

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.S1.012

蔬菜自动移栽机顶夹拔组合式取苗装置试验研究

胡建平¹ 刘育彤¹ 刘 伟¹ 张思伟¹ 韩绿化¹ 曾添懿²

(1. 江苏大学智能农机装备理论与技术重点实验室, 镇江 212013;
2. 润禾(镇江)农业装备有限公司, 镇江 212013)

摘要: 针对插拔式取苗机构单靠取苗爪插入钵体夹取苗时,因受钵体与穴盘之间粘附力和盘根性不佳双重影响,造成取苗成功率低、钵体破碎率高的问题,提出了一种顶夹拔组合式取苗技术,阐述了取苗装置结构和工作原理,开展了顶夹拔组合式取苗试验研究。首先以 72 孔和 128 孔黄瓜穴盘苗为试验对象,通过顶压脱盘粘附力试验,测试了不同顶苗速度(10、20、30、40 mm/s)下黄瓜苗的脱盘粘附力以及顶压脱离位移,试验结果表明:顶苗速度对于苗钵粘附力及脱离位移影响不大,粘附力与苗钵脱离位移呈正相关,两种规格穴盘苗顶苗脱离位移平均值分布在 5.5~6.9 mm 之间,综合考虑苗盘落水孔直径和顶压脱盘粘附力试验结果,确定顶杆直径为 6 mm,顶杆顶苗位移需大于 5 mm。其次以生长周期为 25 d 的 72 孔黄瓜穴盘苗为试验对象,开展了先顶后取、边顶边取、先插后顶 3 种取苗模式试验,结果表明:先顶后取模式下取苗成功率和钵体完整率最高。最后以顶杆顶入位移、取苗爪插入苗钵取苗深度及插入取苗速度为试验因素,开展了三因素三水平正交试验,通过极差分析和方差分析得出顶夹拔取苗装置的最优工作参数组合为:顶入位移为 15 mm、插入苗钵深度为 35 mm,插入取苗速度为 225 mm/s,此组合下取苗成功率 94.12%,苗钵完整率 94.12%,满足了自动取苗高质量要求。

关键词: 移栽机; 顶夹拔; 组合式取苗; 试验

中图分类号: S223.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2022)S1-0110-08

Experiment on Combined Seedling Picking Device with Top Clamping and Pulling

HU Jianping¹ LIU Yutong¹ LIU Wei¹ ZHANG Siwei¹ HAN Lühua¹ ZENG Tianyi²

(1. Key Laboratory of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment Theory and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China
2. Runhe (Zhenjiang) Agricultural Equipment Co., Ltd., Zhenjiang 212013, China)

Abstract: For the plug-in seedling picking mechanism, when the seedling claws are inserted into the pot to pick up the seedlings, the success rate of seedling picking is low and the pot is broken due to the double influence of the adhesion between the pot and the plug and the poor packing. In order to solve the problem of high rate, a combined seedling picking technology with top clamping and pulling was proposed, the structure and working principle of the seedling picking device were expounded, and the experimental research on the combined top clamping and pulling seedling picking was carried out. Firstly, the 72-hole and 128-hole cucumber plug seedlings were used as the test objects, and the adhesion of the cucumber seedlings at different top seedling speeds (10 mm/s, 20 mm/s, 30 mm/s and 40 mm/s) was tested through the top pressure off-disk adhesion test. The test results showed that the top seedling speed had little effect on the adhesion force and the detachment displacement of the seedling pot, and the adhesion force was positively correlated with the detachment displacement of the seedling pot. The value was distributed between 5.5 mm and 6.9 mm. Considering the diameter of the seedling tray drain hole and the test results of the top pressure off tray adhesion test, it was determined that the diameter of the mandrel was 6 mm, and the displacement of the top seedling of the mandrel must be greater than 5 mm. Secondly, taking the 72-hole cucumber plug seedlings with a growth cycle of 25 d as

the test object, three modes of seedling collection were carried out, namely, the first top and then the top, the side top and the side, and the first plug and then the top. The seedling success rate and pot body integrity rate were the highest. Finally, taking the ejection displacement of the ejector rod, the depth of inserting the seedling claws into the seedling pot and the speed of inserting the seedlings as the test factors, a three-factor and three-level orthogonal test was carried out. The optimal working parameter combination was that the jacking displacement was 15 mm, the depth of inserting the seedling pot was 35 mm, and the speed of inserting the seedling was 225 mm/s. The success rate of seedling removal under this combination was 94.12%, and the complete rate of the seedling pot was 94.12%, which satisfied the automatic seedling quality requirements.

Key words: transplanting machine; top clamping and pulling; combined seedling picking; experiment

0 引言

目前,我国是世界上最大的蔬菜生产国,产量大约占世界蔬菜总产量的 3/5^[1],而蔬菜生产仍以人工作业和半自动移栽机作业为主,蔬菜生产劳动力成本占蔬菜生产总成本 50% 以上,成为制约其发展的主要因素,因此自动蔬菜移栽机成为发展的趋势之一^[2-4],而取苗装置作为自动蔬菜移栽机的核心部件,主要负责苗钵的夹取和投放。研制结构合理、性能稳定、高效的取苗装置是实现蔬菜生产自动化的前提^[5-8]。

近年来,国内外学者对取苗机构及装置开展了一系列研究,提出了顶出式^[9-11]、顶出夹取式^[12-14]、插入夹取式^[15-18]、气力式^[19]等形式多样的取投苗装置。英国的 Pearson 型移栽机采用的取苗装置为主动抓取式,通过取苗爪主动插入、夹紧苗钵后将其取出,完成取苗动作^[20-21];美国 Faulrin 型全自动移栽机采用气吸式取苗装置,通过空压机产生的吸力与苗钵自身重力,将苗钵从穴盘中取出,经过落苗管输送至鸭嘴式栽植器中^[22]。日本洋马自动移栽机采用行星齿轮机构与槽型凸轮机构形成的组合机构合成取苗爪从穴盘取苗再到向栽植器投苗的动作轨迹^[23]。目前欧美国家研制的全自动移栽机采用机电一体化技术,整排取苗,效率高,但价格贵;日本研制的取苗机构为单爪取苗方式,机械结构复杂,效率不高。

