

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.11.010

油菜基质块苗移栽机取苗装置设计与试验

廖庆喜^{1,2} 王洋^{1,2} 胡乔磊^{1,2} 张青松^{1,2} 何坤^{1,2} 肖文立^{1,2}

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 针对现有油菜基质块苗取苗装置在取苗过程易脱苗和基质损失率高等问题, 设计了一种往复夹取式取苗装置。根据垂直苗盘取苗、平行铅垂线投苗的取苗臂位置要求, 确定了取苗装置各构件尺寸关系, 构建了取苗臂的运动学模型, 得出其位移方程及相对运动轨迹。以减小取苗轨迹水平间距及取苗轨迹高度为优化目标, 基于 Matlab 软件优化取苗装置各构件参数为: 主动杆长度 75.10 mm, 取苗臂长度 335.26 mm, 从动杆长度 100.42 mm, 机架长度 171.32 mm, 该参数组合下, 取苗轨迹水平间距为 173.20 mm, 取苗轨迹高度为 29.56 mm。构建了取苗回程苗块的动力学模型, 分析了苗块临界脱苗方程, 结合苗块力学特性参数测定试验, 得出最小取苗夹持力为 7.07 N, 确定了末端执行器气缸缸径为 20 mm。应用 ADAMS 软件获得仿真取苗轨迹, 运用高速摄影技术测定实际取苗轨迹高度和取苗轨迹水平间距, 经对比分析, 实际值与理论值、仿真值的相对误差均小于 3%, 验证了取苗装置设计的合理性。台架试验表明, 取苗成功率为 93.33%, 脱苗率为 2.86%, 基质损失率为 3.75%, 满足油菜基质块苗移栽要求。

关键词: 油菜; 基质块苗; 取苗装置; 轨迹分析

中图分类号: S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)11-0093-10

OSID:



Design and Experiment on Pick-up Device for Rapeseed Substrate Seedling Transplanter

LIAO Qingxi^{1,2} WANG Yang^{1,2} HU Qiaolei^{1,2} ZHANG Qingsong^{1,2} HE Kun^{1,2} XIAO Wenli^{1,2}

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China)

Abstract: Rapeseed seedling transplanting is an innovative and efficient transplanting technique. However, falling off and high substrate loss have become the common problem facing rapeseed seedling transplanting fields and causing the transplanting quality of rapeseed seedling decrease. A clipping type seedling pick-up device was developed. According to the position requirements of the pick-up arm, the size relationship between the components of pick-up device was determined. The displacement equation and motion trajectory of pick-up arm were obtained by dynamic analysis. The optimal parameter combination was obtained based on Matlab optimization analysis, so as to reduce the horizontal spacing (Δx_E) and the height (Δy_E) of trajectory, which were as follows: the length of active side-stick was 75.10 mm, the length of pick-up arm was 335.26 mm, the length of negative side-stick was 100.42 mm, and the length of frame was 171.32 mm. And the optimization results were as follows: the horizontal spacing of trajectory was 173.20 mm, and the height of trajectory was 29.56 mm. The critical falling off equations of seedling block was established by dynamic analysis. The mechanical and physical properties of seedling block were obtained by experiment. The following conclusions were obtained through analysis: the minimum clamping force for pick-up device was 7.07 N, and the diameter of the finger cylinder was 20 mm. The virtual trajectory was obtained by ADAMS, and the actual trajectory was obtained by high-speed photography technology. After comparison and analysis, the error between the actual value, optimization result and simulation result were less than 3%, which verified the correctness of the mechanism design. The seedling pick-up was tested through the bench experiment, and the results were

收稿日期: 2019-12-26 修回日期: 2020-02-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700702)、国家油菜产业体系专项(CARS-12)、农业部科研杰出人才及创新团队项目和湖北省农业农村厅农业科技创新行动项目

作者简介: 廖庆喜(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事油菜机械化生产技术与装备研究, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

as follows: the success rate of seedling pick-up was 93.33%, the rate of seedling falling off was 2.86%, and the rate of substrate loss was 3.75%, which met the requirements of rapeseed substrate seedling pick-up and verified the feasibility of the mechanism design. The research result provided a reference for the design of pick-up device for rape substrate seedling transplanter.

Key words: rapeseed; substrate seedling; pick-up device; trajectory analysis

0 引言

长江流域是我国主要的冬油菜种植区域,稻油轮作茬口矛盾突出,育苗移栽是解决该问题的重要手段^[1-3]。人工移栽劳动强度大,易损伤油菜幼苗根系,难以保证作业质量^[4]。开发油菜移栽机对提高移栽效率、节约农时、提升油菜移栽质量具有重要意义^[5]。取苗装置是油菜移栽机的关键部件,对移栽作业效果和栽植质量有着决定性的影响^[6]。现有油菜移栽机对油菜基质块苗适应性较差^[7],目前国内尚缺乏适用于油菜基质块苗移栽及其配套取苗装置的相关研究。

国外关于基质块苗移栽机的研制起步较早,如意大利 FERRARI 公司研发的 FPC 型移栽机^[8],实现了对蔬菜基质块苗全自动化覆膜移栽作业,栽植过程稳定可靠;法国 CM®ERO 公司研制了全自动移栽机^[9],其取苗基于气动控制原理,实现了对基质块苗的高频、高效移栽。国外全自动移栽机主要根据各国作物种植模式和农艺要求研制,其整机较为庞大,对田间条件要求较高,不适合我国长江流域稻垆田粘重土壤的油菜移栽实际情况^[10]。目前,国内对移栽机械及其配套取苗装置的研究主要针对钵体苗、穴盘苗及毯状苗。廖庆喜等^[11]基于气动控制原理研制了适用于油菜纸钵苗移栽机的嵌入式气动取苗装置,实现了对多行钵苗的同步取苗投苗功能;高国华等^[12]运用单驱动源下的联动机构设计了穴盘苗取苗手爪,通过参数分析降低了移栽过程中的穴苗钵坨损伤;吴崇友等^[13-14]对油菜毯状苗移栽机取苗装置的取苗过程进行分析,通过优化相关参数提高了移栽质量。上述研究借助传动系统与取苗针实现了移栽机的取苗功能,但均出现因脱苗而造成的基质粘附损失和破坏损失。目前鲜有关于油菜基质块苗移栽机及其配套取苗装置设计的报道。

本文以立方体油菜基质块苗为研究对象,设计一种往复夹取式取苗装置,以减小基质损失率和脱苗率为目标,建立取苗臂的运动学模型,得出其位移方程及相对运动轨迹,优化取苗装置关键结构参数,建立苗块的动力学模型,得到末端执行器相关参数,通过轨迹提取和台架试验验证该装置的工作轨迹及取苗作业性能,以期对油菜基质块苗移栽机配套取苗装置的研制提供参考。

