of cucurbitaceous was developed, which included soil hole-making unit, seedling-moving unit, seedling-planting unit and other parts. It can be added to the current grafting robot, and automatically planting seedlings grafted by the robot. The soil hole-making unit can hit a hole at the center of each cell of the seedling tray filled with soil. And the seedling-moving unit can transport the grafted seedlings from the grafting area to the planting area. The seedling-planting unit was the key part of the mechanism, which can plant the seedlings automatically. Some simulations were done with the software of Solidworks. And the simulation results showed that the velocity ratio of prismatic cylinder in the seedling-planting unit to the joint cylinder in the seedling-planting unit should be between 0.22 and 0.55. Experiments were conducted in laboratory, and the results showed that the success rate of planting seedlings was up to 92%, and the longest time of one planting was 7 s. Experiment in laboratory showed that the designed planting device can work well with the current grafting robot in an automatic and efficient way.

Key words: planting device; root-cutting; grafting; automatic; design; experiment

收稿日期: 2016-03-31 修回日期: 2016-04-27

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

引言

20 世纪 80 年代以来,自动嫁接技术在日本、韩国、中国等国家相继开展^[1-4]。根据不同嫁接技术所研发的自动嫁接装置也层出不穷^[5-6]。断根嫁接是近年来出现的一种瓜科嫁接方法,与传统的瓜科苗嫁接方法相比,断根嫁接苗根系更加健壮,可延长瓜果采收期,并有效提高产量^[7-9]。

日本自 1986 年研制出第 1 台针对瓜科幼苗的半自动嫁接机以来,先后又研制出不少针对瓜科幼苗的蔬菜嫁接机^[10-12]。2011 年,日本井关公司研制了 GRF800-U 型瓜科全自动嫁接装置以及 GR803-U 型瓜科半自动嫁接装置,它们都采用贴接法嫁接,并采用切断砧木根部的断根嫁接方式^[13-14]。中国农业大学张铁中教授带领的研究团队先后研制了双臂嫁接、营养钵苗嫁接等不同类型的蔬菜嫁接机^[2, 15-18]。2012 年,张铁中研制了单人操作的针对穴盘瓜科苗的蔬菜嫁接机^[19],它同样采用贴接法嫁接,可以对嫁接苗进行留根及断根嫁接作业。此外,由北京农业智能装备研究中心于 2012 年在引进消化的基础上研制了双臂蔬菜嫁接机,也可对瓜科苗进行自动嫁接作业^[20]。

虽然目前国内外已有不少嫁接机器人能实现瓜科苗的断根嫁接,但嫁接完成后嫁接苗的栽植工作仍需人工完成。为了进一步提高断根嫁接育苗作业的自动化程度,减轻人工劳动强度,本文设计与瓜科嫁接机器人相配套的断根嫁接苗自动栽植装置。

1 装置结构概述

设计的断根嫁接苗自动栽植装置主要由以下几部分构成:机架、移苗机构、插苗机构、插孔机构、嫁接苗栽植穴盘、输送带,如图 1 所示。

设计的断根嫁接苗自动栽植装置是在现有的单

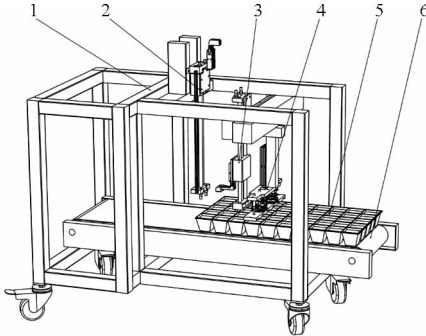


图 1 断根嫁接苗自动栽植装置结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of root-cut grafted seedling automatic planting device

1. 机架 2. 移苗机构 3. 插苗机构 4. 插孔机构 5. 嫁接苗栽植穴盘 6. 输送带

人嫁接机上附加一套机构,用于实现将嫁接完成后的断根嫁接苗自动栽植到穴盘中这一功能。图中所示的机架为与之配套的自动嫁接机器人机架部分。工作时,由移苗机构将嫁接完成的幼苗从嫁接机的嫁接处搬运至插苗机构的幼苗接收处,之后由插苗机构将嫁接幼苗栽植入由插孔机构已插好的穴盘土壤中的孔中,完成嫁接幼苗的栽植入土作业。