文献[24]利用高速伺服电动缸驱动推杆将整排钵苗顶出,实现高速精准取苗,由于钵苗与穴盘粘结力不同,抛出后的钵苗落苗轨迹不可控、落苗位置一致性差;文献[25]提出了一种气吹振动复合式取苗机构,通过气吹与振动相结合的方式使得钵苗与苗盘脱离落入导苗管内,效率较高,但该机构受环境因素影响较大;文献[26-27]研发了一种气力摆动式取苗机构及插夹拔取苗爪,通过气缸驱动整排取苗爪插入钵体夹取钵苗,该取苗装置一次可以完成 6~8 株穴盘苗,取苗效率高。

研究发现^[28-29]插夹拔式取苗机构的取苗成功率、钵体破碎率与育苗质量密切相关,因受钵体与穴盘之间粘附力和苗钵盘根性不佳双重影响,经常出现钵体破损和不完整取出现象,降低了取苗成功率及钵体完整率。为了提高自动取苗质量,本文在现有气动插夹拔式取苗机构基础上,提出一种顶夹拔组合式取苗技术及装置,开展顶苗及组合取苗技术试验研究。

1 顶夹拔组合式取苗装置结构与工作原理

顶夹拔组合式取苗装置主要由苗盘输送机构、苗盘压杆机构、取苗机构、顶苗机构和支架组成,如图 1 所示。其中,苗盘输送机构倾斜布置,苗盘沿着苗盘托板向下输送;取苗机构安装在苗盘上方,负责取苗和投苗,压杆机构负责压住苗盘,防止取苗机构向上带盘,顶苗机构安装在穴盘托板的背面,顶杆从穴盘底盘插入顶松钵体。

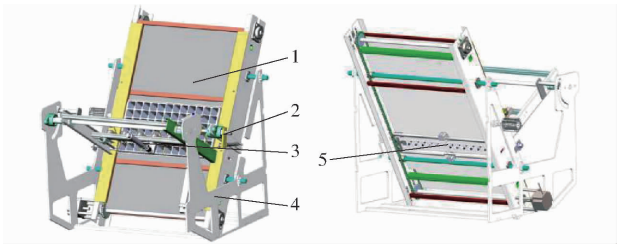


图 1 顶夹拔组合式取苗装置
Fig. 1 Top clamping and pulling combined seedling picking device
1. 苗盘输送机构 2. 苗盘压杆机构 3. 取苗机构 4. 支架 5. 顶苗机构

取苗机构是整个取苗装置的核心部件,主要由翻转机构、插拔机构、取苗爪等组成,如图 2 所示。翻转机构主要由翻转气缸、摆臂组成;插拔机构主要由插拔气缸、并列取苗爪组成。翻转机构依靠翻转气缸活塞杆伸缩驱动两摆臂来回摆动,带动取苗爪快速精准地翻转至取苗位置和投苗位置,6 个(针对 72 孔穴盘)或 8 个(针对 128 孔穴盘)取苗爪并列安装在两个摆臂之间的横梁上,在取苗爪上方安装有

插拔气缸,插拔气缸则控制取苗爪插入苗钵和拔出苗钵。取苗机构采用间隔取苗方法,每次需取 6 或 8 株钵苗,两取苗爪间距为两个穴盘孔间距,穴盘只需横向移动一次就可取完一行苗钵。

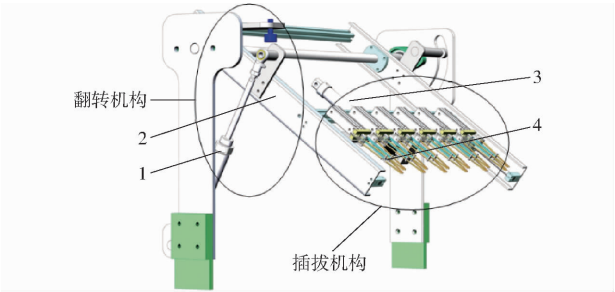


图 2 取苗机构结构图

Fig. 2 Structure diagram of seedling picking mechanism

1. 翻转气缸 2. 摆臂 3. 插拔气缸 4. 取苗爪

取苗爪是取苗机构中的关键部件,本装置所设计的取苗爪采用课题组已研制出的两指四针式气动取苗爪结构^[28-30],如图 3 所示。该取苗爪主要由取苗针、取苗针摆杆、推苗环、推苗环支架、气缸等组成。当气缸推杆伸出时,推苗环向针尖方向滑动使取苗针张开,取苗爪随插拔气缸向下插入苗钵体;当气缸推杆缩回时,取苗爪收紧夹取钵体,取苗爪随插拔气缸向上拔出钵体;当推苗环在推苗气缸的作用下再次向苗针尖方向滑动时,推苗环边推动取苗针张开,同时将苗钵体推出取苗针,达到投苗的目的。

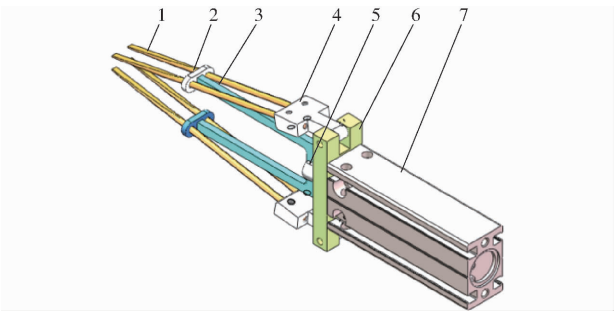


图 3 取苗爪结构示意图

Fig. 3 Schematic of seedling taking claw structure

1. 取苗针 2. 推苗环 3. 推苗环支架 4. 取苗针摆杆 5. 气缸推杆 6. 底座 7. 气缸

顶苗机构主要由支架、伸缩轴、气缸支座、顶杆支座、顶杆、上顶苗气缸及下顶苗气缸组成,如图 4 所示。上顶苗气缸驱动上支板上的顶杆伸缩,下顶苗气缸驱动下支板上的顶杆伸缩,顶杆上、下支板依靠安装在两端的伸缩轴支撑,当上支板上顶杆伸出时顶松一排苗盘上奇数苗钵,当下支板上顶杆伸出时顶松一排苗盘上偶数苗钵。顶苗机构用于克服苗钵与穴盘之间的粘附力,顶松钵体从而提高取苗机构取苗成功率,顶苗机构需与取苗机构、移箱装置进

