

一种小型全自动蔬菜移栽机的设计及试验

李坦东, 闵航, 张韵, 林蜀云, 李杰

(贵州省山地农业机械研究所, 贵阳 550000)

摘要: 针对丘陵地区蔬菜移栽费工费时, 劳动强度高的问题, 设计了一种小型全自动移栽机, 其栽植株距、速度等参数可调, 能够满足不同蔬菜的移栽要求。对整机结构及设计原理进行了介绍, 对苗盘输送机构、顶苗机构、接取苗机构、送苗分苗机构和栽植机构等关键部件进行了设计, 并根据零速栽植原理对五连杆栽植机构进行运动分析及 adams 仿真, 得出栽植机构运动的最佳轨迹。田间试验表明: 移栽机的栽植平均合格率为 83.6%, 栽植漏栽率为 4.8%, 伤苗率为 0, 倒伏率为 5%, 埋苗率为 1%, 露苗率为 5.5%, 栽植株距误差率仅为 0.04%。工作过程中, 移栽机能自动完成喂苗、分苗、栽植等过程, 实现了蔬菜移栽自动化, 较好地解决了丘陵地区蔬菜移栽的难题。

关键词: 蔬菜移栽机; 全自动; 关键部件; adams 仿真

中图分类号: S223.92

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2023)01-0066-07

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2023.01.041

0 引言

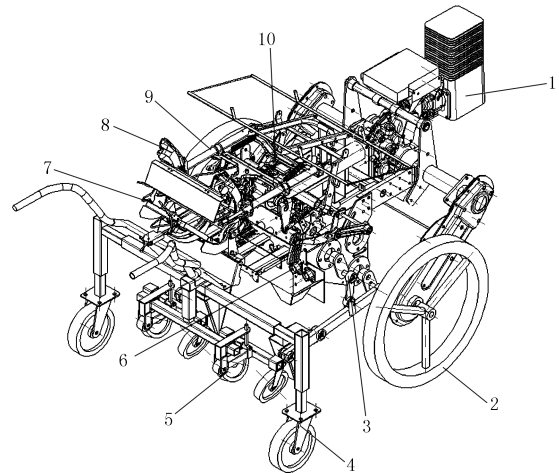
近年来, 随着贵州省种植业结构的调整, 蔬菜作为“短、平、快”的经济作物, 种植面积逐年大幅度增加, 到 2021 年蔬菜种植面积将稳定在 100 万 hm^2 以上^[1], 对促进本地的经济发展有着重要作用。目前, 大多数蔬菜种植方式为育苗移栽, 与传统直播种植方式相比, 可以提高幼苗的保苗率、土地利用率和复种指数, 还可使作物生育期提早^[2], 保证作物生长和成熟期基本一致, 便于统一管理和上市, 提高经济附加值。传统移栽用工量大、效率低, 难以实现高效、规模生产, 因此采用穴盘育苗移栽已成为蔬菜移栽的首选^[3], 这种方式可以实现节约种子、规范化管理以及机械化作业^[4-5]。但是, 国内穴盘苗移栽中采用的移栽机大多数是半自动的, 仍需人工喂苗, 效率偏低, 劳动强度大^[6-8]。为此, 设计了一种小型全自动的穴盘苗移栽机, 并吸收借鉴了国内外移栽机的优点, 针对穴盘育苗移栽的特点, 通过自动喂苗、分苗、投苗、栽植等关键环节和机构的设计, 以实现自动高效移栽。

1 整机结构及工作原理

移栽机设计为两行栽植, 长为 2.24m, 宽为 1.15m,

高为 1.4m, 整机质量为 270kg, 匹配动力 1.5kW, 栽植行距为 450mm, 栽植株距范围 50~520mm, 可根据需要实现低速栽植和高速栽植。移栽机集成了苗盘自动喂入、顶苗、取苗、投苗和栽植等环节, 实现高效移栽。

移栽机主要部件由苗盘输送机构、顶苗机构、取苗机构、分苗机构及栽植机构等组成, 如图 1 所示, 技术参数如表 1 所示。



1. 发动机及变速箱 2. 行走轮 3. 栽植机构 4. 限深轮
5. 覆土轮 6. 分苗机构 7. 输送带 8. 穴盘输送机构
9. 顶苗机构 10. 取苗机构