2 关键部件设计与工作原理

2.1 插孔机构

插孔机构的功能是在穴盘基质中插孔,为嫁接苗栽植到基质中创造条件,其结构如图 2 所示。

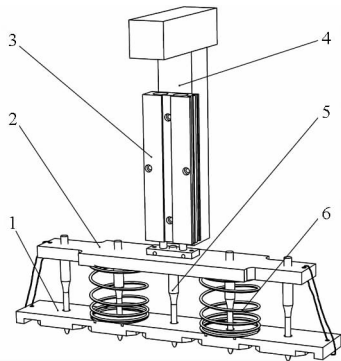


图 2 插孔机构结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of soil hole-making unit

1. 压土板 2. 插孔针安装板 3. 直推气缸 4. 连接块 5. 插孔针 6. 弹簧

插孔机构的结构主要由压土板、插孔针安装板、气缸、连接块、插孔针、弹簧组成。自然状态下压土板与插孔安装板通过细丝绳连接,直推气缸通过连接块与机架连接,插孔针直接安装在插孔针安装板上,并穿过压土板中的通孔,弹簧分别卡在压土板和插孔针安装板上的圆槽内。

插孔机构的核心部件是插孔针,其设计尺寸如图 3 所示。

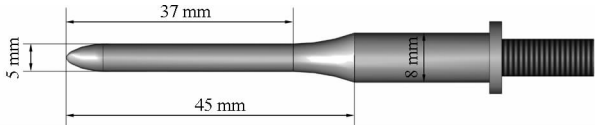


图 3 插孔针尺寸

Fig. 3 Size of hole-making pin

插孔针的关键尺寸设定主要参考用于嫁接的瓜科砧木苗的尺寸。根据黄瓜断根嫁接的园艺要求^[21-22],黄瓜断根苗插入基质中深度为 2~3 cm,且适合嫁接时的幼苗株平均株径为 3.5 mm,用于栽植的穴盘其厚度为 45 mm,因此,综合考虑这些因素后,设计插孔针的直径为 5 mm,此径段长度为 37 mm,之后曲线过渡 8 mm,直径达到 8 mm,这样所打成形的孔能够产生一个喇叭口,便于栽植时将幼苗栽入。

插孔机构工作过程如图 4 所示。工作时,当装满土的嫁接苗栽植穴盘在输送带的带动下运送到指定位置后,插孔机构中的气缸伸出,将带有插孔针的插孔针安装板朝穴盘土壤伸出,与此同时压土板也在相应的带动下抵住嫁接苗栽植穴盘的边缘同时镇

压土壤,在气缸推送作用与弹簧的阻尼作用下,插孔针继续向下插入土壤至极限位置。之后气缸缩回,插孔针在气缸和弹簧的反弹作用下退回,压土板在连接细绳的作用下也退回,一排插孔完毕。所打的孔等待插苗机构将已嫁接好的幼苗栽入。