行配合工作。

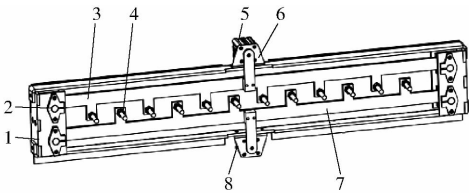


图 4 顶苗机构结构示意图

Fig. 4 Composition of top seedling mechanism

1. 支架 2. 伸缩轴 3. 上支板 4. 顶杆 5. 上顶苗气缸 6. 气缸支座 7. 下支板 8. 下顶苗气缸

根据以上结构组成,将取苗机构用图 5 所示简图来表示,其工作步骤及原理如下:

(1)取苗机构首先处于起始状态,此时取苗爪位于竖直投苗位置,顶杆处于缩回状态,如图 5a 所示。

(2)翻转气缸带动翻转机构摆臂绕轴旋转一定角度,摆臂带动整排取苗爪运动到苗盘上方,然后插拔气缸伸出带动取苗爪插入、夹紧苗钵,与此同时,顶苗气缸带动顶杆支座作轴向移动,顶杆将苗钵顶松,如图 5b 所示。

(3)插拔气缸复位带动取苗爪拔出钵苗,完成取苗动作,顶苗气缸也同时复位,将顶杆从穴盘底部缩回,如图 5c 所示。

(4)翻转气缸复位,带动翻转机构摆臂绕轴旋转一定角度,使得取苗爪转至竖直位置,取苗爪松开钵苗,向苗杯投苗,如图 5d 所示。

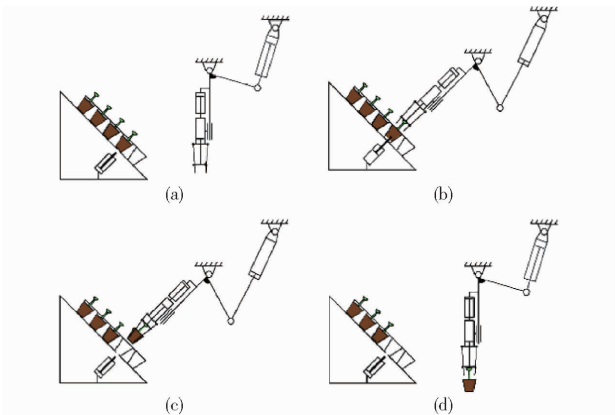


图 5 取苗机构工作过程示意图

Fig. 5 Schematic of working process of seedling picking mechanism

取苗机构完成一次取苗后,穴盘输送装置横向移动一个穴孔中心距的距离,进行下一个取苗周期,然后步进电机通过链传动机构实现穴盘的进给,直至取完整盘苗钵。

2 顶压脱盘粘附力试验

蔬菜穴盘苗钵体顶压脱盘试验主要针对 72 孔

及 128 孔穴盘苗,研究不同顶苗速度下,顶压钵体过程中的脱盘粘附力以及顶压脱离位移,为顶苗机构设计提供依据。

2.1 粘附力分析

钵体是由基质各成分之间的粘结力和农作物盘根作用而形成的。在顶杆顶出钵体过程中,顶杆受到的阻力主要是钵体与穴盘之间的粘附力。开始时顶杆与钵体初次接触,在顶杆作用力及穴盘孔壁的挤压作用下,钵体与顶杆接触的部分会被压缩,由于钵体较疏松,顶杆会插入钵体,当钵体被压缩至一定程度时,钵体脱离穴盘,顶杆受到的反作用力急剧下降^[27]。试验时钵体受力分析如图 6 所示, S_i 为脱离位移,即钵体与穴盘脱离时顶杆顶入位移,钵体与穴盘之间的粘附力 F_f 计算公式为

$$F_f = F_{\max} + G \tag{1}$$

式中 $F_{\max}$ ——顶杆顶压钵体时受到的最大作用力,N
 G ——钵体重力,N

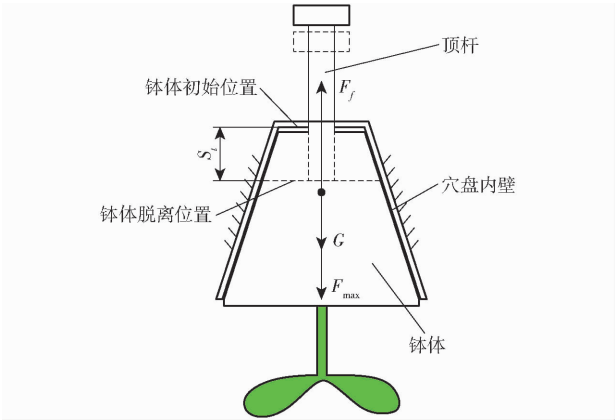


图 6 顶压钵体受力分析

Fig. 6 Force analysis of top pressure bowl

2.2 试验材料及方法

选用津优 1 号黄瓜穴盘苗,育苗穴盘有 72 孔及 128 孔,孔穴为四棱台形。育苗基质配方为基质成分(泥炭、蛭石、珍珠岩)体积比为 3:1:1,苗龄 28 d。测试前将穴盘苗浇透水,3 h 后等水充分均匀扩散,采用干湿质量法测钵体的含水率,得到钵体含水率范围为 60%~65%,试验仪器使用 TA.XTPlus 型质构仪。根据 72 孔穴盘落水孔直径为 8 mm 及 128 孔穴盘落水孔直径为 7 mm,确定顶杆直径为 6 mm,顶苗速度 10、20、30、40 mm/s,由 TA.XTPlus 型质构仪控制。