1 移栽机结构与工作过程

1.1 整机结构与工作过程

油菜基质块苗移栽机结构如图 1 所示,主要包括立式旋耕驱动耙、空气压缩机、放苗盘、同步带输送机构、分苗装置、取苗装置、开沟器、覆土轮等,其中取苗装置为其核心部件。参照 NY/T 1924—2010《油菜移栽机质量评价技术规范》^[15],并结合油菜基质块苗移栽种植农艺要求,确定其主要技术参数如表 1 所示。

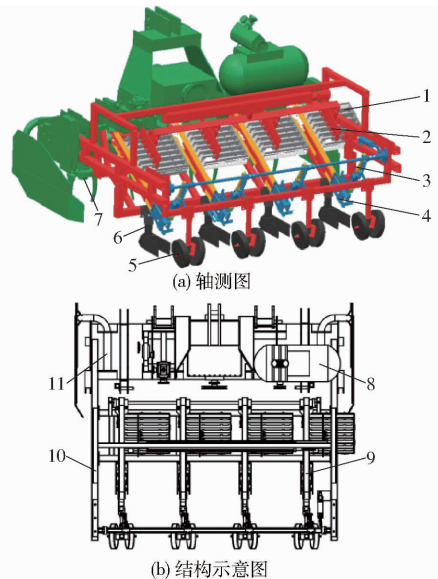


图 1 油菜基质块苗移栽机整机结构图

Fig. 1 Structural diagrams of rapeseed substrate seedling transplanter

1. 载苗盘 2. 送苗装置 3. 取苗装置 4. 分苗装置 5. 覆土轮
6. 开沟器 7. 旋耕刀 8. 空气压缩机 9. 同步带输送苗机构
10. 副机架 11. 立式旋耕驱动耙

工作时,人工将油菜基质块苗放置于载苗盘中,分苗装置推板将整列苗块推送至同步带,苗块随同步带排队向下运苗至分苗位置,分苗装置以一定频率对整列苗块逐一夹持以达到单株分离,取苗装置以相同频率对苗块往复夹取并垂直投苗,苗块在自身重力作用下下落至栽植器;立式旋耕驱动耙在拖拉机牵引下对苗床带进行旋耕作业,形成合理的苗沟,同时为保证苗块在栽植时的直立度,通过开沟器对沟壑进行二次作业以形成平整沟型,当苗块落入苗沟内,安装在开沟器后端的覆土器及时将土壤填覆至苗块两侧,并完成一个周期的移栽作业。

表 1 油菜基质块苗移栽机主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of rapeseed substrate seedling transplanter

参数	数值/型式
特征型式	输送带式
外形尺寸(长×宽×高)/ (mm×mm×mm)	2 000×1 900×1 350 (高度根据驱动耙参数而定)
苗盘倾角/(°)	30
栽植株距/mm	250~350
栽植行距/mm	450
栽植深度/mm	60~100
栽植频率/(株·min ⁻¹)	30~60
栽植行数/行	4
工作幅宽/mm	2 000
配套动力/kW	70~80
作业速度/(km·h ⁻¹)	2.2~3.5

1.2 取苗装置结构与取苗过程

取苗装置主要由回转曲柄、主动杆、取苗夹板、从动轴、I号气缸、II号气缸、III号气缸及相应气缸固定座等组成,其结构示意图如图2所示。其中,III号气缸、III号气缸固定座及取苗夹板构成取苗末端执行器,可对苗块进行夹持取苗;取苗末端执行器与II号气缸、II号气缸固定板、主动杆、从动杆等构成往复摆动机构,以I号气缸为动力源,以回转曲柄和从动轴为介质,将动力传动至主动杆,实现取苗装置往复运动。

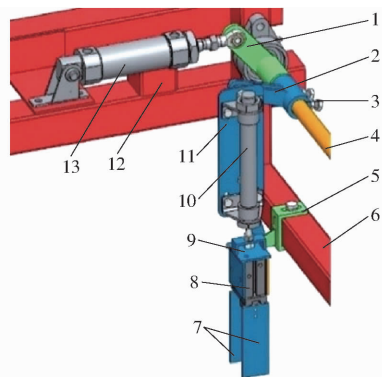


图 2 取苗装置结构示意图

Fig. 2 Schematic of pick-up device

1. 回转曲柄 2. 主动杆 3. 主动杆固定套筒 4. 从动轴 5. 从动轴铰接座 6. 第一副机架 7. 取苗夹板 8. III号气缸 9. III号气缸固定座 10. II号气缸 11. II号气缸固定板 12. 第二副机架 13. I号气缸

取苗作业初始状态时, I号气缸呈缩短状态, III号气缸呈张开状态。具体取苗过程为:①取苗进程, I号气缸伸出, 驱动往复摆动机构主动杆顺时针旋转, 当取苗臂垂直于苗盘, 取苗夹板置于苗块两侧时, 取苗装置处于取苗位置。②取苗时刻, III号气缸闭合, 驱动取苗夹板夹持苗块基质体。③取苗回程,

I号气缸收缩, 驱动往复摆动机构主动杆逆时针旋转, 使苗块随取苗臂远离苗盘, 使取苗臂运动至与铅垂线平行, 此时取苗装置处于直立位置。④投苗进程, II号气缸伸出, 驱动取苗末端执行器向下运动至栽植器上方, 即投苗位置。⑤投苗时刻, III号气缸张开, 驱动取苗夹板释放苗块, 油菜基质块苗落入栽植器中。⑥投苗回程, II号气缸收缩, 驱动取苗末端执行器向上运动, 取苗装置回到初始状态, 完成一次完整的取苗动作。

2 取苗过程运动学分析

2.1 取苗臂数学模型

取苗过程中, 往复摆动机构各构件长度不变, 可以将其简化为一种外加动力的铰链四杆机构。往复摆动机构运动简图如图3所示, 其中: BC 为主动杆、 CE 为取苗臂、 AD 为从动杆、 AB 为副机架, 取苗臂 CE 与从动杆 AD 铰接于 D 点, $ABCD$ 构成封闭四边形。

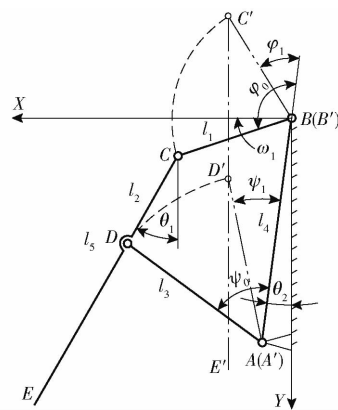


图 3 往复摆动机构运动简图

Fig. 3 Kinematic diagram of reciprocate swing mechanism

为保证取苗和投苗时取苗装置能够到达指定位置执行取苗和投苗动作, 取苗臂偏角应满足如下条件: 取苗装置处于取苗状态时, 各杆处于 $ABCDE$ 位置, 取苗夹板对苗块进行夹持取苗, 此时取苗臂偏角 θ_1 需等于苗盘倾角, 即 θ_1 为 30° ; 取苗装置处于直立状态时, 各杆处于 $A'B'C'D'E'$ 位置, 此时取苗臂 CE 偏角 θ_1 需为 0° 。