图 1 小型全自动移栽蔬菜机示意图

Fig. 1 Schematic diagram of small hand-held automatic vegetable transplanter

栽植作业时, 苗盘放置在输送导轨上, 在苗盘输送机构的驱动下喂入苗盘, 顶苗机构的顶针周期性地按排从苗盘顶出, 取苗机构则实现将苗水平摆放在

收稿日期: 2021-01-29

基金项目: 农业攻关计划项目(黔科合支撑[2016]2562号)

作者简介: 李坦东(1990-), 男, 贵州毕节人, 硕士研究生, (E-mail) 957247932@qq.com。

通讯作者: 李杰(1964-), 男, 贵阳人, 高级工程师, (E-mail) 1987819272@qq.com。

移栽机的传送带上,完成取苗过程;传送带将钵苗运送到机身两侧,由分苗器拨苗,使苗根部朝下,进入导苗杯中;此时,栽植鸭嘴正好运动到上止点,鸭嘴处于闭合状态,钵苗掉入鸭嘴,在五连杆移栽机构的联动下运动,一直到鸭嘴的下止点,联动机构作用下鸭嘴张开,钵苗落入土中;在鸭嘴后方加装镇压轮,栽植后将秧苗两边压实,完成整个栽植过程。

表1 技术参数表

Table 1 Technical parameters

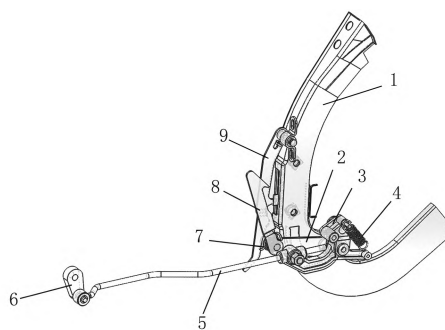
技术指标	主要技术参数	单位
匹配动力	1.5	kW
外形尺寸	2240×1150×1400	mm
整机质量	270	kg
栽植行数	2	行
栽植深度	40~80	mm
栽植行距	450	mm
栽植株距	50~520	mm
作业速度	低速:150~260 高速:340~600	mm/s

2 关键部件设计

所设计的蔬菜移栽机实现了苗盘输送、顶苗、取苗、分苗及栽植自动化,关键部件为苗盘输送机构、顶苗机构、取苗机构、分苗机构和栽植机构。

2.1 苗盘输送机构

现有技术中驱动钵苗盘行进的结构复杂,与动力部分连接困难,增加了整机的复杂性。因此,移栽机采用专用穴盘,厚度0.6~1mm,10×22孔,吸塑成型工艺制造,柔韧性好且可重复使用。基于该种穴盘,对移栽机的苗盘输送机构进行设计,以五连杆机构驱动苗盘在苗盘支架的导轨内运动。苗盘输送机构如图2所示。其中,曲柄、推杆、连杆和苗盘拉爪依次铰接,构成五连杆机构,曲柄为动力输入源,做往复运动,驱动整个机构运动,最终实现穴盘输送运动。为解决苗盘穴孔与顶苗机构对准问题,在输送机构上设计了限位块。限位块的上端与苗盘支架铰接,铰接处添加了扭簧,使其下端与输送机构的顶轮贴紧;苗盘输送机构在驱动苗盘向下运动中,顶轮带动限位块一起运动,当苗盘穴孔对准顶苗机构的顶杆时,苗盘位置被固定,以实现苗盘精准输送。

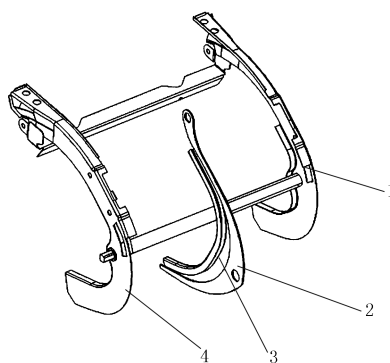


1. 苗盘支架 2. 连杆 3. 手动回位曲柄 4. 限位弹簧
5. 推杆 6. 曲柄 7. 顶轮 8. 苗盘拉爪 9. 限位块

图2 苗盘输送机构三维模型

Fig. 2 3d model of seedling tray conveying mechanism

使用移栽机时,由于苗盘为软体结构,再加上两边的苗盘导向压紧,在苗盘的翻转位置,其中间由于受力不均容易产生凸起现象,影响了苗盘的正常行走和钵杯的正常输送。为此,移栽机的苗盘支架采用两外支架和导向架结构,分别夹紧苗盘两个外侧及中间位置,该三点支撑结构避免了因苗盘柔软、输送过程中凸起导致苗掉落的情况。在苗盘进给时,两苗盘外支架配合苗盘导向架压住苗盘的边缘和中间位置,苗盘拉爪在输送装置的驱动下实现苗盘的拉动进给。苗盘输送支架如图3所示。