2.3 结果分析

以 72 孔黄瓜穴盘苗顶苗速度为 40 mm/s 为例,顶杆受力随顶入位移变化曲线图如图 7 所示。当顶杆与钵体接触后,顶杆受到的作用力逐渐增加,随着顶杆插入深度不断增加,顶杆受到的作用力呈线性

增加,此时钵体压缩量也在逐渐增加,但钵体还粘附在穴盘内。当顶杆顶压位移达到 6.2 mm 时,达到最大作用力 $F_{\max}$,为 2.8 N,随后顶杆继续顶压,作用力快速下降至零,说明当顶杆顶入位移达到 6.2 mm 后,钵体在自身重力及顶杆作用力下已克服钵体与穴盘之间的粘附力,开始脱离穴盘。因此,通过顶压试验可得 72 穴黄瓜苗的脱盘粘附力 F_f ,以及钵体脱离位移 S_i 。

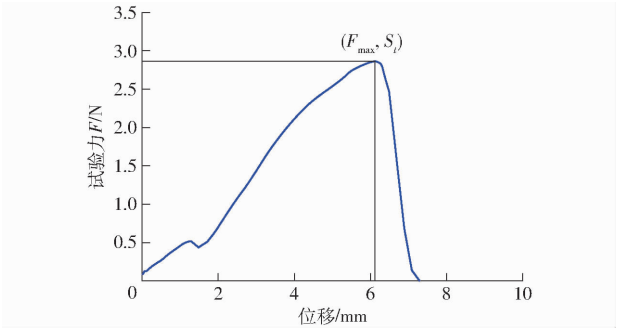


图 7 72 孔黄瓜穴盘苗顶苗速度为 40 mm/s, F 随顶入位移变化曲线

Fig. 7 Curve of F changing with jacking displacement when top seedling speed of 72-hole cucumber plug seedling was 40 mm/s

试验以不同的速度分别顶压 72 孔及 128 孔钵苗,每组试验重复 5 次,测试顶杆顶压钵苗时受到的最大作用力 $F_{\max}$ 及脱离位移 S_i ,如图 7 为 72 孔黄瓜穴盘苗在顶苗速度 40 mm/s 时, F 随顶入位移变化曲线。试验完成后,将脱离穴盘的钵体装进准备好的信封中,使用电子秤对每个信封及钵体进行称量,然后减去信封重量并计算钵体重力 G ,统计得出 72、128 孔黄瓜穴盘苗在不同顶苗速度顶压下的平均粘附力、平均脱离位移数值,以及最大最小值和标准偏差。如表 1 所示,72 穴黄瓜苗在不同顶苗速度下的粘附力平均值分布在 2.4~3.0 N 之间,最大粘附力为 4.1 N;脱离位移平均值分布在 5.5~6.4 mm 之间,最大脱离位移为 8.9 mm。如表 2 所示,128 孔黄瓜穴盘苗在不同顶苗速度下的粘附力平均值分布

表 1 72 孔黄瓜穴盘苗粘附力与脱离位移

Tab. 1 Adhesion force and shedding displacement of 72-hole cucumber plug seedlings

项目	顶苗速度/(mm·s ⁻¹)							
	10		20		30		40	
	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm
平均值	2.4	5.5	2.5	6.4	3.0	6.2	2.7	5.8
最小值	1.5	3.3	2.4	4.1	2.5	5.5	2.1	4.1
最大值	3.2	8.9	2.8	7.7	4.1	7.2	3.4	6.9
标准偏差	0.6	2.2	0.2	1.6	0.8	0.7	0.5	1.1

表 2 128 孔黄瓜穴盘苗粘附力与脱离位移
Tab.2 Adhesion force and shedding displacement
of 128-hole cucumber plug seedlings

项目	顶苗速度/(mm·s ⁻¹)							
	10		20		30		40	
	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm	粘附力/N	脱离位移/mm
平均值	2.8	6.7	3.1	6.4	3.4	6.9	3.5	6.3
最小值	2.2	5.5	2.8	5.4	2.4	5.9	2.8	5.1
最大值	3.4	8.2	3.7	7.4	4.4	8.3	4.9	7.5
标准偏差	0.5	1.0	0.3	0.8	0.9	1.2	0.8	1.0

在 2.8~3.5 N 之间,最大粘附力为 4.4 N;脱离位移平均值分布在 6.3~6.9 mm 之间,最大脱离位移为 8.2 mm。

根据表 1、2 数据,分别绘制 72 孔黄瓜苗和 128 孔黄瓜苗对应的粘附力及脱离位移与顶苗速度关系图,如图 8、9 所示。由图可知,粘附力随顶苗速度的增加呈上升趋势,但幅度不大,脱离位移随顶苗速度的增加呈上升后下降趋势,但变化也不大。

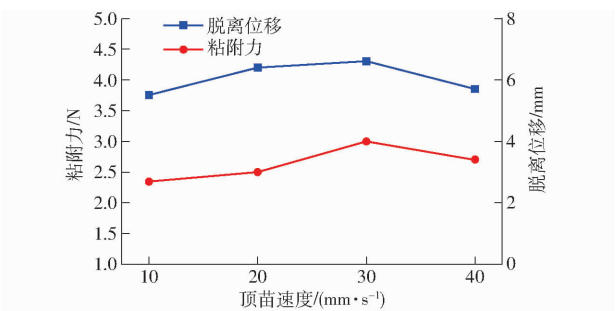


图 8 72 孔黄瓜苗粘附力、脱离位移与顶苗速度关系曲线
Fig.8 Relationship between adhesion, detachment displacement and top seedling speed of 72 well cucumber seedlings

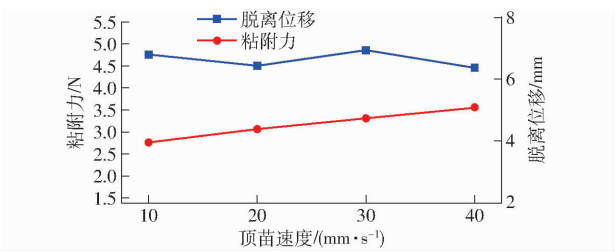


图 9 128 孔黄瓜苗粘附力、脱离位移与顶苗速度关系曲线
Fig.9 Relationship between adhesion, detachment displacement and top seedling speed of 128 well cucumber seedlings