设定铰链四杆机构各构件尺寸为 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 , 取苗状态时主动杆 BC 、从动杆 AD 的初始角分别为 φ_0 、 ψ_0 , 直立状态时主动杆 BC 、从动杆 AD 的位置角为 φ_1 、 ψ_1 。由封闭四边形 $ABCD$ 及 $A'B'C'D'A'$ 得出机构各杆所构成的封闭矢量方程^[16-17]

$$l_1 + l_2 = l_3 + l_4 \quad (1)$$

将式(1)转换为标量表达式, 并向 X 、 Y 方向投影可得各杆件尺寸关系为

$$\begin{cases} l_1 \cos(\pi - \varphi_0 + \theta_2) + \sqrt{3}l_2/2 = l_4 \cos\theta_2 - l_3 \cos(\psi_0 - \theta_2) \\ l_1 \sin(\pi - \varphi_0 + \theta_2) + l_2/2 = l_4 \sin\theta_2 + l_3 \sin(\psi_0 - \theta_2) \\ l_2 - l_1 \cos(\varphi_1 - \theta_2) = l_4 \cos\theta_2 - l_3 \cos(\psi_1 - \theta_2) \\ l_1 \sin(\varphi_1 - \theta_2) = l_4 \sin\theta_2 + l_3 \sin(\psi_1 - \theta_2) \end{cases} \quad (2)$$

式中 l_1 ——主动杆 BC 长度, mm

l_2 ——取苗臂 CD 长度, mm

l_3 ——从动杆 AD 长度, mm

l_4 ——机架 AB 长度, mm

l_5 —— I 号气缸闭合时, 取苗臂 CE 长度, mm

θ_2 ——机架 AB 与竖直面倾角, ($^\circ$)

在取苗过程中, 主动杆转角由 φ_0 变化至 φ_1 , 往复摆动机构需满足平面四杆机构主动杆存在条件。当主动杆转角 $\varphi = 180^\circ$ 时, 主动杆与机架运动学尺寸重合共线, 机构存在最小传动角^[18], 为保证机构具有良好的传力性能, 该四杆机构传动角应大于许用 $[\beta_{\min}]$ 。其中 $[\beta_{\min}]$ 一般为 $40^\circ \sim 50^\circ$, 取 $[\beta_{\min}] = 50^\circ$ 。故各杆件间尺寸的约束条件为

$$\begin{cases} l_1 + l_2 \leq l_3 + l_4 \\ l_1 + l_3 \leq l_2 + l_4 \\ l_4 - l_1 \leq l_2 + l_3 \\ [\beta_{\min}] - \arccos \frac{l_2^2 + l_3^2 - (l_4 - l_1)^2}{2l_2l_3} \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.2 取苗臂运动学模型

取苗过程中, 取苗进程与回程、投苗进程与回程, 取苗臂所形成的相对运动轨迹分别相同, 取苗回程与投苗进程为携苗运动过程, 该过程取苗臂运动状态直接决定苗块的运动状态, 分别建立取苗回程和投苗进程的运动学模型, 具体如下:

取苗回程阶段, 根据图3建立矢量封闭方程为

$$\mathbf{l}_{BE} = \mathbf{l}_{BC} + \mathbf{l}_{CE} \quad (4)$$

将矢量式转换为解析形式, 得出取苗回程阶段取苗臂位移方程为

$$x_B = y_B = 0 \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_C = x_B + l_1 \cos(\pi - \varphi(t) + \theta_2) \\ y_C = y_B + l_1 \sin(\pi - \varphi(t) + \theta_2) \end{cases} \quad (0 \leq t \leq T_1) \quad (6)$$

$$\begin{cases} x_E = x_C + l_5 \cos\theta_1(t) \\ y_E = y_C + l_5 \sin\theta_1(t) \end{cases} \quad (7)$$

整理式(4)~(7)可得

$$\begin{cases} x_E = l_1 \cos(\pi - \varphi(t) + \theta_2) + l_5 \cos\theta_1(t) \\ y_E = l_1 \sin(\pi - \varphi(t) + \theta_2) + l_5 \sin\theta_1(t) \end{cases} \quad (8)$$

投苗进程阶段, 取苗臂在水平 X 方向位置不

变, 其铅垂 Y 方向位移为

$$y_E = l_1 \sin(\pi - \varphi(T_1) + \theta_2) + l_5 \sin\theta_1(T_1) + vt \quad (0 \leq t \leq T_2) \quad (9)$$

式中 $\theta_1(t)$ ——取苗臂偏角关于时间的函数

$\varphi(t)$ ——主动杆转角关于时间的函数

v ——机组前进速度, mm/s

T_1 ——取苗回程中取苗装置运行时间, s

T_2 ——投苗进程中取苗装置运行时间, s

根据式(8)、(9)绘制取苗回程及投苗进程的取苗轨迹如图4所示。其中, 取苗臂末端 E 点在 x 方向位移为 Δx_E , 其物理意义为取苗回程阶段取苗轨迹水平间距, 取苗臂末端 E 点在 y 方向位移为 Δy_E , 其物理意义为取苗回程阶段取苗轨迹高度。其计算方法为

$$\begin{cases} \Delta x_E = x_E|_{t=0} - x_E|_{t=T_1} \\ \Delta y_E = y_E|_{t=T_1} - y_E|_{t=0} \end{cases} \quad (10)$$

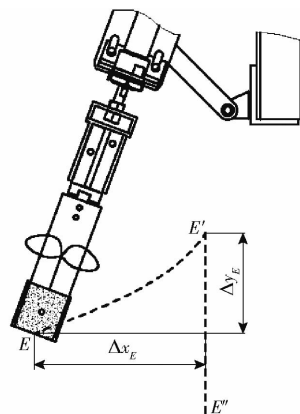


图4 相对取苗轨迹

Fig.4 Relative seedling trajectory

取苗轨迹水平间距 Δx_E 及取苗轨迹高度 Δy_E 与往复摆动机构结构参数有关, 同等条件下, 取苗轨迹水平间距 Δx_E 越大, 取苗臂在 X 方向运动时间越长, 则该过程苗块越不稳定而脱苗, 取苗轨迹高度 Δy_E 越大, 取苗臂末端点 E 与地面的距离越大, 即取苗回程中苗块底端与地面的距离逐渐增大, 此时若苗块脱离取苗夹板, 苗块与地面或栽植器碰撞造成基质损失率将增大。因此, 确定取苗轨迹水平间距 Δx_E 及取苗轨迹高度 Δy_E 为往复摆动机构优化目标。

