

穴盘苗取投苗装置的设计与试验

寻真福^{1,2}, 孙松林^{1,2*}, 张武金^{1,2}, 杨彪^{1,2}

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要: 设计了一个将蔬菜和烟草幼嫩脆弱型穴盘苗取出并投送至指定位置的机构, 该机构包含定位输送装置与取投苗装置。在穴盘输送台上对生长至3~4片真叶的烟草穴盘苗进行取投苗试验, 以伤苗率、取苗成功率、投苗成功率为评价指标, 对取苗机构的电机转速、苗夹安装高度、机械手指的插入角度等进行了单因素试验与多因素正交试验。单因素试验结果表明, 取苗机构的电机转速为120 r/min时, 伤苗率为1.5%, 取苗成功率为92.5%, 投苗成功率为93.12%; 苗夹的安装高度为90 mm时, 伤苗率为1.32%, 取苗成功率为91.2%, 投苗成功率为94.45%; 机械手指的插入角度为7°时, 伤苗率为1.28%, 取苗成功率为93.35%, 投苗成功率93.1%。正交试验结果表明, 取苗机构的电机转速为120 r/min, 苗夹的安装高度为90 mm, 取苗爪的插入角度为7°时, 为最优组合, 伤苗率为1.8%, 取苗成功率为94%, 投苗成功率为96.9%。

关键词: 穴盘苗取投苗装置; 取苗电机转速; 伤苗率; 取苗; 投苗

中图分类号: S223.94

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)06-0680-05

Design and test of the picking and dropping plug seeding device

Xun Zhenfu^{1,2}, Sun Songlin^{1,2*}, Zhang Wujin^{1,2}, Yang Biao^{1,2}

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Modern Agricultural Machinery and Equipment, Hunan Engineering Research Center, Changsha 410128, China)

Abstract: A device was designed to pick and drop the plug seeding of vegetable and tobacco, which consist of a translating mechanism and a picking and dropping mechanism. The plug seeding with 3 or 4 main leaves was used to test the performance of the device. The single factor test and orthogonal test was done to test the damage rate, the successful picking and dropping rate, dependent on the speed of picking seedlings, the mounting height of seedling clamp, and the insertion angle of seedling claw. The single factor test results show that when the speed of picking seedling was 120 r/min, the damage rate was 1.5%, the successful picking rate was 92.5%, and the successful dropping rate was 93.12%. As the mounting height of seedling clamp was 90 mm, the damage rate was 1.32%, the successful picking rate was 91.2%, and the successful dropping rate was 94.45%. When the insertion angle of seedling claw was 7°, the damage rate was 1.28%, the successful picking rate was 93.35%, and the successful dropping rate was 93.31%. Orthogonal experiment results show that the device has the best performance with the damage rate of 1.28%, the successful picking rate of 93.35%, and the successful dropping rate of 93.31%, when operating under the picking seedling speed of 120 r/min, the seedling clamp mounting height of 90 mm, and the seedling claw insertion angle of 7°.

Keywords: picking and dropping plug seedling; the picking seedling speed; damage rate; picking seedling; dropping seedling

用于作物幼苗移栽的全自动移栽机的研究, 已有许多成熟的技术应用于实际生产环节中^[1-7]。吉

林工业大学范云翔等^[8]研制出一种空气整根气吸式秧苗全自动移栽机, 该移栽机的移栽速度 1 株/s,

收稿日期: 2015-03-27

修回日期: 2015-10-08

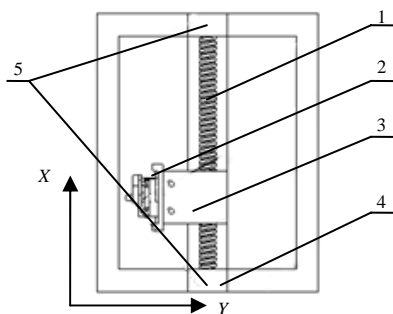
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD20B08)

作者简介: 寻真福(1989—), 女, 湖南浏阳人, 硕士研究生, 主要从事农业机械设计研究, 943677120@qq.com; *通信作者, 孙松林, 教授, 主要从事农业机械设计研究, hnnssl@163.com