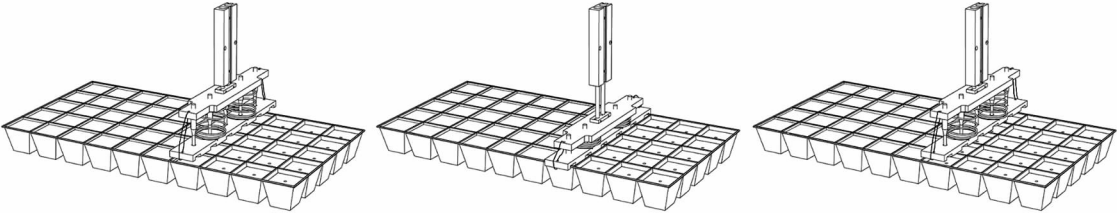


图 4 插孔机构工作过程
Fig. 4 Process of soil hole making

2.2 移苗机构

移苗机构的作用是将已嫁接好的幼苗搬送至插苗机构处,为插苗机构提供幼苗。因为现有嫁接机的结构布局,考虑到嫁接完成幼苗的允许夹持位置、栽插时幼苗的夹持位置和裸露长度以及幼苗的茎秆总长等多种因素的约束,不允许将幼苗从嫁接机的嫁接处直接通过插苗机构进行栽植作业,故采取接力方式将幼苗进行栽植作业,设计了中间过渡的移苗机构。该机构主要由移苗手爪、移苗手爪气缸、连接板和移苗运送气缸构成,如图 5 所示。其中移苗手爪与移苗手爪气缸直接连接,移苗手爪气缸通过连接板与移苗运送气缸的动作部件相连接。

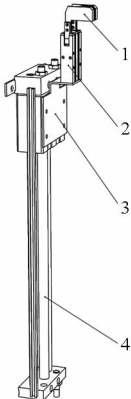


图 5 移苗机构示意图
Fig. 5 Structure diagram of seedling-moving unit

1. 移苗手爪 2. 移苗手爪气缸 3. 连接板 4. 移苗运送气缸

自然待工状态下,移苗运送气缸的动作部件处于底部位置,而移苗手爪处于打开状态,当自动嫁接机完成一株幼苗的嫁接作业时移苗运送气缸上升至嫁接苗嫁接处,移苗手爪闭合将嫁接幼苗夹持,移苗运送气缸将嫁接苗运送至底部,等待插苗机构的运作。

2.3 插苗机构

2.3.1 机构简述

插苗机构是本自动栽植装置的核心部分。其作用在于将由移苗机构运送的嫁接幼苗栽植入穴盘中

的土壤基质中。

如图 6 所示,插苗机构主要由气缸运送线性模组、插苗运送气缸、插苗手爪气缸、插苗手爪和连接板构成。

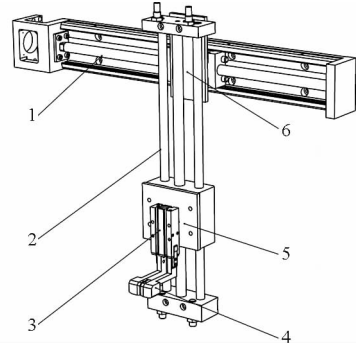


图 6 插苗机构示意图
Fig. 6 Structure diagram of seedling-planting unit

1. 气缸运送线性模组 2. 插苗运送气缸 3. 插苗手爪气缸
4. 插苗手爪 5. 连接板 1 6. 连接板 2

2.3.2 插苗工作过程详述

基于上文中各机构工作过程的简述,本节对整个断根嫁接苗自动栽植装置的工作过程进行详细阐述。

如图 7 所示,本装置的工作过程主要如下:①移苗手爪初始位于与本装置配套的嫁接机上相应的夹持手爪正下方,完成一株嫁接苗后,移苗手爪在移苗手爪气缸的动作下闭合,夹持嫁接苗的茎秆中下部部位,同时嫁接机上夹持嫁接苗茎秆中上部的夹持手爪张开,移苗运送气缸的动作部件带动移苗手爪将嫁接苗向下运送至移苗运送气缸的行程末端,使移苗手爪处于插苗手爪的正下方,随后,插苗手爪再闭合,夹持嫁接苗茎秆的中上部部位。②紧接着,移苗手爪张开,随后,移苗手爪在移苗运送气缸的动作部件的动作下上升准备接收下一株嫁接苗,随后,插苗运送气缸在气缸运送线性模组的动作下将嫁接苗水平运送到指定的待插入孔穴的正上方。③插苗手