脱盘粘附力试验结果表明:顶苗速度对于苗钵粘附力及脱离位移影响不大,粘附力与脱离位移呈正相关,粘附力越大,顶苗脱离位移也越大。综合考虑两种苗盘落水孔直径,顶苗机构中的顶杆直径选用 6 mm,顶杆顶苗位移需大于 5 mm。

3 取投苗性能试验

3.1 试验条件

试验用苗:采用生长周期为 25 d 的 72 穴黄瓜苗,育苗基质成分(泥炭、蛭石、珍珠岩)体积比为 3:1:1,钵体含水率范围为 60%~65%。试验用苗长势均匀盘根性好,苗高 8~13 cm。

试验装置为自制试验台架,主要由移箱机构、顶苗机构、取苗机构、分苗机构等组成,如图 10 所示。其中,顶苗气缸选用亚德客 ACQ16-15 型,气缸内径 16 mm,工作气压 0.4 MPa,工作行程 15 mm,顶杆直径选用 6 mm;插拔气缸选用亚德客 MA25x90-S-U 型,气缸内径 25 mm,工作气压 0.4~0.6 MPa,工作行程 90 mm;翻转气缸选用亚德客 MFC32x150-S-CA 型,气缸内径 32 mm,工作气压 0.4~0.6 MPa,工作行程 150 mm;放置穴盘的移箱平面与水平面夹角为 60°,取苗机构转臂在翻转气缸推动下翻转角度为 60°;取苗爪数量 6 个,间隔距离 85 mm;取苗机构完成插入取苗、翻转 60°投苗,再翻转 60°到取苗位等待取苗的时间是 3 s,即取投苗频率是 120 株/min。

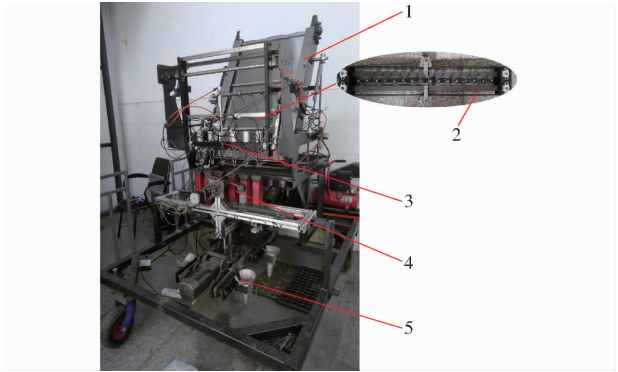


图 10 试验装置
Fig.10 Test equipment

1. 移箱 2. 顶苗机构 3. 取苗机构 4. 分苗机构 5. 栽植机构

根据课题组前期研究成果^[28-30],试验用取苗爪选用课题组已研制的两指四针气动式取苗爪。各参数结合图 3 说明如下: L_1 为两取苗针摆杆转动副中心距离,取值 52 mm, L_2 为两推苗环中心距离,取值 22 mm, L_3 为取苗针长度,取值 115 mm, H 为气缸推杆行程,取值 30 mm, α 为取苗针张开最大插入钵体时的夹角,取值 24°, α' 为取苗针夹紧取苗时的夹角,取值 16°。试验表明^[28]:在此结构参数下,取苗针与穴孔壁可保持 2~3 mm 的斜插间隙,最大能达到 41 mm 的插入深度,苗钵体单侧夹持变形量在 5 mm 左右,对育苗质量好的穴盘苗其取苗成功率大于 90%。

3.2 试验评价指标

衡量取苗机构取苗效果的主要指标是取苗成功

率及钵体完整率^[28-30]。为更加全面地了解取苗机构及顶苗机构的详细工作情况,便于分析并解决取苗与顶苗过程中出现的各种问题,制订了相关指标: S_1 为取苗失败率, S_2 为伤苗率, S 为取苗成功率, P 为苗钵破碎率, W 为钵体完整率。各指标的计算公式为

$$S_1 = \frac{N_1}{N} \times 100\%$$

(2)

式中 N ——取苗总株数,株

N_1 ——取苗爪未能将钵苗夹出、钵苗在移送过程中由于取苗爪夹持不紧而脱落以及顶苗机构未将钵苗成功推出的株数,株

$$S_2 = \frac{N_2}{N} \times 100\%$$

(3)

式中 N_2 ——取出钵苗中出现茎节断伤以及钵体受到较大破坏,影响栽植成活的株数,株

$$S = (1 - S_1 - S_2) \times 100\%$$

(4)

$$P = \frac{N_3}{N} \times 100\%$$

(5)

式中 N_3 ——取出的钵苗钵体受到较大破坏,苗钵根部损伤较大,钵体基质损失较大或钵体未被取出的株数,株

$$W = (1 - P) \times 100\%$$

(6)

3.3 顶夹拔取苗模式试验

根据顶夹拔组合取苗工作原理,将取苗模式分为 3 种:先顶后取模式(Ⅰ),即顶苗机构先顶松苗钵,取苗机构再插入拔取苗钵;边顶边取(Ⅱ),即取苗机构插入苗钵同时顶苗机构一起顶苗,然后取苗机构夹取拔苗;先插后顶(Ⅲ),即取苗机构先插入苗钵体夹苗,然后在取苗爪拔出苗时顶苗机构开始顶苗。试验需要根据 3 种模式下的取苗成功率及钵体完整率数据进行甄选,选取较优模式。

选用 72 孔穴盘黄瓜苗,顶入位移为 10 mm,取苗爪插入钵体深度为 35 mm。测试前将穴盘苗浇透水,3 h 后等水充分均匀扩散,采用干湿质量法测钵体的含水率,得到钵体含水率范围为 60%~65%。