综合生产率可达 2 000 株/h 以上，漏植率小于 2%，伤苗率小于 1%，适用于茎秆柔韧性较强的作物，如水稻秧苗的移栽，而由于蔬菜和烟草幼苗茎秆较为娇嫩脆弱，这种全自动移栽机并不宜于蔬菜和烟草幼苗的移栽。笔者借鉴有关蔬菜和烟草等的穴盘苗幼苗的物理特性和相关力学特性的研究成果^[9-11]，设计了针对此类幼苗集穴盘苗取苗与定位投苗为一体的取投苗装置，以期为研制适应于秧苗脆弱型蔬菜和烟草的全自动移栽机提供依据，现将研究结果报道如下。

1 穴盘苗取投苗装置的结构及工作原理

穴盘苗取投苗装置包括滚珠丝杠副与取苗机构，整体结构如图 1 所示。滚珠丝杠副完成取苗机构在水平面 X 方向的定位与输送。基于本试验采用 5 × 10(250 mm × 500 mm)规格的穴盘，且取苗与投苗的定位误差为 ±0.1 mm，要求滚珠丝杠滑台在 X 方向 1 次传动的距离为 2 个穴孔中心之间的距离 50 mm。根据工作载荷及其定位要求，选取 SFU1610-4 型 1 级滚珠丝杠，其导程为 10 mm，直径为 16 mm，其任意 200 mm 行程的导程公差为 ±4 mm，本丝杠滑台的定位精度为 ±0.12/300 mm，可以满足由于传动引起的定位误差的定位精度要求。



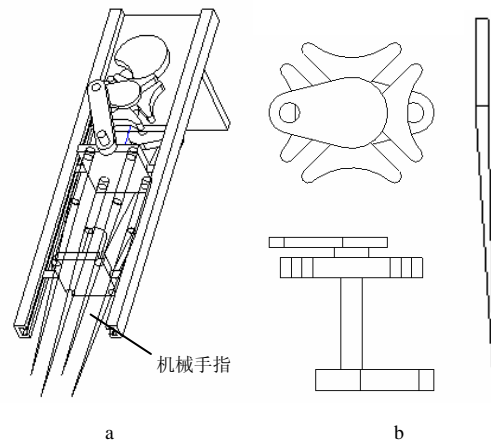
1 滚珠丝杠；2 取苗机构；3 滚珠丝杠滑台；4 机架；5 支撑座。

图 1 穴盘苗取投苗装置整体结构

Fig.1 The device structure of hole tray seedling taking

穴盘苗钵体上表面为正方形，为最大限度降低取苗机构对幼苗及其钵体内根系的伤害，保证移栽后的成活率，取苗机构的夹取部分为与底座刚性连接的四个对称的机械手指，其安装尺寸为 60 mm × 60 mm，模拟手指的张开与闭合实现取苗、夹持及其投苗动作。取苗苗夹的机械结构示意图如图 2-a 所示，主要包括槽轮机构，两个对称装配在槽轮从动

槽轮上的曲柄滑块结构，机械手指，推杆。槽轮机构的从动槽轮的结构如图 2-b 所示。



a 苗夹结构；b 从动槽轮结构；c 机械手指结构。

图 2 苗夹结构

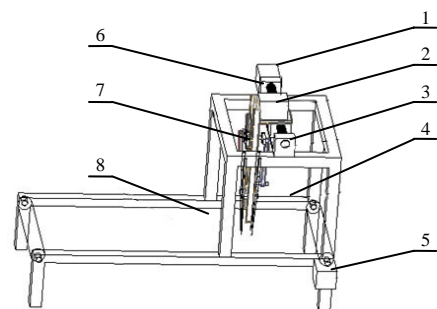
Fig.2 The structure of seedling taking

取苗机构以调速电机为驱动元件，机械手指开合的原理为：槽轮机构随电机转动时，推杆与机械手指安装底座也在竖直平面内随槽轮机构的转动，实现不同步的上下移动；机械手指取苗时，沿钵体的 4 个边角位置插入钵体并夹紧。由于推杆尺寸固定，机械手指有一定的插入角度，实际上机械手指末端与根部张开的程度不一样，推杆相当于机械手指的顶开机构，推杆向机械手指末端移动时，机械手指张开，反之闭合。滚珠丝杠滑台由步进电机驱动，其传动规律由设定的程序决定。