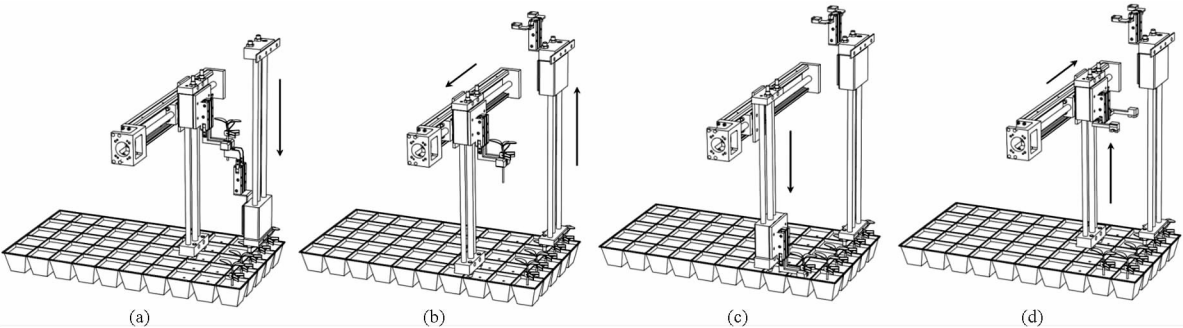


图 7 断根嫁接苗自动栽植装置工作过程示意图

Fig. 7 Progress of automatic grafted-seedling planting

爪在插苗运送气缸的动作下将嫁接苗竖直插入已插好孔的栽植穴盘中,同时插苗手爪下压栽植穴盘表层土壤,嫁接苗栽植入土。④嫁接苗栽植入土后,插苗手爪张开,张开的插苗手爪在插苗运送气缸的动作下上升,并在气缸运送线性模组的动作下返回原先位置等待接收下一株嫁接苗。当栽植完一排栽植穴盘后,输送带带动栽植穴盘前进一定距离,该距离为两排栽植穴盘的间距,等待下一排嫁接幼苗的栽植。

2.3.3 关键部分分析

设计的栽植装置其关键在于将嫁接幼苗完好无损顺畅地栽植入穴盘的土壤基质中,并能够与配套的嫁接机协调动作。因此,本节对栽植过程中的关键部分进行必要的分析。

首先,对于嫁接苗、移苗手爪和插苗手爪进行空间关系的说明。用于断根嫁接苗的茎秆长度一般在 50 ~ 60 mm(从生长点开始),而嫁接用的嫁接夹厚度为 10 mm,每次由机器嫁接可保证嫁接夹的夹持部位为嫁接苗的生长点位置,因此,可使砧木从嫁接夹下底面留出长最多约 55 mm(60 - 10/2)的长度,又根据前期设计和机构布局,可使在每次工作过程中,插苗手爪与嫁接夹保持一定的距离,如图 8 所示。

因为装置将嫁接苗栽植入土采用的方式是插苗手爪夹持住嫁接幼苗砧木茎秆将其插入进穴盘土壤基质中已打好的孔中,若是人工操作,将苗插入孔中后,会将周边的土壤往靠近茎秆的方向进行收拢,以达到将茎秆堆实的效果。因此,本装置在栽植过程中需要有同样的效果,故将插苗手爪的底端设计成具有斜面倾角的锥形。如图 9 所示,当插苗手爪带着嫁接幼苗插入孔中时,插苗手爪底部的斜面受到土壤对其的作用力沿斜面法向向外,则土壤受到插苗手爪底部斜面部分对其的反作用力 F_N 沿斜面法向向内,因为有角度的存在, F_N 沿水平方向有分量 F_x ,该水平分量 F_x 可以将土壤向茎秆中心靠拢,达到坚实茎秆周边土壤的作用,使茎秆更加稳固,从而

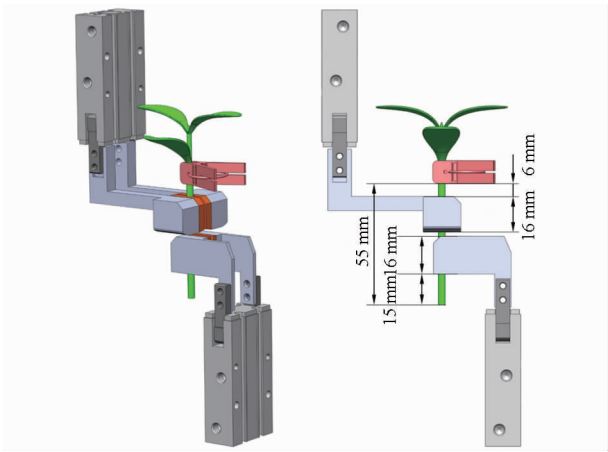


图 8 嫁接苗与各手爪间的空间关系

Fig. 8 Spatial relationship of grafted seedling and fingers

达到上述人工操作过程中将茎秆堆实的效果。考虑到实际栽植过程中,竖直与水平方向的压土作用效果相当,因此,在设计时,对其斜面进行 45°设计,这样在工作过程中,水平和竖直方向的分力大小是相同的,压土效果等同。在实际试验过程中,在这一角度的作用下,压土效果也较好。