1. 外支架 2. 导向架 3. 导轨 4. 外支架

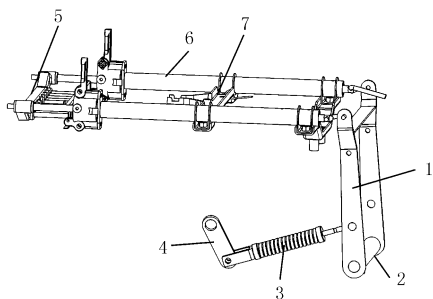
图3 苗盘输送支架

Fig. 3 Seedling dish transport holder

2.2 顶苗机构

顶苗机构^[9]的作用是将苗盘中的秧苗顶出,使苗盘与秧苗分离,落于接苗器上,保证秧苗输送,提高移栽效率^[10]。移栽机的顶苗机构采用曲柄滑块机构,如图4所示。工作时,发动机分配出来的动力,通过变速箱由曲柄进行输出,曲柄带动弹簧连杆运动,弹簧连杆带动曲柄臂板绕着销旋转,实现钵苗顶杆在套筒内的往复直线运动。钵苗顶杆由一排顶针平行布置而成,可实现将苗从苗盘里成排顶出的动作。其中,顶苗机构中连杆采用弹簧连杆的方式,其长度和形态可以根据机构受力的情况自适应调整,以防机构运动

中抱死情况发生,并在运动过程当中起到助力的作用。



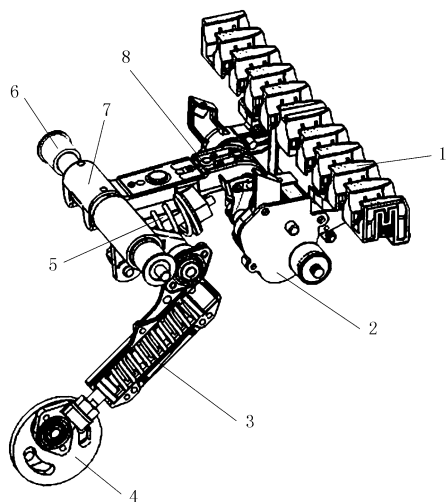
1. 曲柄臂板 2. 销 3. 弹性连杆 4. 曲柄
5. 钵苗顶杆 6. 顶杆套筒 7. 杆套安装板

图4 移栽机顶苗装置

Fig. 4 Transplanting seedling device

2.3 取苗机构

取苗机构将顶出的秧苗接住,以确保根部基质完好,并将秧苗投放到传送带上,如图5所示。其中,偏心轮为动力输入,驱动旋转缸往复运动,带动连接轴套旋转,连接轴套分别和旋转缸、弹簧连杆铰接,从而弹簧连杆带动支撑围绕旋转销旋转,支撑带动接苗拖实现180°旋转,实现取苗动作。



1. 接苗拖 2. 钵体固定联动机构 3. 旋转缸 4. 偏心轮
5. 弹簧连杆 6. 旋转销 7. 连接轴套 8. 支架

图5 接苗装置

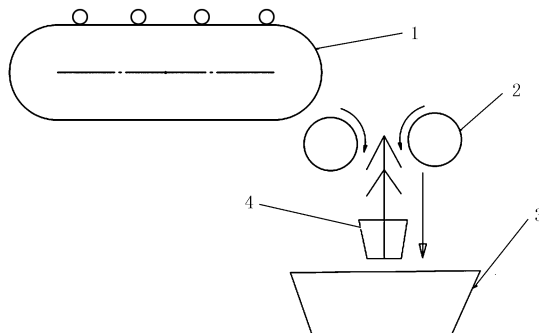
Fig. 5 Seedling device

当苗盘向下步进一格时,顶针正好将苗盘的整排秧苗顶出,每向前运动一次顶出一排秧苗,顶出的钵苗由取苗器接住。取苗时,接苗托向上,当顶苗机构顶出秧苗时正好落入接苗托隔板间隔内;此时间隔内有钵体固定插片由联动机构推动插片向上移动,插入钵体将其固定在苗托间隔内,以免接苗器翻转式钵苗脱落。钵苗固定在苗托间隔内后,接苗器向下翻转180°,正好对准水平传送带,苗托间隔内的插片向外