2 试验装备及方法

2.1 试验装备

试验装备整体结构如图 3 所示。主要包括穴盘苗取投苗装置、输送机架、输送带、丝杠步进电机、苗夹调速电机、输送带步进电机。



1 滚珠丝杠副步进电机；2 苗夹调速电机；3 支撑座；4 机架；5 输送带步进电机；6 丝杠；7 苗夹及其滑台。

图 3 移栽试验台结构

Fig.3 The structure of Transplanting test bed

2.2 试验操作过程

在输送带上并排放置2个穴盘,其中1个为含有幼苗的穴盘,另1个为空穴盘。为将幼苗取出并投送至空穴盘中对应的穴孔,在准备阶段,输送带将穴盘输送至取苗工作架下,且第1排穴盘苗的中心平面正好与苗夹机械手指的安装中心平面重合,如图4所示。苗夹停于起点位置,起点位置距离第1排第1个穴孔的中心位置50 mm;工作阶段,丝杠转动5圈将带有取苗苗夹的丝杠滑台定位到第1个被取穴盘苗的位置并停止,停止时间根据苗夹电机的转速来确定,此时苗夹电机得电开始转动取苗;苗夹完成取苗、夹持后,丝杠转动25圈将滑台送至投苗点投苗,丝杠转动时调速电机失电,停止时调速电机得电;完成取苗、送苗、投苗之后,丝杠反转25圈回到取苗位置,然后再重复上述动作直到一排5株幼苗被取完,最后一次滚珠丝杠反转50圈返回原点。完成第1排的穴盘苗取投苗之后,输送带将穴盘往前输送50 mm,再重复上述动作直至全盘取投完成。

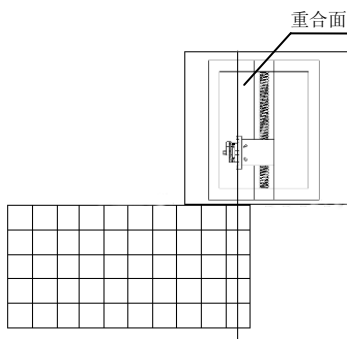


图4 穴盘初试定位

Fig. 4 Hole tray initial orientation diagram

3 材料和试验设计

3.1 试验材料

试验在湖南农业大学进行。烟草品种为HZ07-4-2-5,穴盘育苗,生长至3~4片真叶的烟草幼苗,平均茎粗约为3.2 mm,高度为28 mm,平均叶片面积约为620 mm²;穴盘尺寸为250 mm × 500 mm。

3.2 试验因素与试验设计

以取苗电机的转速、苗夹的安装高度(取曲柄滑块机构中曲柄为水平位置时机械手指末端到输送

带的高度)、机械手指的插入角度为试验因素^[12-14],以取苗成功率、伤苗率以及投苗成功率为评价指标,进行单因素和多因素正交试验。取苗电机的转速调节范围为0~180 r/min,苗夹安装高度为80~120 mm,机械手指的插入角度为0~15°。

取苗成功以将穴盘钵体从穴孔中取出,钵体无明显破碎为判断标准;伤苗情况以造成叶片破损及其茎秆折断为判断标准;投苗成功以投苗后钵体自由落体于穴孔后,在穴孔中的倾斜角度小于5°为判断标准。伤苗率为伤苗总数与取苗成功总数之比。取苗成功率为取苗成功总数与幼苗总数之比。投苗成功率为准确投苗总数与取苗成功总数之比。

3.2.1 单因素试验

在单因素试验中,限定其中2个因素为固定值,分别考察取苗电机的转速、苗夹的安装高度、机械手指的插入角度对取苗成功率、伤苗率和投苗成功率的影响。分析调速电机转速对评价指标的影响时,分别调整取苗电机转速为60、90、120、150、180 r/min,保持苗夹安装高度为90 mm,苗夹插入角度为5°进行试验,记录每一盘穴盘苗取苗成功的数量、伤苗的数量及其投苗成功的数量,计算伤苗率、取苗成功率与投苗成功率。分析苗夹安装高度对评价指标的影响时,取苗夹安装高度为70、80、90、100、110 mm,保持调速电机转速为120 r/min,苗夹插入角度为5°。分析机械手指的插入角度对评价指标的影响时,取机械手指插入角度为3°、5°、7°、9°、11°,保持调速电机转速为120 r/min,苗夹安装高度为90 mm。