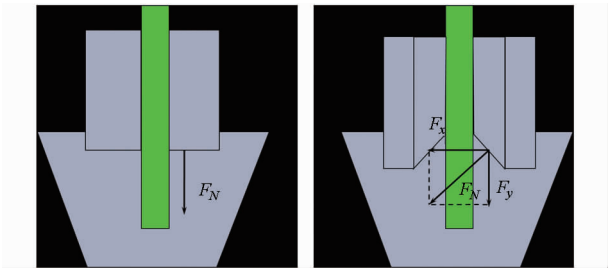


图 9 插苗手爪夹持部位优化示意图

Fig. 9 Optimization sketch of planting finger

插苗手爪将嫁接幼苗插入穴盘土壤基质中后,需要打开;与此同时,插苗运送气缸的活动部件需要上升以使插苗手爪撤离栽植区域,因此,插苗手爪的打开与插苗运送气缸的上升需要进行协同运作,以保证在其撤离时不对已栽植好的幼苗产生影响。另外,为保证栽植时栽植手爪对土壤基质有镇压作用,栽植时栽植手爪的夹持部位需要下降至穴盘表面之下,如图 10a 所示。当插苗手爪打开时,若插苗运送

气缸不及时上升,则插苗手爪会触碰穴盘单穴的内壁,因此,插苗手爪的打开速度与插苗运送气缸的关系

上升速度需要满足一定的关系才能使插苗手爪顺利撤离栽植穴盘。

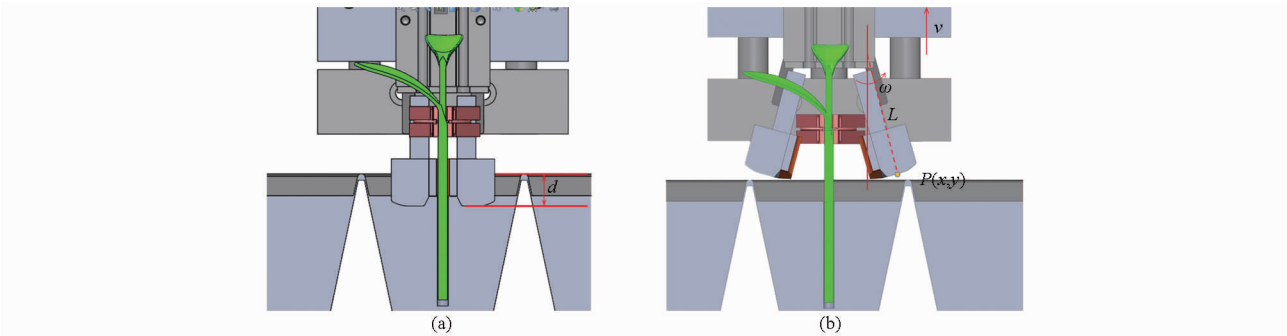


图 10 插苗手爪几何分析
Fig. 10 Geometric analysis of planting finger

由图 10b 所示的关系可以得到插苗手爪底部最底点 P 的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = L\sin(\omega t) \\ y = vt + L(1 - \cos(\omega t)) \end{cases} \quad (1)$$

式中 x —— P 点水平方向位移
 y —— P 点竖直方向位移
 L —— P 的旋转半径
 v ——插苗运送气缸上升速度
 ω ——插苗手爪打开角速度
 t ——动作过程中某一时刻