抽出,钵苗脱落放置在传送带上,完成整个取苗送苗过程。

2.4 送投苗、分苗机构

送投苗机构采用输送带与投苗簸箕组合方式如图6所示。在移栽过程中,钵苗从输送带运送到移栽机的边缘,由于惯性的作用会掉落在地面上,由于重力的作用,钵苗的基质朝下苗朝上。为实现快速投苗动作,采用两个旋转的投苗簸箕滚轮给钵苗一个快速往下的加速度,作用于导苗杯内,以配合栽植机构。

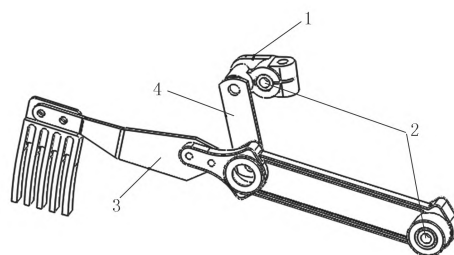


1. 输送带 2. 投苗簸箕滚轮 3. 导苗杯 4. 秧苗

图6 送苗机构设计原理图

Fig. 6 Design principle diagram of seedling delivery mechanism

分苗机构起到将输送来的秧苗单株分送到投苗簸箕上,如图7所示。分苗机构采用四连杆机构,曲柄在外部动力输入下进行周期性旋转,带动连杆运动,驱动分苗拨叉上下往复运动,实现将钵苗分开,一株一株单独落到导苗杯中。送投苗机构与分苗机构配合,分苗将输送来的秧苗单株分送到投苗簸箕上,由投苗簸箕滑落到栽植器吊杯中。输送带和簸箕式送投苗无夹持过程,实现了无损伤送投苗功能。



1. 曲柄 2. 旋转销 3. 分苗拨叉 4. 连杆

图7 分苗机构

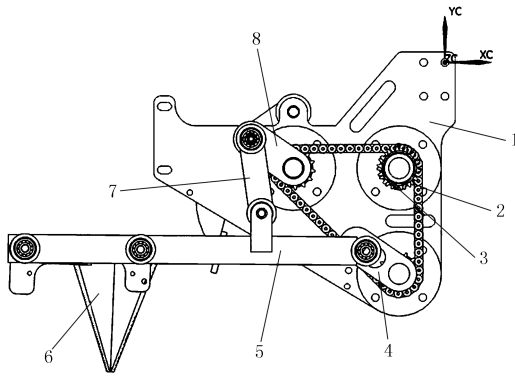
Fig. 7 Seedling distribution device

3 移栽部件设计及运动分析

3.1 五杆双曲柄连杆机构设计

移栽机目前多采用传统挠性圆盘机构,但存在工作效率低、研制成本高、生产周期长等缺点^[11]。移栽机构采用双曲柄五连杆移栽机构,如图8所示。鸭嘴栽植器的动力由双曲柄输入,传动轴贯穿安装主板,

一传动轴传动连接至移栽机的动力输出端,各传动轴上对应安装有传动链轮,各传动链轮之间啮合有传动链。安装主板一侧设有栽种连杆,栽种连杆的一端通过端部传动装置连接至其中一传动轴,栽种连杆的另一端通过鸭嘴传动装置连接有栽种鸭嘴,栽种连杆的中部通过中部传动装置与另一传动轴传动连接;安装主板的另一侧设有鸭嘴开合驱动装置,在鸭嘴开合驱动装置的配合下,实现栽种鸭嘴的开合控制,将从移栽机上落下的作物移栽至土壤内。动力通过传动轴输入,带动链轮旋转,传动链运动,使得曲柄获得相同的角速度驱动力,五连杆机构运动,带动鸭嘴进行上下往复运动。



1. 安装主板 2. 传动链 3. 链轮 4. 驱动曲柄 5. 栽种连杆
6. 鸭嘴板 7. 连杆摇臂 8. 从动曲柄

图8 栽植机构

Fig. 8 Planting mechanism

3.2 秧苗最佳栽植运动分析

1) 运动学分析。五连杆机构矢量图如图9所示。

图9中,每根连杆用一位移矢量来表示,取固定不动的连杆5作为x轴,链轮中心为坐标原点,建立直角坐标系。顺时针依次为连杆1~5,长度分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 ,并规定连杆的角度为连杆与x轴正向的夹角,分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 。