3.2.2 多因素正交试验

参考3因素3水平的正交试验表^[15]设计本试验,如表1所示。

表1 试验因素及其水平

水平	A/(r·min ⁻¹)	B/mm	C/(°)
1	90	80	5
2	120	90	7
3	150	100	9

A 取苗调速电机转速;B 苗夹安装高度;C 机械手指插入角度。

4 结果与分析

4.1 单因素试验结果

4.1.1 取苗电机转速对评价指标的影响

随着取苗电机转速的增大,取苗成功率会降低,伤苗率和投苗成功率却相应提高。因为取苗电机转速较低时,取苗较温和,可以缓慢取苗而不对幼苗的叶片造成很明显的伤害,但由于取苗速度与投苗速度是一致的,投苗速度过慢的话,由于穴盘苗钵体的蠕变特性,其钵体与机械手指的粘连,速度越慢则投苗越困难,且较难达到应有的水准;当取苗的速度达到一定的临界值之后,由于机械手指对钵体的夹取冲击,会将钵体损坏,同时由于机械手指的快速张合与下降,也会对幼苗叶片造成伤害,相邻穴孔内的幼苗叶片也可能被破坏。通过综合分析比较,适合苗夹取苗的苗夹调速电机转速为 90~150 r/min。

4.1.2 苗夹安装高度对评价指标的影响

随着安装高度不断增加,取苗成功率与投苗成功率呈下降趋势,伤苗率反呈上升趋势。当安装高度为 90 mm 时,伤苗率、取苗成功率、投苗成功率都在规范范围内且比较符合本设计宗旨。由于穴盘苗钵体高度为 60 mm,幼苗平均高度为 28 mm,穴盘的侧壁也与竖直面有一定的夹角,苗夹自身有一定的高度,钵体与穴盘之间有一定的吸附力。安装

高度过高会造成无法将钵体从穴孔中取出或为无法夹取幼苗,造成严重伤苗或取苗失败、投苗失败;安装高度过低也会造成幼苗叶片被夹伤,并将穴盘扎破的现象。经过综合分析比较,安装高度为 90 mm 时,比较符合本设计宗旨。

4.1.3 机械手指插入角度对评价指标的影响

插入角度较小时,取苗力不够无法将穴盘苗钵体从穴孔中取出,则取苗失败;取苗一旦失败就不存在投苗会成功了。或者成功取苗但在夹持的过程中幼苗由于没有足够的夹持力而掉落,则投苗失败。而插入角度过大时,在还未插入钵体的时候,就已将钵体上面的幼苗叶片破坏,即伤苗率将超过约束值;或者是插入钵体在取苗的过程中由于夹取力相应增大,而将钵体夹坏,造成取苗失败。所以,机械手指的插入角度不能过小也不能过大,移栽的目的是为了移栽后作物能更好的生长,要求最大限度保护幼苗及其根系,经过综合分析比较,合适的机械手指插入角度为 7°。

4.2 多因素正交试验结果

正交试验结果列于表 2。影响取苗成功率的因素大小依次为取苗调速电机转速、苗夹安装高度、机械手指插入角度;影响伤苗率的因素大小依次为苗夹安装高度、机械手指插入角度、取苗调速电机转速;影响投苗准确率的因素大小依次为取苗调速电机转速、机械手指插入角度、苗夹安装高度。最

表 2 正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal test

试验号	A/(r·min ⁻¹)	B/mm	C/(°)	伤苗率/%	取苗成功率/%	投苗成功率/%
1	90	80	5	1.22	90.0	95.6
2	90	90	7	1.25	95.0	94.7
3	90	100	9	2.00	89.0	94.0
4	120	80	7	1.10	93.0	96.0
5	120	90	9	1.12	92.5	95.2
6	120	100	5	1.35	89.7	96.7
7	150	80	9	1.40	87.0	95.5
8	150	80	5	1.70	88.3	96.7
9	150	100	7	1.85	88.0	96.9
取苗成功率						
K ₁	274.00	270.00	268.00			
K ₂	275.20	275.80	276.00			
K ₃	263.30	266.70	268.50			
k ₁	91.33	90.00	89.33			
k ₂	91.73	91.93	92.00			
k ₃	87.76	88.90	89.50			

表 2(续)