2.3 取苗装置结构参数分析

根据取苗臂位移方程及运动轨迹, 分析得出取苗轨迹水平间距 Δx_E 与取苗轨迹高度 Δy_E 越小, 越有利于取苗可靠及基质完整性。考虑取苗装置与同步带输送苗机构间的装配关系及往复摆动机构各组成构件尺寸需求, 赋予取苗轨迹水平间距 Δx_E 及取苗轨迹高度 Δy_E 边界条件为

$$\begin{cases} 150 \text{ mm} \leq \Delta x_E \leq 200 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \leq \Delta y_E \leq 40 \text{ mm} \end{cases} \quad (11)$$

设定取苗装置结构参数初值 $l_1 = 75 \text{ mm}$, $l_4 = 171 \text{ mm}$, $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 13.5^\circ$, $[\beta_{\min}] = 50^\circ$, 采用拟牛顿法和 Matlab 软件, 对式(2)、(3)、(8)、(10)、(11)组成的非线性方程组进行数值计算与迭代优化^[19], 取苗轨迹水平间距 Δx_E 与取苗轨迹高度 Δy_E 随迭代变化趋势如图 5 所示, 在第 2 次迭代时得到第 1 组优解参数组合, 随后迭代过程中取苗轨迹水平间距 Δx_E 与取苗轨迹高度 Δy_E 逐渐减小并收敛于稳定值, 于第 10 次迭代时完成最终优化。

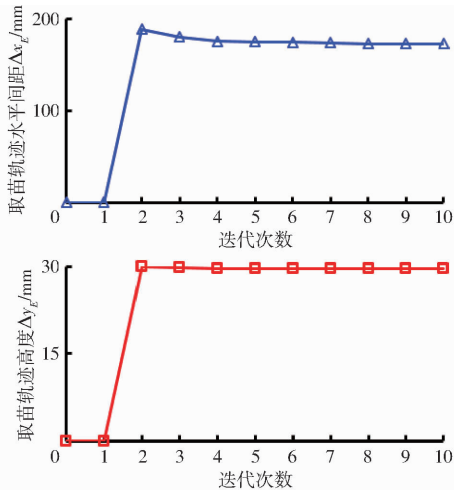


图 5 优化目标在迭代过程的变化趋势

Fig. 5 Trends of optimization goals in iterative process

由最终迭代输出结果得到往复摆动机构参数为: 主动杆长度 $l_1 = 75.10 \text{ mm}$, 取苗臂与主动杆铰接段长度 $l_2 = 122.08 \text{ mm}$, 取苗臂长度 $l_5 = 335.26 \text{ mm}$, 从动杆长度 $l_3 = 100.42 \text{ mm}$, 机架长度 $l_4 = 171.32 \text{ mm}$, 该参数组合下, 取苗轨迹水平间距 Δx_E 为 173.20 mm , 取苗轨迹高度 Δy_E 为 29.56 mm 。将 Matlab 计算得出的各构件最优解及相关角度保留小数点后两位, 结果如表 2 所示。

3 取苗过程动力学分析

3.1 苗块动力学模型

苗块在取苗过程中与取苗夹板协同运动^[20-21], 当苗块重力、取苗夹板对苗块的摩擦力及取苗夹板对苗块的夹持力的合力, 不足以支撑苗块随取苗夹板运动时, 苗块将与取苗夹板产生相对位移, 并脱离滑落进而脱苗, 影响取苗可靠性及基质损失率^[22]。以苗块质心 N 点为原点, 垂直于幼苗主茎秆方向为 F_s 方向, 对苗块进行受力分析, 建立取苗回程苗块的动态受力坐标系如图 6 所示, 则苗块临界脱苗方程为

$$\begin{cases} 2f_{sx} + G\sin\theta_1(t) < F_{ix} \\ 2f_{sy} - G\cos\theta_1(t) < F_{iy} \end{cases} \quad (12)$$

表 2 往复摆动机构相关参数

Tab. 2 Operation values of pick-up device

参数	数值
主动杆长度 l_1/mm	75.10
取苗臂 CD 长度 l_2/mm	122.08
从动杆长度 l_3/mm	100.42
副机架长度 l_4/mm	171.32
取苗臂 CE 长度 l_5/mm	335.26
主动杆初始角 $\varphi_0/(\circ)$	120.66
主动杆位置角 $\varphi_1/(\circ)$	81.01
从动杆初始角 $\psi_0/(\circ)$	55.53
从动杆位置角 $\psi_1/(\circ)$	19.35

式中 F_{ix} ——所需外部作用力的 x 向分量, N
 F_{iy} ——所需外部作用力的 y 向分量, N
 f_{sx} ——取苗夹板对苗块摩擦力的 x 向分量, N
 f_{sy} ——取苗夹板对苗块摩擦力的 y 向分量, N
 G ——苗块重力

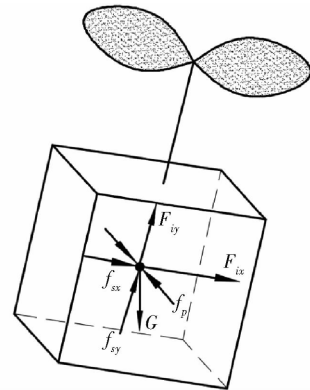


图 6 苗块受力分析图

Fig. 6 Kinematics analysis of seedling block

其中, 取苗夹持力与苗块摩擦力间转换关系为

$$\begin{cases} f_p = \frac{f_s}{\mu} \\ f_s = \sqrt{f_{sx}^2 + f_{sy}^2} \end{cases} \quad (13)$$

式中 f_s ——取苗夹板对苗块的摩擦力, N
 f_p ——取苗夹板对苗块的夹持力, N
 μ ——苗块与取苗夹板间的摩擦因数

由式(12)、(13)可知, 取苗夹持力和苗块的摩擦因数是影响脱苗率的关键因素, 取苗夹持力越大, 苗块摩擦因数越大, 取苗过程越可靠, 同时为保证基质完整性, 取苗夹持力应在苗块抗压极限内。

联立式(12)、(13)得到取苗回程苗块不脱苗的最小夹持力为

$$f_p > \frac{\sqrt{\left(\frac{F_{ix}}{2} - G\sin\theta_1(t)\right)^2 + \left(\frac{F_{iy}}{2} - G\cos\theta_1(t)\right)^2}}{\mu} \quad (0 \leq t \leq T_1) \quad (14)$$

由式(14)可知, 最小取苗夹持力与苗块摩擦特

性有关,苗块与取苗夹板间的摩擦因数越大,取苗过程苗块所需的最小夹持力越小。

3.2 苗块力学特性参数测定

为减小脱苗率和基质损失率,以测定苗块的摩擦与抗压特性为目的开展苗块力学特性参数测定试验,以期为取苗末端执行器关键参数确定提供依据。

选用育苗周期为 28 d 的适栽期华油杂 62 油菜基质块苗作为试验样本,其育苗基质由蚯蚓粪、黄棕壤、珍珠岩 3 种成分混合组成,育苗基质体积配比为 1:1:1,基质压实度为 1.2,硼硒营养液浓度为 3.0%。试验前采用天平测定苗块平均质量 m 为 0.085 kg,变异系数为 8.18%,采用干湿法测定基质平均含水率 ρ 为 23%。