五连杆机构可以构成一个闭环矢量方程,即

$$\begin{cases} L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos\theta_2 = L_5 + L_3 \cos\theta_3 + L_4 \cos\theta_4 \\ L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin\theta_2 = L_4 \sin\theta_4 + L_3 \sin\theta_3 \end{cases} \quad (1)$$

写出C点位移的矩阵方程式为

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos\theta_2 \\ L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin\theta_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2) 零速栽植分析。作为移栽机的核心部件,五杆栽植机构可以看成是随移栽机整体匀速运动和绕轴旋转的椭圆运动的合成。移栽过程中,秧苗脱离机构的位姿通常会受到很多因素的影响。考虑鸭嘴栽植器把苗植入土中,秧苗可能受到的损伤和碰撞等情况^[12-13],鸭嘴的绝对运动是机具前进运动和鸭嘴椭圆

周运动的合成,椭圆轨迹为 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$,如图10所示。

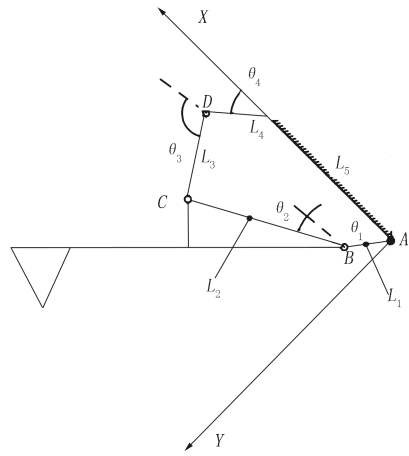


图9 五连杆机构矢量图

Fig. 9 Vector diagram of five-bar linkage mechanism

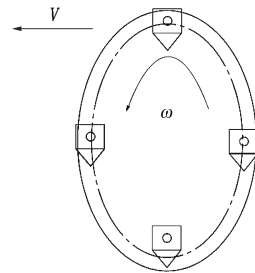


图10 栽鸭嘴运动合成示意图

Fig. 10 Motion synthesis diagram of planter

其运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = vt + a \cos\omega t \\ y = b \sin\omega t \end{cases} \quad (3)$$

其中, x 为X轴方向的位移量; y 为Y轴上的位移量; v 为移栽机前进的速度; t 为时间; ω 为鸭嘴旋转的角速度; a 、 b 分别为椭圆运动的长轴和短轴。

通过对式(3)进行时间求导,可得鸭嘴运动的速度方程,即

$$\begin{cases} v_x = v - a\omega \sin\omega t \\ v_y = b\omega \cos\omega t \end{cases} \quad (4)$$

其中, v_x 为X轴方向的速度; v_y 为Y轴方向的速度。

当 $v_x = 0$ 时,即 $\frac{v}{a\omega} = \sin\omega t$ 时,鸭嘴的水平速度为零。

令 $\lambda = \frac{a\omega}{v} = \frac{1}{\sin\omega t}$, λ 是鸭嘴回转的速度与拖拉机前进速度的比值,称其为鸭嘴运动轨迹的特征参数。