通过程序控制插拔气缸和顶面气缸的作用时间来实现 3 种取苗模式,对每种模式下每组夹取苗失败个数、伤苗个数及苗钵破碎个数进行统计,得出试验结果如表 3 所示。

先顶松苗钵再插入夹取钵苗的第 1 种模式下,取苗成功率最高,且钵体完整率也较其他两种取苗模式高,故顶夹拔组合取苗方式选用第 1 种取苗模式。

表 3 不同顶夹拔取苗模式下试验结果

Tab.3 Experimental results of mode experiment of push-clip-pull picking seedling

取苗模式	取苗总数 N /个	取苗失败数 N_1 /个	伤苗数 N_2 /个	钵体破碎数 N_3 /个	取苗成功率 $S/\%$	钵体完整率 $W/\%$
Ⅰ	68	2	2	4	93.85	94.02
Ⅱ	69	3	2	5	92.75	92.75
Ⅲ	67	3	3	5	91.04	92.54

3.4 取苗性能试验

3.4.1 试验因素及水平

根据顶夹拔取苗装置的工作原理及脱盘粘附力试验结构,分析认为顶苗机构的顶入位移、取苗机构插入钵体夹取苗钵的深度及插入取苗速度是影响取苗效果的主要因素。为此,以顶入位移、插入苗钵深度及插入取苗速度为主要因素,进行三因素三水平的正交试验,以确定取苗机构的最优工作参数组合。试验因素水平如表 4 所示。

表 4 试验因素水平

Tab.4 Experimental factors and levels

水平	因素		
	顶入位移/ mm	插入苗钵深度/mm	插入取苗速度/ (mm·s ⁻¹)
1	5	25	180
2	10	30	225
3	15	35	300

3.4.2 试验结果

试验结果如表 5 所示,其中 k_1 、 k_2 、 k_3 分别为每个因素相应水平下的平均值, R 为各个因素下的极差值,取苗成功率和苗钵完整率的方差分析如表 6、7 所示。由表 5~7 可知:顶入位移、插入苗钵深度及插入速度 3 个工作参数对取苗成功率和苗钵完整率均有影响,其中,顶入位移、插入苗钵深度两因素下的极差较大,通过取苗成功率方差分析可知,顶入位移、插入苗钵深度对应的 $P < 0.05$,说明顶入位移、插入苗钵深度两因素对取苗完整率的影响显著;通过苗钵完整率方差分析可知,顶入位移对应 $P = 0.081$,顶入位移相较于插入苗钵深度和插入速度对取苗完整率的影响较为显著。

当插入苗钵深度为 35 mm 时,取苗成功率高,原因是取苗爪插入深度越深,取苗针夹持苗钵的接触长度越长,可产生的夹持力就越大,夹取钵苗的能力也就越强。但由于穴盘高度的限制,插入苗钵深度也不能过深,否则取苗爪插到穴盘内壁,会破坏苗盘造成苗钵整体损伤。插入苗钵深度在一定范围内越深,取苗成功率越高。

表 5 正交试验安排与结果

Tab.5 Arrangement and result of orthogonal experiment

试验序号	顶入	插入苗	插入	取苗	苗钵
	位移 水平值	钵深度 水平值	速度 水平值	成功率/ %	完整率/ %
1	1	1	1	75.00	73.53
2	1	2	2	81.16	84.06
3	1	3	3	85.07	85.07
4	2	1	2	80.30	84.85
5	2	2	3	85.29	88.24
6	2	3	1	93.85	92.31
7	3	1	3	81.82	89.39
8	3	2	1	92.54	94.03
9	3	3	2	94.12	94.12
取苗成功率	k_1	80.41	79.04	87.13	
	k_2	86.48	86.33	85.19	
	k_3	89.50	91.01	84.06	
	R	9.09	11.97	3.07	
苗钵完整率	k_1	80.89	82.59	86.62	
	k_2	88.47	88.78	87.68	
	k_3	92.51	90.50	87.57	
	R	11.62	7.91	1.06	

表 6 取苗成功率方差分析

Tab.6 Orthogonal experiment analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方和	F	P
顶入位移	128.432	2	64.216	59.975	0.016
插入苗钵深度	218.438	2	109.219	102.006	0.010
插入速度	14.46	2	7.23	6.753	0.129
误差	2.141	2	1.071		
总和	363.472				

表 7 苗钵完整率方差分析

Tab.7 Analysis of variance for seedling pot integrity rate

方差来源	平方和	自由度	均方和	F	P
顶入位移	209.011	2	104.506	11.355	0.081
插入苗钵深度	103.813	2	51.906	5.64	0.151
插入速度	2.011	2	1.006	0.109	0.901
误差	18.406	2	9.203		
总和	333.242				

综上所述,根据正交试验结果分析,得出顶夹拔取苗装置的最优工作参数组合为:顶入位移为 15 mm、插入苗钵深度为 35 mm,插入取苗速度为 225 mm/s,此组合下取苗成功率 94.12%,苗钵完整率 94.12%。

4 结论

(1)针对蔬菜穴盘苗自动移栽机插拔式取苗机构单靠取苗爪夹取苗时,因受钵体与穴盘之间粘附力和盘根性不佳双重影响,造成取苗成功率低、钵体破碎率高的问题,提出了一种顶夹拔组合取苗技术,开展了顶夹拔组合式取苗装置的试验研究。以 72 孔和 128 孔黄瓜穴盘苗为试验对象,通过顶压脱盘粘附力试验,测试了不同顶苗速度(10、20、30、40 mm/s)下黄瓜苗的脱盘粘附力以及顶压脱离位移,得到两种规格穴盘苗的钵体粘附力和苗钵脱盘脱离位移分布范围,并发现顶苗速度对粘附力及脱离位移影响不大,综合考虑苗盘落水孔直径、钵体抗压力、粘附力及脱离位移,确定顶苗顶杆直径选用 6 mm,顶杆顶苗位移大于 5 mm,试验结果为顶压机结构设计提供了依据。

(2)以生长周期为 25 d 的 72 穴黄瓜穴盘苗为试验对象,开展先顶后取、边顶边取、先插后顶 3 种顶夹拔取苗模式试验,结果表明:先顶松苗钵再夹取的模式下取苗成功率和钵体完整率最高,由此确定顶夹拔组合式取苗装置拟采用第 1 种取苗模式。