采用图 7a 所示的 MXD-02 型摩擦因数仪(负荷范围 0~10 N,精度:0.5 级),随机选取 10 株油菜基质块苗,测量苗块与不同滑道试样(普通薄铁板、ABS 塑料板及 304 不锈钢板)间的摩擦因数^[23],同一组试验重复测量 5 次,根据数显屏数值记录 3 组试验的静、动摩擦因数,并得出所测定摩擦因数置信区间如表 3 所示。

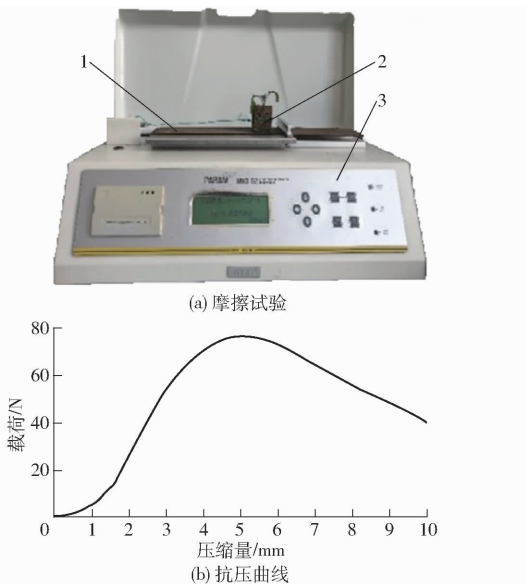


图 7 苗块物理特性测定试验

Fig. 7 Characteristics test of seedling block

1. 滑轨试样 2. 基质块苗 3. MXD-02 型摩擦因数仪

表 3 摩擦试验结果

Tab. 3 Analysis of friction test results

材料	静摩擦因数 μ_s		动摩擦因数 μ_d	
	均值	置信区间	均值	置信区间
薄铁板	0.708	[0.702, 0.714]	0.607	[0.603, 0.610]
ABS 塑料板	0.523	[0.514, 0.522]	0.485	[0.480, 0.489]
304 钢板	0.304	[0.294, 0.314]	0.251	[0.245, 0.257]

采用 FTC 公司生产的 TMS-PRO 型高精度食品

物性分析仪(测力范围 0~1 000 N,精度: ± 0.1 N),进行抗压试验^[24],试验设定预压缩力为 1 N,测试全压缩量为 10 mm,测试压缩速度为 1 mm/s,记录压缩全过程的力与变形情况如图 7b 所示。

摩擦试验表明,苗块侧面与普通薄铁板间摩擦因数最大,与 ABS 塑料板间摩擦因数次之,与 304 不锈钢板间的动摩擦因数最小;当接触材料为普通薄铁板时,苗块基质颗粒与钢板摩擦产生脱落,表现为滑动能力弱,当接触材料为 304 不锈钢板或 ABS 塑料板时,苗块滑动能力较好。

抗压试验表明,当压缩量为 0~1 mm 时,苗块所载荷与压缩量呈近似线性递增关系,载荷随压缩量增大而缓慢增大;当压缩量为 1~5 mm 时,载荷随压缩量增大而增大,苗块表现为具有一定的压实特性;当压缩量约为 5 mm 时,外部载荷达到最大值,此时苗块出现裂纹、基质颗粒粘结滑移而脱落;当压缩量大于 6.5 mm 时,基质完全破损。可得苗块基质保持完整性的最大压缩量约为 5 mm,对应的载荷约为 80 N。

综上分析,苗块与普通薄铁板间摩擦因数最大,所需的取苗夹持力最小,选用普通薄铁板作为取苗夹板材料,此时苗块与取苗夹板间的摩擦因数 μ 为 0.607;在苗块抗压极限内取安全系数为 0.6,确定取苗夹板对苗块的许用夹持力应小于 48 N,许用外部最大夹持量为 5 mm。

3.3 取苗末端执行器参数分析

根据式(8)及取苗臂末端点 E 与苗块质心点 N 间的距离关系,可以获得取苗回程点 N 的位移方程,对其求一阶和二阶导数,可分别得到点 N 的速度和加速度。取气动系统极限循环周期 T 为 1 s,取苗回程时间 T_1 为取苗周期的 40%,为 0.4 s,由表 2 可得主动杆输出角为 39.65° ,借助 Matlab 软件得出取苗回程苗块加速度最大值 a_{ix} 为 39.91 m/s^2 , a_{iy} 为 13.80 m/s^2 ,此时苗块所需外部作用力分量 F_{ix} 为 1.60 N, F_{iy} 为 0.71 N,代入式(14)求得取苗夹板的最小取苗夹持力 f_p 为 7.07 N。

油菜基质块苗苗块边长约为 40 mm,主茎秆高度 H 约为 90 mm,为避免损伤幼苗主茎秆,取苗夹板长度 D 应该大于 90 mm,取 $D = 100 \text{ mm}$ 。取苗夹板置于苗块两侧取苗,应留有不小于 2.5 mm 的单侧对中余量,取软垫宽度 W_a 为 0~5 mm,故在 III 号气缸张开时取苗夹板间距 D_a 应不小于 45 mm;苗块许用外部最大夹持量为 5 mm,则 III 号气缸闭合时取苗夹板间距 D_b 应为 35~40 mm。综上所述,确定 III 号气缸为 SMC-MHZ2 型平行手指气缸,其常开和常闭时状态如图 8 所示。

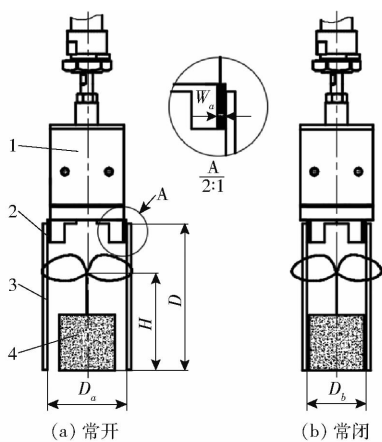


图 8 取苗末端执行器工作状态

Fig. 8 Working state of actuator of pick-up device

1. 手指气缸 2. 软垫 3. 取苗夹板 4. 苗块

查阅 SMC - MHZ2 型气缸参数^[25]可知,当手指气缸缸径为 20 mm 时,取苗夹板常开间距为 42.3 ~ 52.3 mm,常闭间距为 32.3 ~ 42.3 mm,符合取苗夹板间距需求;气压为 0.8 MPa 时,手指气缸提供的理论夹持力为 33 N,满足最小夹持力 7.07 N 需求,且其对苗块的夹持负载程度相对较轻,有利于减小基质损失,因此选取末端执行器气缸缸径为 20 mm。