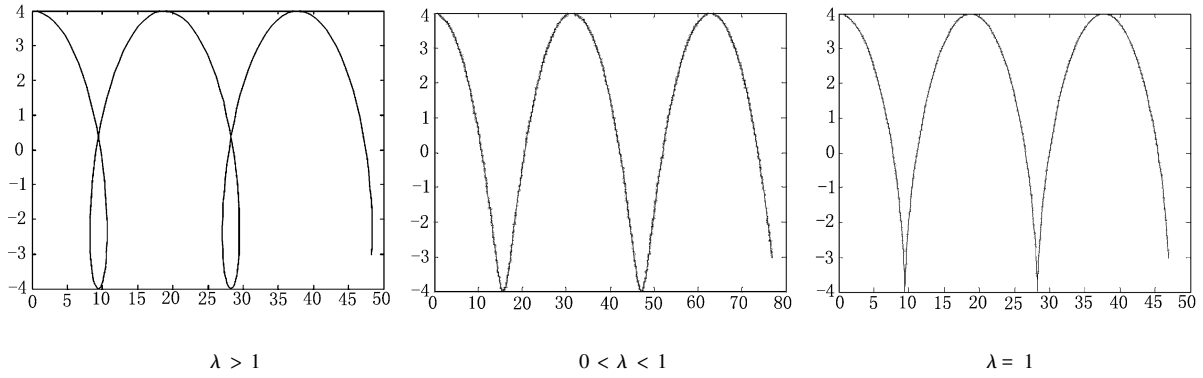


图 11 特征参数不同取值时的鸭嘴运动轨迹

Fig. 11 Duck beak trajectory with different values of characteristic parameters

当 $0 < \lambda < 1$ 时,鸭嘴的运动轨迹为短摆线,吊篮的水平分速度与拖拉机前进方向一致。因此,在吊篮运动轨迹上任意点投放秧苗的水平分速度均向前,容易使栽植的秧苗有加重向前倾倒的趋势,不能保证栽植秧苗的直立度要求,无法实现零速投苗。

当 $\lambda > 1$ 时,鸭嘴式吊篮的运动轨迹为余摆线,即摆线上有环扣出现,吊篮在打穴时会出现前后摆动现象,不利于打穴和保证秧苗的直立度。

当 $\lambda = 1$ 时,鸭嘴式吊篮的运动轨迹为摆线,摆线上没有环扣出现,且在最低部时吊篮运动方向基本处于垂直方向。摆线的最低点处存在 1 个拐点,即吊篮运动轨迹上存在 1 个零速投苗点,拐点处的水平分速度为零,有利于打出垂直的孔穴,保证了秧苗的直立度^[14-15]。

3.3 Adams 仿真验证

零速投苗原理要求秧苗在植入土里时水平方向的速度为零,与地面相对静止,就要求栽植过程中栽植器保证秧苗垂直入土,垂直离开地面,且秧苗保持直立状态。通过 Adams 对本移栽机的栽植状态进行仿真,对栽植器栽植情况进行验证。用 SolidWorks 对辣椒移栽机鸭嘴栽植器进行三维建模,导出 *x_t 格式文件,再导入 Adams 中进行仿真^[16-18]。

在 Adams 内,对于移栽机鸭嘴栽植器属于一个构件的几个实体进行布尔运算,对栽植器各杆添加旋转副,机架添加固定副约束;主动轴添加旋转驱动,并设定相应的旋转速度,进行运动仿真后可以得到栽植器的运动轨迹曲线。鸭嘴栽植器各材质添加为钢材。通过查阅文献,全自动移栽机移栽频率为 45~55 株/min,取移栽频率 45 株/min 进行仿真,求解转动驱动副的角速度值,可以计算得不同 λ 值时移栽机的行驶速度 v_x ,并将 v_x 设置为样机前进的平动驱动副的速度值。通过仿真得到以下运动轨迹图,如图 12 和图 13 所示。

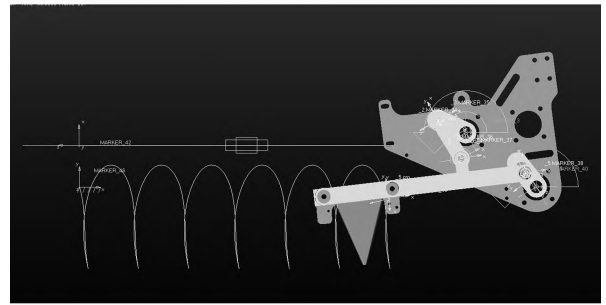


图 12 栽植器仿真

Fig. 12 Motion trajectory of planter simulation

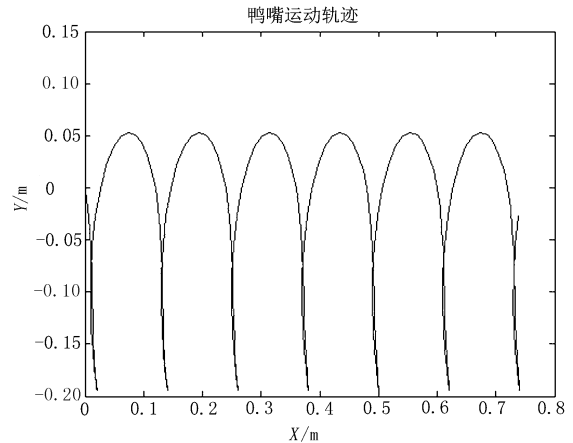


图 13 栽植器仿真运动曲线

Fig. 13 Simulation movement curve of planter

通过仿真分析图可知,移栽机的五杆栽植器,基本满足零速栽植的要求,栽植效率高。

4 田间试验

4.1 试验地与穴盘苗概况

2020 年 5 月 28 日,在贵州省修文县试验地进行田间性能试验,天气晴,温度 16℃。试验地经过翻耕碎土,起垄覆膜。垄长 28.6m,高 20~25cm,宽 70cm,垄间距 120cm。穴盘采用专用穴盘 10×22 规格的育苗盘,统一育苗,秧苗为苗龄 50 天左右的辣椒苗,苗高平均 100mm,并尽量保证秧苗的基质比较紧实,以便于分苗和栽种。