由之前的分析可知,当 P 点的水平位移 x 达到穴盘口宽度 B 一半时的 t_1 ,其竖直位移 y 必然大于插苗手爪最底部深入穴盘表面的深度 d ,则有

$$\begin{cases} x(t_1) = L\sin(\omega t_1) = \frac{B}{2} \\ y(t_1) = vt_1 + L(1 - \cos(\omega t_1)) \\ y(t_1) \geq d \end{cases} \quad (2)$$

整理可得

$$\frac{v}{\omega} \geq \frac{d - L \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{B}{2L} \right) \right]}{\arcsin \frac{B}{2L}} \quad (3)$$

因此,插苗运送气缸上升速度 v 和插苗手爪打开角速度 ω 需要满足式(3),理论上才能使插苗手爪顺利地撤离栽植穴盘。根据设计参数,得 v 与 ω 的临界速度比为 0.22。利用 Solidworks 对插苗手爪进行运动仿真,观察其最底部的运动轨迹,如图 11 所示。

图中蓝色轨迹为低于临界速度比时插苗手爪最底部撤离穴盘口时的运动轨迹,明显可看出其与穴盘有接触的地方;红色轨迹为临界速度比时插苗手爪最底部撤离穴盘口时的运动轨迹,由图中可看出此时轨迹与穴盘正好有一临界交点;绿色轨迹为高于临界速度比时插苗手爪最底部撤离穴盘口时的运

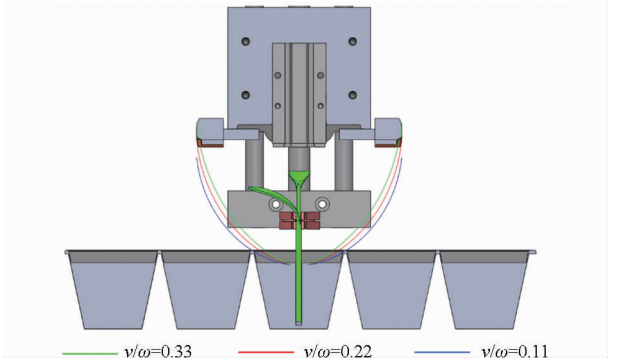


图 11 插苗手爪底部运动轨迹仿真
Fig. 11 Movement trace simulation of planting finger down part

动轨迹,此时可看出插苗手爪已可以顺畅地撤离穴盘口。

另外,需要考虑插苗手爪在打开过程中是否会对相邻已栽植的嫁接幼苗进行干扰。因为嫁接苗是采用单子叶的贴接法,已嫁接好的幼苗砧木只有一片子叶,而穗木的子叶展开方向与砧木原有子叶展开方向互相垂直,而砧木子叶的展开方向正好又处于插苗手爪的打开平面内,因此,在实际栽植过程中,同一排穴盘的栽植方向可采用一定的方向,该方向可保证每次插苗手爪打开过程中,避开前一次已栽植幼苗砧木子叶的空间(即没有砧木另一片子叶的空间),这样就不会对相邻的已栽植好的幼苗产生干扰,以图 11 所示为例,即从左往右依次对穴盘孔进行栽植,可使插苗手爪在打开过程中对前一次栽植的幼苗不会产生干扰。而在实际试验中,这种机制也得到了验证,插苗手爪打开时并不会对相邻的嫁接苗产生干扰。

虽然通过上述分析可以得出 v 与 ω 的临界速度比,但其比值并非越大越好。实际作业中,考虑到插苗手爪在打开并上升过程其上端部分有可能会触碰嫁接幼苗以及嫁接夹,因此,还需要对插苗手爪上端部分的运动作分析。同样利用 Solidworks 对其进行