4 试验

4.1 轨迹验证

4.1.1 虚拟仿真分析

为探究该取苗装置在移栽过程中的绝对取苗轨迹,利用三维造型软件 SolidWorks 完成取苗装置的三维设计以及虚拟装配,并将装配体导入计算机仿真分析软件 ADAMS 中,参照文献[26 - 27]对仿真模型设置运行参数,根据东方红 954 型拖拉机挂载移栽机后,实测的慢 1 挡机组前进速度为 0.22 m/s,对取苗装置模型赋予整体移动速度和移动方向,设定运动循环周期为 1.5 s,即取苗频率为 40 株/min。

图 9 为仿真取苗轨迹($A_1B_1C_1D_1E_1F_1A_2$),分为如下 4 个轨迹段:

(1) 取苗进程轨迹段 A_1B_1 : 取苗臂以 A_1 为初始点向取苗位置移动,在到达取苗位置 B_1 时夹取苗块。

(2) 取苗回程轨迹段 B_1C_1 : 取苗臂带动苗块一起运动至 C_1 ; 随后投苗回程至投苗进程转换取苗臂竖直方向保持静止,在水平方向随模型整体平移至 D_1 。

(3) 投苗进程轨迹段 D_1E_1 : 取苗臂在 III 号气缸作用下向下移动,当到达 E_1 时释放苗块; 随后手指气缸由张开至闭合,该过程取苗臂竖直方向保持静止,在水平方向随模型整体平移至 F_1 。

(4) 投苗回程轨迹段 F_1A_2 : 取苗臂在 III 号气缸

作用下向上移动至 A_2 , 随后以 A_2 为起始点, 以相同运动轨迹开始下一次取苗作业。

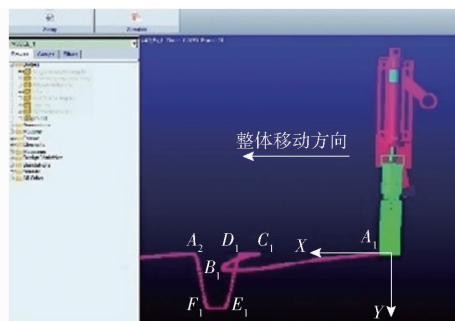


图 9 ADAMS 模型仿真轨迹

Fig. 9 Simulation trajectory of ADAMS model

机组运动方向与 X 正方向一致, 故取苗进程, 取苗臂在 X 方向上运动趋势与机组运动相同, 取苗回程, 取苗臂在 X 方向上运动趋势与机组运动相反, 因此仿真取苗轨迹水平间距数值计算为点 B_1 与点 C_1 的横坐标差值、点 B_1 与点 A_1 的横坐标差值之和的均值; 机组在 Y 方向上无运动, 仿真取苗轨迹高度数值计算为点 B_1 与点 C_1 纵坐标差值或点 B_1 与点 A_1 纵坐标差值。

由 ADAMS 导出数据点得相关坐标值为 $A_1(0, 0)$ 、 $B_1(285.56 \text{ mm}, 29.94 \text{ mm})$ 、 $C_1(223.28 \text{ mm}, 29.94 \text{ mm})$, 经计算得出仿真取苗轨迹水平间距为 173.92 mm, 仿真取苗轨迹高度为 29.94 mm。

4.1.2 高速摄影分析

为验证取苗装置实际运动轨迹是否满足取苗需求, 将取苗装置参数取整, 取主动杆长度为 75 mm, 从动杆长度为 100 mm, 机架长度为 171 mm, 取苗臂长度为 335 mm, 为减小制造误差, 采用福斯特公司生产的 FST - 1530 型数控金属激光切割机(精度: $\pm 0.01 \text{ mm}$) 进行相关构件切割, 按照工艺要求完成移栽机装配。以东方红 954 型拖拉机为动力, 参照文献[28 - 30]试验方法开展高速摄影轨迹验证试验, 如图 10a 所示。调节空气压缩机输出压力为 0.8 MPa, 通过控制程序调节各气缸运行时间, 手动调节节流阀以调节各气缸速度, 进而准确控制取苗频率为 40 株/min, 东方红 954 型拖拉机调至慢 1 挡, 机组前进速度为 0.22 m/s, 采用 PCO. dimax HD+ 型高速摄像机实时拍摄取苗臂标记点, 运用 Cam Ware V3.14 软件记录拍摄过程, 运行 Startrails 图像合成软件对所拍摄图像进行叠加处理, 其中高速摄像机拍摄速度为 2000 f/s, 获得实际取苗轨迹如图 10b 所示。

将试验所获实际取苗轨迹图导入 AutoCAD 中, 调节图框尺寸与实际尺寸比例为 1:1, 通过测量图上各点横向及纵向尺寸, 得到 A_1B_1 横向长度为

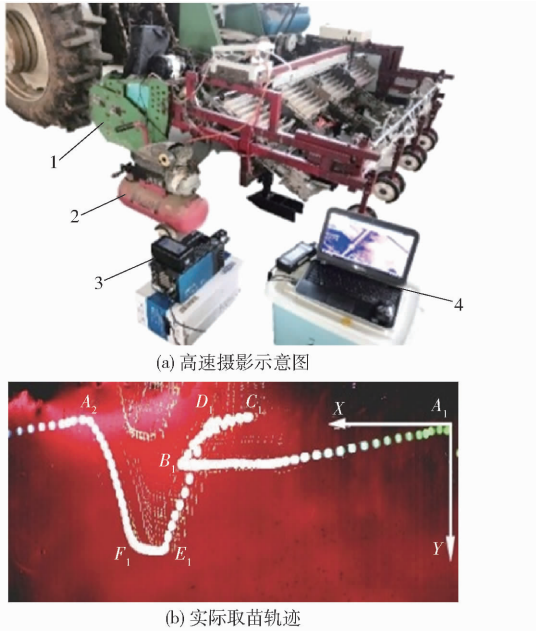


图 10 高速摄影验证试验

Fig. 10 High-speed photography verification experiment

1. 移栽机样机 2. 空气压缩机 3. 高速摄影系统 4. 计算机

286.31 mm, A_1B_1 纵向长度为 30.40 mm, B_1C_1 横向长度为 64.25 mm, 经计算得出实际取苗轨迹水平间距为 175.28 mm, 实际取苗轨迹高度为 30.40 mm, 与理论值及仿真值的相对误差均小于 3%, 验证了取苗装置设计的合理性。