(3)根据顶夹拔取苗装置的工作原理及脱盘粘附力试验,分析确定了顶杆顶入位移、取苗爪插入苗钵取苗深度及插入取苗速度为影响因素,以生长周期为 25 d 的 72 穴黄瓜苗为试验对象,开展了三因素三水平取苗性能正交试验,通过极差分析和方差分析得出顶夹拔取苗装置的最优工作参数组合为:顶入位移为 15 mm、插入苗钵深度为 35 mm,插入取苗速度为 225 mm/s,此组合下取苗成功率 94.12%,苗钵完整率 94.12%,满足了自动取苗高质量要求。

参 考 文 献

[1] 秦贵. 蔬菜移栽机械化需求分析及前景展望[J]. 农机科技推广, 2013(4): 43-44.
QIN Gui. Demand analysis and prospect of vegetable transplanting mechanization[J]. Agricultural Machinery Science and Technology Promotion, 2013(4): 43-44. (in Chinese)

[2] 姬江涛, 杨林辉, 金鑫, 等. 行星轮系滑道式钵苗栽植机构设计与参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(18): 83-92.
JI Jiangtao, YANG Linhui, JIN Xin, et al. Design and parameter optimization of planetary gear-train slip type pot seedling planting mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(18): 83-92. (in Chinese)

[3] 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)

[4] 谢守勇, 阳尚宏, 刘军, 等. 蔬菜移栽机斜插夹钵式取投苗装置研制[J]. 农业工程学报, 2020, 36(6): 1-10.
XIE Shouyong, YANG Shanghong, LIU Jun, et al. Development of the seedling taking and throwing device with oblique insertion and plug clipping for vegetable transplanters[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(6): 1-10. (in Chinese)

- [5] 魏新华,包盛,刘晓凯,等.穴盘苗全自动移栽机运动协调控制系统设计与移栽试验[J].农业机械学报,2016,47(12):1-7,52.
WEI Xinhua, BAO Sheng, LIU Xiaokai, et al. Design and experiment on potted-seedling automatic transplanter control system for motion coordinating[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(12):1-7,52. (in Chinese)
- [6] 文永双,张俊雄,袁挺,等.蔬菜穴盘苗移栽自动取苗技术现状与分析[J].中国农业大学学报,2021,26(4):128-142.
WEN Yongshuang, ZHANG Junxiong, YUAN Ting, et al. Current situation and analysis of automatic seedling harvesting technology for vegetable plug seedling transplanting[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(4):128-142. (in Chinese)
- [7] 叶秉良,唐涛,俞高红,等.组合式非圆齿轮行星轮系取苗机构动力学分析与试验[J].农业机械学报,2018,49(12):74-82.
YE Bingliang, TANG Tao, YU Gaohong, et al. Dynamics analysis and tests on seedling pick-up mechanism of planetary gear train of combined gear transmission with non-circular gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(12):74-82. (in Chinese)
- [8] 崔巍,赵亮,刘立晶,等.二阶椭圆行星轮系取苗机构参数优化与试验[J].农业机械学报,2020,51(增刊2):79-84,98.
CUI Wei, ZHAO Liang, LIU Lijing, et al. Kinematic analysis and experiment of rotary pick-up mechanism on seedling pick-up device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2):79-84,98. (in Chinese)
- [9] 薛党勤,侯书林,张佳喜.我国旱地移栽机械的研究进展与发展趋势[J].中国农机化学报,2013,34(5):8-11.
XUE Dangqun, HOU Shoulin, ZHANG Jiaxi. Research progress and development trend of dryland transplanting machinery in my country[J]. Chinese Journal of Agricultural Machinery, 2013, 34(5):8-11. (in Chinese)
- [10] 金鑫.蔬菜穴盘苗自动移栽技术与装置的研究[D].北京:中国农业大学,2014.
JIN Xin. Research on automatic transplanting technology and device of vegetable plug seedlings[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [11] 童俊华,石虎峰,武传宇,等.穴盘移栽指铲式末端执行器苗钵基质抓取仿真与试验[J].农业机械学报,2019,50(8):107-116.
TONG Junhua, SHI Hufeng, WU Chuanyu, et al. Simulation and test of seedling pot grabbing by spade end-effector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8):107-116. (in Chinese)
- [12] YE Bingliang, YI Weiming, YU Gaohong, et al. Optimization design and test of rice plug seedling transplanting mechanism of planetary gear train with incomplete eccentric circular gear and non-circular gears[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(6):43-55.
- [13] 周梅芳,徐建军,童俊华,等.花卉穴盘苗取栽一体式自动移栽机构设计与试验[J].农业工程学报,2018,34(20):44-51.
ZHOU Meifang, XU Jianjun, TONG Junhua, et al. Design and experiment of integrated automatic transplanting mechanism for taking and planting of flower plug seedlings[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(20):44-51. (in Chinese)
- [14] JIN Xin, LI Daoyi, MA Hao, et al. Development of single row automatic transplanting device for potted vegetable seedlings[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(3):67-75.
- [15] 胡建平,常航,杨丽红,等.自动移栽机整排取苗间隔投苗控制系统设计及试验[J].农业机械学报,2018,49(6):78-84.
HU Jianping, CHANG Hang, YANG Lihong, et al. Design and experiment of control system for automatic transplanter picking up and spacing casting whole row of seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6):78-84. (in Chinese)
- [16] 刘洋,毛罕平,韩绿化,等.基于 Micro-CT 的黄瓜苗坩夹取破损检测及取苗参数优化[J].农业工程学报,2018,34(12):27-34.
LIU Yang, MAO Hanping, HAN Lühua, et al. Plug damage detection and parameter optimization of picking up cucumber seedlings from tray cells based on Micro-CT[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(12):27-34. (in Chinese)
- [17] 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].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]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10):64-71. (in Chinese)
- [18] YANG Qizhi, XU Li, SHI Xinyi, et al. Design of seedlings separation device with reciprocating movement seedling cups and its controlling system of the full-automatic plug seedling transplanter[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 147:131-145.
- [19] 郭警伟,黄勇,戴远征,等.气吹式落苗装置有序排苗性能的试验研究[J].中国农机化学报,2014,35(2):136-138.
GUO Jingwei, HUANG Yong, DAI Yuanzheng, et al. Experimental study on the performance of orderly seedling arrangement of air-blown seedling dropping device[J]. Chinese Journal of Agricultural Machinery, 2014, 35(2):136-138. (in Chinese)
- [20] 崔巍.旱地钵体苗自动移栽机理论与试验研究[D].北京:中国农业大学,2015.
CUI Wei. Theoretical and experimental research on automatic transplanting machine for pot body seedlings in dry land[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [21] 党玉功,金鑫,李衡金,等.单自由度四连杆取投苗机械臂设计[J].农业工程学报,2019,35(14):39-47.
DANG Yugong, JIN Xin, LI Hengjin, et al. Design of single-degree-of-freedom four-bar seedling-taking and throwing manipulator[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(14):39-47. (in Chinese)
- [22] HUANG B K. Air-pruning tray/container matrix transfer and transplanting system and methods; US20050016425A1[P]. 2005-01-27.