运动仿真,得 v 与 ω 的上限速度比,如图 12 所示。

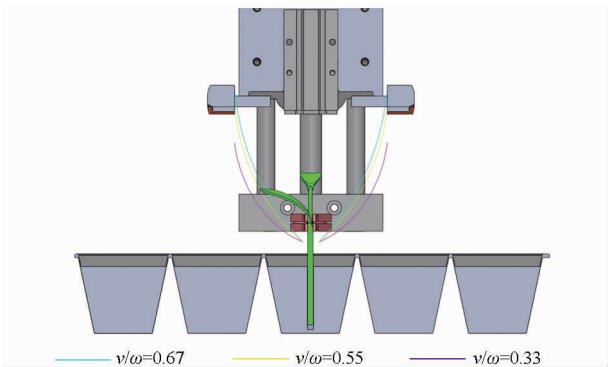


图 12 插苗手爪上端部分运动轨迹仿真
Fig. 12 Movement trace simulation of planting finger up part

从仿真结果可以看出,当 v 与 ω 的速度比为 0.33 时,插苗手爪上端部分并未与任何物体相触碰,如紫色轨迹所示;当 v 与 ω 的速度比为 0.55 时,插苗手爪上端部分正好与嫁接夹相触碰,如黄色轨迹所示;当 v 与 ω 的速度比为 0.67 时,插苗手爪上端部分已经与嫁接夹和嫁接幼苗有触碰,如浅蓝色轨迹所示。通过此次仿真,可以得出 v 与 ω 的上限速度比为 0.55。

因此,综合上述分析及仿真结果,可得出插苗运送气缸上升速度 v 和插苗手爪打开角速度 ω 的比值应当控制在 0.22 ~ 0.55 之间,这样能够保证插苗手爪顺畅地撤离穴盘口,并不会对已栽植好的幼苗产生影响。

3 试验与分析

试验中采用的穴盘规格为 5 × 10 的 50 孔穴盘,穴盘基质由蛭石、草炭、珍珠岩以 3 : 1 : 1 的体积比均匀混合,再加入适量的水配制而成。基质保持在疏松状态,填充满整个穴盘。砧木苗选用强生 1 号杂交南瓜;穗木苗选用津沿四号黄瓜。待砧木南瓜苗长到一叶一心,穗木黄瓜苗子叶平展时进行自动嫁接以及嫁接苗自动栽植试验。

试验采用的嫁接机为由中国农业大学张铁中研制的自动嫁接机。另配相机 1 台、量角器 1 把,秒表 1 个。试验栽植装置如图 13 所示。

试验主要观察指标为栽植成功率和完成 1 株嫁



图 13 栽植试验装置
Fig. 13 Seedling planting experiment device

接苗栽植所需时间。嫁接苗栽植成功的标准为:栽植操作完成后嫁接苗留在基质中;嫁接苗保持直立,角度偏差小于 20°;拔出栽植完成后的嫁接苗有比较明显的阻力感;嫁接苗砧木茎秆没有夹伤、挤压、折断等损伤。完成 1 株嫁接苗栽植所需时间为移苗机构的移苗手爪夹住嫁接幼苗至该嫁接幼苗栽植入土的时间间隔。因需要将嫁接幼苗分别栽至穴盘一行中的不同穴孔位置,穴盘单穴位置与嫁接幼苗嫁接处的水平距离就影响了该株嫁接苗的栽植时间。而离嫁接幼苗嫁接处最远的为穴盘最两侧的穴盘单穴,因此试验过程中只记录栽入这些位置的穴盘单穴的嫁接苗的栽植时间。

试验分为 3 组进行,每组选取 50 株砧木苗和 50 株穗木苗,按上述进行试验,并记录结果,结果如表 1 所示。

表 1 嫁接幼苗栽植性能试验
Tab. 1 Experiment results of grafted seedling planting performance

参数	试验组号		
	1	2	3
栽植幼苗数/株	50	50	50
成功栽植数/株	45	47	46
栽植成功率/%	90	94	92
平均最长耗时/s	7	7	7

从试验结果可知,嫁接苗自动栽植的平均成功率已经达到了 92%,能基本满足设计要求。少数嫁接苗栽植失败,是由于砧木生长状况非常不好,嫁接前砧木苗已处于倒伏状态,砧木茎秆已经弯曲,导致插苗手爪无法将砧木苗准确插入穴盘基质打好的孔中,脆弱的砧木茎秆在栽植时被折断。而且从时间上看,栽植穴盘两侧最边缘的平均最长耗时为 7 s,这个时间主要由控制系统的动作时间所决定,从移苗手爪开始接苗到嫁接苗的栽植入土整个过程中间没有任何外界干预的环节,因此该时间取决于控制系统的设定时间及运动执行机构的物理动作时间(这与运动执行机构的性能有关,可选择性能较为良好的运动执行机构以保证效率和稳定性)。因控制系统设定为 7 s,在这个设定下,该时间短于操作人员将砧木苗和穗木苗断根放置在嫁接机上与嫁接机嫁接一株苗时间的总和,因此自动栽植装置不会影响原嫁接机的工作效率,而且也能够保证一定的栽植成功率。