4.2 台架试验

为验证取苗装置的可行性, 开展取苗装置台架验证试验, 如图 11 所示, 试验场地为华中农业大学农业机械实训基地。试验设定取苗频率为 40 株/min, 每行载苗盘放置 48 株油菜基质块苗, 共 4 行, 试验前后每行基质块苗均进行称量处理。试验以取苗成功率、脱苗率及基质损失率作为评价指标, 其中基质损失率的样本数为试验样本总数, 其计算方法分别为

$$S = \frac{N_s}{N} \times 100\% \quad (15)$$

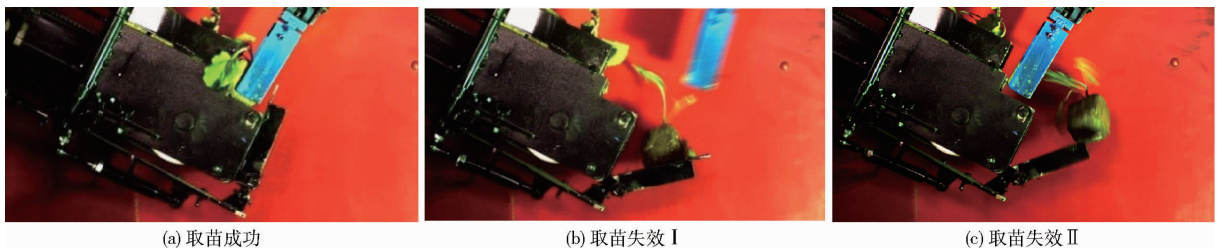


图 12 取苗效果

Fig. 12 Effects of seedlings pick-up

5 结论

(1) 设计了一种往复夹取式取苗装置, 根据垂

$$T = \frac{N_T}{N_s} \times 100\% \quad (16)$$

$$Q = \frac{M_a - M_b}{M_a} \times 100\% \quad (17)$$

式中 S ——取苗成功率, %

T ——脱苗率, %

Q ——基质损失率, %

N ——样本总数, 取 192

N_s ——被取苗夹板成功夹取的基质块苗数

N_T ——取苗过程脱离取苗夹板的基质块苗数

M_a ——试验前样本总质量, g

M_b ——试验后样本总质量, g

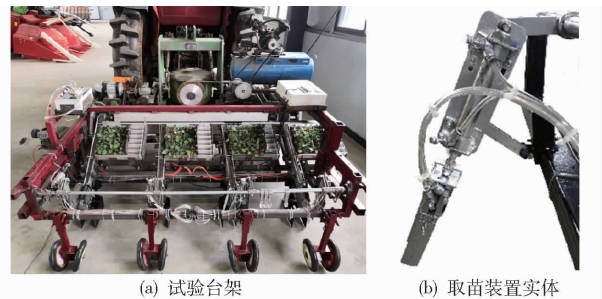


图 11 取苗装置台架试验

Fig. 11 Bench test of seedling pick-up device

取苗试验结果为取苗成功率 93.33%、脱苗率 2.86%、基质损失率 3.75%, 表明该取苗装置取苗效果能够满足油菜基质块苗移栽机的取苗要求。

分析取苗失效及脱苗率产生的原因主要有: 分苗装置挡苗板对苗块限位失效, 致使取苗装置在运动至取苗台前, 苗块即已脱离取苗台, 造成取苗失效, 如图 12b 所示; 取苗装置与分苗装置同步性有待提高, 分苗装置挡苗板对苗块限位时间与取苗进程存在时间差, 致使出现空取现象, 造成取苗失效, 如图 12c 所示; 少数苗块基质强度不高, 取苗驱动气缸速度较快, 造成台架振动使苗块脱离取苗夹板, 产生脱苗。

以减小取苗轨迹水平间距及取苗轨迹高度为优化目标,借助 Matlab 软件和拟牛顿法优化取苗装置结构参数为:主动杆长度 75.10 mm,从动杆长度 100.42 mm,机架长度 171.32 mm,取苗臂长度 335.26 mm,该参数组合下,取苗轨迹水平间距为 173.20 mm,取苗轨迹高度为 29.56 mm。

(2)通过创建苗块的动力学模型,得到苗块临界脱苗方程,结合苗块力学特性参数测定试验,确定最小

取苗夹持力为 7.07 N、末端执行器气缸缸径为 20 mm。

(3)借助 ADAMS 软件获得仿真取苗轨迹,运用高速摄影技术提取实际取苗轨迹,实际取苗轨迹水平间距为 175.28 mm,实际取苗轨迹高度为 30.40 mm,与理论值和仿真值的相对误差均小于 3%,验证了取苗装置设计的合理性。台架试验表明,取苗成功率为 93.33%,脱苗率为 2.86%,基质损失率为 3.75%,满足油菜基质块苗移栽要求。

参 考 文 献

- [1] 吴俊,汤庆,袁文胜,等.油菜毯状苗移栽机开沟镇压部件设计与参数优化[J].农业工程学报,2016,32(21):46-53. WU Jun, TANG Qing, YUAN Wensheng, et al. Design and parameter optimization of ditching and compacting parts of rapeseed carpet seedling transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(21): 46-53. (in Chinese)
- [2] 廖庆喜,刘明峰,张照,等.油菜钵苗移栽机双五杆栽植机构多目标优化设计[J/OL].农业机械学报,2015,46(11):49-56. LIAO Qingxi, LIU Mingfeng, ZHANG Zhao, et al. Multi-objective optimization design of double five-bar transplanting mechanism for rape pot seedling[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 49-56. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20151108&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.008. (in Chinese)
- [3] 向伟,吴明亮,官春云,等.油菜钵体苗移栽栽植孔成型机设计与试验[J/OL].农业机械学报,2017,48(10):40-48,58. XIANG Wei, WU Mingliang, GUAN Chunyun, et al. Design and test of transplanting hole-forming machine for rapeseed potted seedlings[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(10): 40-48, 58. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171005&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.005. (in Chinese)
- [4] 石铁.全自动玉米秧苗移栽机的研制与试验[J].农业工程学报,2015,31(3):23-30. SHI Tie. Development and test of automatic corn seedling transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 23-30. (in Chinese)
- [5] 徐玉娟.油菜钵苗移栽机取苗系统设计与试验[D].长沙:湖南农业大学,2016. XU Yujuan. Design and experiment of picking up seedling system for rape plug seedling transplanter[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [6] 董哲.蔬菜穴盘苗自动取苗装置的设计与研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2015. DONG Zhe. Design and study on vegetable automatic seedling pick-up device [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [7] 付宇超.油菜基质块苗力学特性研究与移送机构设计[D].北京:中国农业科学院,2017. FU Yuchao. Research on mechanical properties and transport mechanism design of matrix block seedling of rape[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017. (in Chinese)
- [8] MASCIOLI A. A row distributor for the transplanting of small plants born in cubical sods of compressed peat or synthetical substratum of the dutch kind; E. P. Patent 93830431.8[P]. 1993-10-29.
- [9] RYU K H, KIM G Y. Development of a gripper for robotic transplanter and evaluation of its transplanting performance[J]. Korean Society for Agricultural Machinery, 1998, 23(3): 271-276.
- [10] 于晓旭,赵匀,陈宝成,等.移栽机械发展现状与展望[J/OL].农业机械学报,2014,45(8):44-53. YU Xiaoxu, ZHAO Yun, CHEN Baocheng, et al. Current situation and prospect of transplanter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 44-53. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140808&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.008. (in Chinese)
- [11] 廖庆喜,张照,胡乔磊,等.油菜纸钵苗移栽机气动取苗机构设计与轨迹分析[J/OL].农业机械学报,2017,48(11):70-78. LIAO Qingxi, ZHANG Zhao, HU Qiaolei, et al. Design and trajectory analysis of pneumatic picking-up mechanism for rape paper pot seedling[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 70-78. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171109&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.009. (in Chinese)
- [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. GAO Guohua, FENG Tianxiang, LI Fu. Working parameters optimization and experimental verification of inclined-inserting transplanting manipulator for plug seedling[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(24): 16-22. (in Chinese)
- [13] 吴崇友,吴俊,张敏,等.油菜毯状苗机械移栽技术研究[J].中国农机化学报,2016,37(12):6-10. WU Chongyou, WU Jun, ZHANG Min, et al. Research on machine transplanting techniques of blanket rapeseed[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(12): 6-10. (in Chinese)
- [14] 蒋兰,吴崇友,汤庆,等.油菜毯状苗移栽机栽植过程动力学模型及参数优化[J].农业工程学报,2018,34(21):37-46. JIANG Lan, WU Chongyou, TANG Qing, et al. Kinematics model and parameter optimization of planting process of rape carpet seedling transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(21): 37-46. (in Chinese)
- [15] NY/T 1924—2010 油菜移栽机质量评价技术规范[S].2010.
- [16] 童俊华,俞高红,朱赢鹏,等.三臂回转式蔬菜钵苗取苗机构设计与试验[J/OL].农业机械学报,2019,50(1):113-121.