- [17] 朱余清, 洪添胜, 吴伟斌, 等. 山地果园自走式履带运输车抗侧翻设计与仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 19-23.
ZHU Yuqing, HONG Tiansheng, WU Weibin, et al. Anti rollover design and simulation of self-propelled crawler transporter in mountain orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 19-23. (in Chinese)
- [18] SAEYA W, ENGELEN K, RAMON H, et al. An automatic depth control system for shallow manure injection, part 1: modelling of the depth control system[J]. Biosystems Engineering, 2007, 98(2):146-154.
- [19] SAEYA W, WALLAYS C, RAMON H, et al. An automatic depth control system for shallow slurry injection, part 2: control design and field validation[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(2):161-170.
- [20] 李善军, 邢军军, 张衍林, 等. 7YGS-45 型自走式双轨道山地果园运输机[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8):85-88.
LI Shanjun, XING Junjun, ZHANG Yanlin, et al. 7YGS-45 self-propelled double track mountain orchard conveyor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 85-88. (in Chinese)
- [21] 冯娟, 刘刚, 王圣伟, 等. 采摘机器人果实识别的多源图像配准[J]. 农业机械学报, 2013, 44(3):197-203.
FENG Juan, LIU Gang, WANG Shengwei, et al. Multi-source image registration for fruit recognition of picking robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(3): 197-203. (in Chinese)
- [22] 姜红花, 牛成强, 刘理民, 等. 果园多风管风送喷雾机风量调控系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊 2):298-307.
JIANG Honghua, NIU Chengqiang, LIU Limin, et al. Design and test of air volume control system for orchard multi duct air spray[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2): 298-307. (in Chinese)
- [23] 刘双喜, 徐春保, 张宏建, 等. 果园开沟施肥机机架优化设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊 1):113-122.
LIU Shuangxi, XU Chunbao, ZHANG Hongjian, et al. Optimization design and test of orchard furrow fertilizing machine frame [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 1): 113-122. (in Chinese)
- [24] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999:514-518.
- [25] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007:235-243.
- [26] 景亮, 王瑞, 刘慧, 等. 基于双目相机与改进 YOLOv3 算法的果园行人检测与定位[J]. 农业机械学报, 2020, 51(9): 34-39, 25.
JING Liang, WANG Rui, LIU Hui, et al. Pedestrian detection and location in orchard based on binocular camera and improved YOLOv3 algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(9): 34-39, 25. (in Chinese)
- [27] 朱新华, 赵伟, 伏胜康, 等. 自解捆式果园秸秆覆盖机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10):223-232.
ZHU Xinhua, ZHAO Wei, FU Shengkang, et al. Design and test of self unbundling orchard straw mulcher[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 223-232. (in Chinese)

(上接第 117 页)

- [23] 缪小花. 穴盘苗移栽机新型取苗装置的设计与参数优化[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
MIAO Xiaohua. Design and parameter optimization of a new type of seedling picking device for plug seedling transplanter[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014. (in Chinese)
- [24] 杨传华, 方宪法, 杨学军, 等. 基于 PLC 的蔬菜钵苗移栽机自动输送装置[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1):19-23, 18.
YANG Chuanhua, FANG Xianfa, YANG Xuejun, et al. Automatic delivery mechanism of potted-seedling for vegetable transplanter based on PLC[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 19-23, 18. (in Chinese)
- [25] 袁挺, 王栋, 文永双, 等. 蔬菜移栽机气吹振动复合式取苗机构设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10):80-87.
YUAN Ting, WANG Dong, WEN Yongshuang, et al. Design and experiment of air-blowing combined with vibration type seedlings unloading mechanism of vegetable transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10):80-87. (in Chinese)
- [26] 郭林强. 穴盘苗全自动移栽机气动取苗装置的设计与试验[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
GUO Linqiang. Design and experiment of pneumatic seedling picking device for automatic plug seedling transplanter[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016. (in Chinese)
- [27] 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 research of automatic seedling picking device for vegetable pot seedlings[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [28] 徐静云. 基于苗钵-根系综合分析的取苗末端执行器设计及育苗工艺优化[D]. 镇江: 江苏大学, 2015.
XU Jingyun. Design of pick-up end-effector and optimization of seedling cultivation based on seeding-bowl-root multiple properties[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2015. (in Chinese)
- [29] 韩绿化, 毛罕平, 严蕾, 等. 穴盘育苗移栽机两指四针钳夹式取苗末端执行器[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7):23-30.
HAN Lühua, MAO Hanping, YAN Lei, et al. Pincette-type end-effector using two fingers and four pins for picking up seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):23-30. (in Chinese)
- [30] 胡建平, 潘杰, 陈凡, 等. 基于 EDEM-RecurDyn 的指夹式取苗爪仿真优化与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(5):75-85, 301.
HU Jianping, PAN Jie, CEHN Fan, et al. Simulation optimization and experiment of finger-clamping seedling picking claw based on EDEM-RecurDyn[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(5): 75-85, 301. (in Chinese)