4.2 试验方法

按照《旱地栽植机械行业标准》要求的检测指标进行实验^[19-22],试验前先调试好机器,并在试验地里让机器在垄上空走一遍,测试机器各工作部件是否运行正常。测试结束后,装好秧盘,需连续进行多次试验,同时用秒表记录每次试验的时间,并统计每次试验的穴孔数量和秧苗栽植成功的株数,以计算每次试验时的栽植效率与栽植成功率。在每次移栽试验结束后,用卷尺随机测量连续测量3~5组秧苗的行距、株距和株深,再求其平均值和误差率;同时,每组记录

漏栽株数、倒伏株数、埋苗株数、伤苗株数及合格株数,求得栽植质量的有关参数。

4.3 试验及检测结果

1)栽植质量试验。穴盘苗自动移栽机在垄上进行样机性能试验,主要检测的空穴率、栽植效率和栽植成功率,结果如表2所示。由表2可知:平均漏栽率低于5%,倒伏率为5%,栽植合格率大于83.6%,表明样机移栽效果符合旱地移栽机的主要性能指标规定,设计合理。

表2 栽植质量
Table 2 Planting quality

组别	漏栽株数	倒伏株数	埋苗株数	露苗株数	伤苗株数	合格株数	总株数	漏栽率 /%	倒伏率 /%	埋苗率 /%	露苗率 /%	伤苗率 /%	合格率 /%
1	2	4	0	6	0	54	66	3	6	0	9	0	82
2	4	4	2	4	0	44	58	7	7	3	7	0	76
3	3	4	0	3	0	68	78	4	5	0	4	0	87
4	6	6	0	4	0	62	78	8	8	0	4	0	80
5	2	1	0	1	0	77	81	2	1	0	1	0	96
6	4	2	2	6	0	63	77	5	3	3	8	0	81
均值								4.8	5	1	5.5	0	83.6

2)栽植株距稳定性试验。调节栽植株距理论值为34.5cm进行试验,通过6组试验对比,结果如表3所示。由表3可知:每个水平试验下的平均栽植株距与理论栽植株距34.5cm差异较小,误差在1mm内,实测株距与理论株距相比有些许差异,但差异不大,株距误差率仅为0.04%,栽植株距稳定。

表3 栽植株距
Table 3 Measurement of plant spacing

组别	测量值均值 /cm	理论值 /cm	误差 /cm	误差率 /%
1	34	34.5	-0.5	1.4
2	34	34.5	-0.5	1.4
3	35	34.5	0.5	1.4
4	34	34.5	-0.5	1.4
5	35	34.5	0.5	1.4
6	34	34.5	-0.5	1.4
平均值	34.33	34.5	0.016	0.04

5 结论

针对丘陵地形设计了一种小型全自动蔬菜移栽机,主要由苗盘输送机构、顶苗机构、取苗机构、送投

苗机构、分苗机构及栽植机构组成,可自动完成喂苗、取苗、送苗、栽植与覆土等作业。田间试验结果表明:栽植株距稳定,误差率为0.04%,误差率低;测得的6组栽植平均合格率为83.6%,栽植漏栽率为4.8%,伤苗率为0,倒伏率为5%,埋苗率为1%,露苗率为5.5%;在频率45株/min时,移栽效果比较好。在地形平整、起垄条件好的情况下,合格率更高,与其他相类似的机型相比,栽植成功率已经得到很大提高,可以满足栽植作业的要求。

参考文献:

- [1] 刘健. 贵州:到2021年蔬菜种植面积稳定在1500万亩以上[EB/OL]. [2021-01-28]. http://gz.cnr.cn/jr/20190619/t20190619_524656172.shtml.
- [2] 吕志军,单伊尹,王杰,等. 蔬菜移栽装备研究现状和钵苗移栽装备展望[J]. 中国农机化学报,2017,38(11):30-34.
- [3] 丁文芹,毛罕平. 穴盘苗自动移栽机的结构设计及运动仿真分析[J]. 农机化研究,2011,33(10):75-77.
- [4] 辛福志,任士虎,安莹,等. 全自动移栽机的使用技术要求[J]. 现代化农业,2019(9):70-72.
- [5] 赵英杰,马振,陈永,等. 移栽机自动进给机构的设计研究[J]. 农机化研究,2018,40(7):68-71,76.