- TONG Junhua, YU Gaohong, ZHU Yingpeng, et al. Design and experiment of three-arms rotary vegetable plug seedling pick-up mechanism[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(1): 113 - 121. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190112&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.01.012. (in Chinese)
- [17] 胡建平,潘杰,张晨迪,等.行星轮栽植机构优化设计与试验[J/OL].农业机械学报,2018,49(11):78-86.
HU Jianping, PAN Jie, ZHANG Chendi, et al. Optimization design and experiment on planetary gears planting mechanism of self-propelled transplanting machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(11): 78 - 86. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20181109&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.11.009. (in Chinese)
- [18] 孙恒,陈作模,葛文杰.机械原理[M].8版.北京:高等教育出版社,2013.
- [19] 张安玲,刘雪英.求解非线性方程组的拟牛顿-粒子群混合算法[J].计算机工程与应用,2008,44(33):41-42,92.
ZHANG Anling, LIU Xueying. Hybrid quasi-Newton/particle swarm optimization algorithm for nonlinear equations[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(33): 41 - 42, 92. (in Chinese)
- [20] 许博,廖庆喜,王洋,等.油菜钵苗移栽机气动插入式取苗过程分析与试验[J].华中农业大学学报,2018,37(6):119-129.
XU Bo, LIAO Qingxi, WANG Yang, et al. Analysis and experiment of seedling process for inserting paper rape pot seedling transplanter[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(6): 119 - 129. (in Chinese)
- [21] 刘洋,毛罕平,王涛,等.吊杯式移栽机构中番茄穴盘苗运动分析优化与试验[J/OL].农业机械学报,2018,49(5):143-151.
LIU Yang, MAO Hanping, WANG Tao, et al. Collision optimization and experiment of tomato plug seedling in basket-type transplanting mechanism[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 143 - 151. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180516&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.016. (in Chinese)
- [22] 冯世杰,颜波,全伟,等.活动苗盘脱苗力学分析及粘附力影响因素试验研究[J].农业工程学报,2019,35(12):21-28.
FENG Shijie, YAN Bo, QUAN Wei, et al. Mechanical analysis of seedling detaching from movable tray and influence factors of adhesion[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(12): 21 - 28. (in Chinese)
- [23] 韩长杰,徐阳,张静,等.半自动压缩基质型西瓜钵苗移栽机设计与试验[J].农业工程学报,2018,34(13):54-61.
HAN Changjie, XU Yang, ZHANG Jing, et al. Design and experiment of semi-automatic transplanter for watermelon seedlings raised on compression substrate[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(13): 54 - 61. (in Chinese)
- [24] 王英,陈建能,吴加伟,等.用于机械化栽植的西兰花钵苗力学特性试验[J].农业工程学报,2014,30(24):1-10.
WANG Ying, CHEN Jianneng, WU Jiawei, et al. Mechanics property experiment of broccoli seedling oriented to mechanized planting[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(24): 1 - 10. (in Chinese)
- [25] SMC pneumatic product catalog[EB/OL]. [2018-10-30]. Available at: http://www.smc.com.cn/products/zh/s.do?ca_id=1128.html.
- [26] 赵匀,刘志平,辛亮,等.水稻钵苗膜上移栽机构优化设计与试验[J/OL].农业机械学报,2018,49(4):87-93.
ZHAO Yun, LIU Zhiping, XIN Liang, et al. Optimization design and experiment of transplanting mechanism of rice pot seedling on film[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 87 - 93. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180410&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.010. (in Chinese)
- [27] 许春林,吕志军,辛亮,等.全自动草莓钵苗移栽机构优化设计与试验[J/OL].农业机械学报,2019,50(8):97-106.
XU Chunlin, LÜ Zhijun, XIN Liang, et al. Optimization design and experiment of full-automatic strawberry potted seedling transplanting mechanism[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 97 - 106. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190811&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.011. (in Chinese)
- [28] 叶秉良,吴国环,俞高红,等.旋转式水稻钵苗移栽机构移栽臂设计与试验[J/OL].农业机械学报,2015,46(7):45-52.
YE Bingliang, WU Guohuan, YU Gaohong, et al. Design and test on transplanting arm of rotary transplanting mechanism for rice pot seedling[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 45 - 52. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150707&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.007. (in Chinese)
- [29] 尹大庆,王佳照,周脉乐,等.探出取推钵式蔬菜钵苗取苗机构优化设计与试验[J/OL].农业机械学报,2019,50(10):64-71.
YIN Daqing, WANG Jiazhao, ZHOU Maile, et al. Optimal design and experiment of vegetable potted seedlings pick-up mechanism for exploring and picking-pushing plugs[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10): 64 - 71. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20191007&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.007. (in Chinese)
- [30] 赵匀,张卫星,辛亮,等.探入式番茄钵苗移栽机构设计与试验[J/OL].农业机械学报,2019,50(1):105-112.
ZHAO Yun, ZHANG Weixing, XIN Liang, et al. Design and experiment of extensible potted tomatoes seedling transplanting mechanism[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(1): 105 - 112. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190111&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.01.011. (in Chinese)