4 结论

(1)设计了针对断根蔬菜嫁接苗自动嫁接后续栽植工作的自动栽植装置,减少了嫁接机的辅助人

工。

(2)根据嫁接空间、砧木茎秆长度和栽植要求,设计了接力式取苗栽植机构,完成了集打孔、栽植、传送于一体的自动栽植过程。

(3)对栽植过程中关键部分进行了分析和运动

仿真,得出插苗运送气缸上升速度与插苗手爪打开速度比值区间为0.22~0.55。

(4)本装置的栽植平均成功率为92%,最长栽植时间为7 s/株,可较为理想地与相应的瓜科断根蔬菜嫁接机配套使用,满足其自育苗的要求。

参 考 文 献

- 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]. 农业机械学报,2016,47(2): 64-70.
CHU Jia,ZHANG Tiezhong,ZHANG Libo,et al. Design and experiment of tube-outputting device for vegetable grafting machine using tube-grafting method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(2): 64-70. (in Chinese)
- 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]. 农业机械学报,2014,45(增刊): 259-264.
CHU Jia,ZHANG Tiezhong. Design and experiment of vegetable grafting robot operated by one-person for cucurbitaceous seedlings cultivated in humus pots[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(Supp.): 259-264. (in Chinese)
- 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.
- 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 Agriculturae 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(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(7): 230-231. (in Chinese)
- 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)
- 许勇,宫国义,刘国栋,等. 西瓜嫁接新技术——断根嫁接法[J]. 中国西瓜甜瓜,2002(4): 33-34.
- 杨仕伟,李跃进,刘小俊,等. 断根嫁接对黄瓜生理特性及产量的影响[J]. 长江蔬菜,2013(2): 44-47.
YANG Shiwei, LI Yuejian, LIU Xiaojun, et al. Effects of root-cut-grafting on physiological characteristics and yield of cucumber[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2013(2): 44-47. (in Chinese)
- 梁根云,刘小俊,杨宏,等. 断根嫁接对冬瓜产量和品质的影响[J]. 西南农业学报,2013,26(3): 1294-1296.
LIANG Genyun, LIU Xiaojun, YANG Hong, et al. Effects of root-cutting grafting on quality and yield of wax gourd[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(3): 1294-1296. (in Chinese)
- TIAN Subo, XU Donglei. Current status of grafting robot for vegetable[C]//2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, 2011,4: 1954-1957.
- 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.
- 正肚鈴木. 野菜接ぎ木装置の現[J]. Techno Innovation, 1998,8(31): 52-54.
- 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.
- 崇博大越. ウリ科接ぎ木装置用自動給苗装置の開発(第1報)台木用自動給苗装置の性能評価[J]. 農業機械学会誌,2013,75(2): 100-107.
- 张铁中. 2JSZ-600型蔬菜自动嫁接机[J]. 农村百事通,2000(21): 42.
- 赵颖,孙群,张铁中. 营养钵茄苗嫁接机器人机械系统设计与实验[J]. 农业机械学报,2007,38(9): 94-97.
ZHAO Ying, SUN Qun, ZHANG Tiezhong. Mechanical system design of grafting robot for nutritional bowl eggplant seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(9): 94-97. (in Chinese)
- 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)
- 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)
- 中国农业大学. 一种自动嫁接机:中国,CN102823438B[P]. 2014-02-19.
- 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)
- 胡静,杨慧玲,何从亮. 黄瓜断根嫁接工厂化育苗技术[J]. 中国园艺文摘,2012(6): 145-146.
- 刘林霞. 黄瓜断根嫁接苗穴盘育苗技术[J]. 吉林蔬菜,2013(10): 1-2.