- [6] 马振,胡斌,李俊虹. 移栽机自动化送盘装置的关键部件及送盘方法的设计分析[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 68-71.
- [7] 卢勇涛,李亚雄,刘洋,等. 国内外移栽机及移栽技术现状分析[J]. 新疆农机化, 2011(3): 29-32.
- [8] 柳春柱,周成,孙书祥. 我国水稻移栽机械研制应用简述[J]. 现代化农业, 1999(10): 38-39.
- [9] 韩振浩,颜华,陈科,等. 基于MatLab的顶苗机构设计与参数优化[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 142-146.
- [10] 张敏,冯江,宫成宇,等. 全自动旱田移栽机顶出机构的机理分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(3): 85-89.
- [11] 崔有正,张洪军,尹涛,等. 一种新型旱地洋葱插秧机的设计[J]. 时代农机, 2019, 46(9): 121-122, 126.
- [12] 赵志国. 吊篮-鸭嘴式移栽机栽植器运动轨迹分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11932, 11935.
- [13] 武科,毕新胜,陈永成. 吊篮式移栽机栽植器的研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(6): 73-75, 79.
- [14] 封俊,秦贵,宋卫堂,等. 移栽机的吊杯运动分析与设计准则[J]. 农业机械学报, 2002(5): 48-50.
- [15] 李其均,鲁善文,杨宪武. 吊篮式棉花移栽机的研究[J]. 农机化研究, 2006(4): 164-166.
- [16] 王洪波,张开兴,刘贤喜,等. 蔬菜移栽机五杆栽植机构的仿真与试验[J]. 农机化研究, 2019, 41(8): 112-116.
- [17] 付鹏洋,胡建平,刘发,等. 齿轮连杆凸轮组合式栽植机构仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 52-56.
- [18] 王石,王笑岩,李成华. 挠性圆盘式蔬菜移栽机运动仿真分析[J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 42-45.
- [19] 李子红,张小明. 小型蔬菜移栽机研制[J]. 贵州农机化, 2019(3): 4-5.
- [20] 刘晓明,李治国,闫子双,等. 蔬菜移栽机技术性能试验对比[J]. 农机科技推广, 2019(11): 57-58, 61.
- [21] 高光明,刘元义,宫玉敏,等. 2YG-2型设施蔬菜移栽机自动投苗研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(4): 50-56.
- [22] 燕亚民,乔新丽,张贵明,等. 烟草移栽机送苗装置设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(4): 24-28.

Design and Experiment on a Small Automatic Vegetable Transplanter

Li Tandong, Min Hang, Zhang Yun, Lin Shuyun, Li Jie

(Guizhou Mountain Agricultural Machinery Research Institute, Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to solve the problems of high labor intensity and labor cost in vegetable transplanting in hilly areas, a small-scale walking type automatic transplanter was designed. By adjusting the parameters such as planting distance and speed, the transplanting requirements of different vegetables could be met. This paper introduces the design of the whole machine, the mechanism of apical seedling, the mechanism of receiving seedlings, the mechanism of sending seedlings and the mechanism of planting seedlings. The working principle of the mechanism is analyzed and the relevant parameters are determined. According to the principle of zero speed planting, the motion analysis and ADAMS simulation for planting mechanism are carried out to obtain the optimal trajectory. Through the field test, the average qualified rate of the transplanter is 83.6%, the rate of missing load is 4.8%, the rate of injured seedlings is 0, the lodging rate is 5%, the rate of buried seedlings is 1%, the rate of exposed seedlings is 5.5%, and the error rate of planting spacing is only 0.04%. Field experiments show that the transplanting machine can automatically complete the process of feeding seedlings, separating seedlings and planting, realize the vegetable transplanting automation, and can better solve the problem of vegetable transplanting in hilly areas.

Key words: vegetable transplanting; full automation; key component; ADAMS simulation