投苗成功率				伤苗率			
K_1	284.30	287.60	289.00	K_1	4.47	3.72	4.27
K_2	287.90	286.60	287.60	K_2	3.57	4.07	3.75
K_3	289.60	287.10	285.90	K_3	4.95	5.2	4.97
k_1	94.77	95.87	96.33	k_1	1.49	1.24	1.42
k_2	95.99	95.53	95.87	k_2	1.25	1.36	1.25
k_3	96.63	95.85	95.33	k_3	1.65	1.73	1.66

大取苗率的较优组合为 $A_2B_2C_2$, 较小伤苗率的最优组合为 $A_2B_1C_1$, 较大投苗率的最优组合为 $A_3B_1C_1$ 。由于 2 个指标存在 2 组不同的较优方案, 因此, 选用综合平衡法以确定综合的较优水平组合。通过考察每个因素对各指标的影响, 并进行综合分析比较, 确定投苗装置的最佳水平组合为 $A_2B_2C_2$, 即苗夹调速电机转速为 120 r/min, 苗夹安装高度为 90 mm, 机械手指插入角度为 7° 。根据国家机械行业相关标准^[16], 任何一个机构的工作效率都应达到一定水平, 本装置中伤苗率已控制在 5% 以内, 取苗与投苗成功率皆大于 90%, 符合国家相关标准。

5 结论

单因素试验结果表明, 在保持其他因素水平不变的情况下, 调整取苗电机转速, 最优的转速为 120 r/min; 在保持其他因素水平不变的情况下, 调整苗夹的安装高度, 最佳安装高度为 90 mm; 在保持其他因素水平不变的情况下, 调整机械手指的插入角度, 最合适的角度为 7° 。多因素正交试验结果表明, 对取苗成功率影响最大的因素为取苗电机的转速, 对伤苗率影响最大的因素为苗夹安装高度, 对投苗成功率影响最大的因素为取苗电机转速。正交试验得出最佳组合为 $A_2B_2C_2$, 即取苗电机转速为 120 r/min、苗夹安装高度为 90 mm、机械手指插入角度为 7° , 伤苗率为 1.8%, 取苗准确率为 94%, 投苗准确率为 96.9%, 此组合为本装置的最优参数组合。

参考文献:

- [1] 吴畏, 孙松林, 肖名涛. 我国移栽机械的现状与发展趋势[J]. 农业技术与装备, 2013(12): 7-8, 10.
- [2] 韩长杰, 杨宛章, 张学军, 等. 穴盘苗移栽机自动取

喂苗系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 51-61.

- [3] 张丽华, 邱立春, 田素博. 穴盘苗自动移栽机的研究进展[J]. 农业科技与装备, 2009(5): 28-31.
- [4] 肖名涛, 孙松林, 蒋焱, 等. 烤烟烟苗物理特性与自动取苗方案分析[J]. 湖南农机, 2010, 37(1): 4-5, 42.
- [5] 罗海峰, 汤楚宙, 吴明亮, 等. 中国油菜生产机械化影响因素分析[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2009, 10(4): 31-33.
- [6] 孙松林, 罗锡文. 中国油菜生产机械化影响因素的灰色关联分析[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2009, 20(5): 27-30.
- [7] 万霖, 汪春, 车刚. 小型蔬菜移栽机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 117-122.
- [8] 范云翔, 杨子万, AdekolaKA, 等. 温室全自动移栽机的研究开发[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 111-113.
- [9] 韩绿化, 毛罕平, 胡建平, 等. 穴盘苗自动移栽体体力学特性试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 24-29.
- [10] 李灵芝, 郭荣, 李海平, 等. 不同氮浓度对温室番茄生长发育和叶片光谱特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 965-969.
- [11] 单丹丹, 张清丽, 郭家明, 等. 茶氨酸对烟草幼苗生长及生理特性的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(2): 1-7.
- [12] 徐丽明, 张铁中, 史志清. 玉米自动移栽机取苗机构的设计[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(4): 58-60.
- [13] 孙国祥, 汪小岳, 何国敏, 等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 48-53.
- [14] 张丽华, 邱立春, 田素博, 等. 指针夹紧式穴盘苗移栽爪设计[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 235-237.
- [15] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [16] JB-T8299—1999 中华人民共和国机械行业标准[S].

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立