

## 水稻钵苗柔性夹持拔苗装置的设计与试验

刘欣<sup>1</sup>, 孙松林<sup>1,2\*</sup>, 肖名涛<sup>1,2\*</sup>, 谭艳红<sup>1</sup>, 洪荣东<sup>1</sup>

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

**摘要:**针对试制的 2ZP-10 型水稻钵苗抛秧机拔苗损伤率高和秧苗株距不准确的问题, 设计了钵苗柔性夹持拔苗装置替代原有拔苗装置。该装置由秧盘输送带、柔性同步带夹持器、秧盘回收装置和钵苗承接输送带组成, 通过同步带上柔性材料微小变形所产生的柔性夹持力拔出钵苗。在自制的水稻钵苗柔性夹持拔苗装置试验台上, 以深两优 5814 水稻秧苗为试材, 对影响秧苗损伤率、漏拔率及秧苗株距合格率的夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角进行单因素试验和多因素正交试验。结果表明, 对秧苗损伤率、漏拔率及秧苗株距合格率影响大小依次为夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角; 当夹持间隙为 0 mm、夹持柔性材料为海绵、起拔角为 30°时, 秧苗损伤率、漏拔率、秧苗株距合格率分别为 2.00%、5.00%、91.00%, 是实现水稻钵苗柔性拔苗作业的最优组合。

**关键词:** 水稻钵苗; 拔苗装置; 柔性夹持

中图分类号: S223.1<sup>+4</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2017)03-0324-05

## Design and experimental of flexible clamping and pulling device for rice potted-seedling

LIU Xin<sup>1</sup>, SUN Songlin<sup>1,2\*</sup>, XIAO Mingtao<sup>1,2\*</sup>, TAN Yanhong<sup>1</sup>, HONG Rongdong<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** In order to solve the problem of potted-seedling damage and uniform in row spacing for 2ZP-10 rice potted-seedling throwing machine, a flexible clamping and pulling device was designed to replace the original clamping seedling device. The device is mainly composed of seedling conveyor belt, flexible timing belt holder, seedling tray recovery device and bowl seedlings to undertake conveyor belt four parts. The seedlings was pulled out from the bowl under the action of the force produced by slightly deformation of flexible material on the synchronous belt. In the self-made rice potted-seedling flexible clamping and pulling device, the single factor and orthogonal experiments are carried out by using Shenliangyou5814 rice as the test materials. The factors that influence the injury rate of seedling included the leakage rate of seedling, and the qualified rate of seedling spacing including the clamping gap, clamping flexible material, and lifting angle. The results show that clamping gap had the biggest influence on the injury rate of seedling, the leakage rate of seedling, and the qualified rate of seedling spacing, followed by clamping flexible material and lifting angle. When the clamping gap is 0 mm, the clamping flexible material is sponge and the lifting angle is 30°, the injury rate of seedling, the leakage rate of seedling, and the qualified rate of seedling spacing are 2.00%, 5.00% and 91.00%, respectively. It is the combination to achieve the best performance for the operation of flexible clamping and pulling rice seedlings.

**Keywords:** rice potted-seedling; pulling seedling device; flexible clamping

水稻钵苗移栽机械取苗方式大致分为夹取式和顶出式, 主要由机械手和秧辊对钵苗的秧叶或钵

体进行抓取以及采用机械或气力方式顶出钵苗<sup>[1-3]</sup>。夹取式机构配合简单, 但在秧苗夹取过程中, 对秧

收稿日期: 2016-11-30

修回日期: 2017-01-12

基金项目: 湖南省科学技术厅重点研发计划项目(2015NK2006, 2016NK2111)

作者简介: 刘欣(1992—), 男, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事农业机械设计与研究, 377852415@qq.com; \*通信作者, 孙松林, 博士, 教授, 主要从事农业机械研究, hnndssl@163.com; \*通信作者, 肖名涛, 博士研究生, 副教授, 主要从事农业机械研究, xiaomentor@163.com

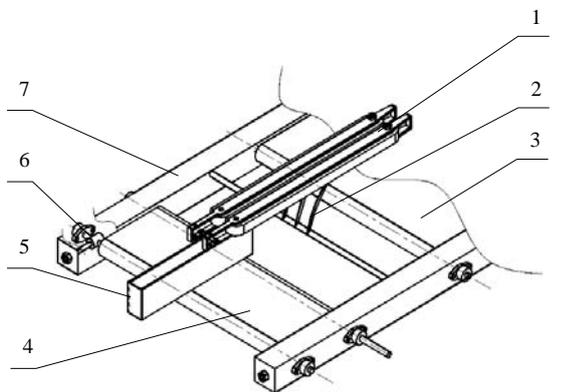
苗的机械损伤大；顶出式机构结构较为复杂，作用力在钵体底部，无秧苗损伤，但对钵苗输送与取苗装置的配合程度要求高<sup>[4-5]</sup>。

湖南农业大学试制的 2ZP-10 型水稻钵苗抛秧机，采用同步带夹持拔苗输送，进一步简化了夹取式拔苗机构，但秧苗的机械损伤率仍较高，而且被夹持的同一列钵苗下落时间不一致，抛秧钵苗株距合格率较低。针对这些问题，笔者在同步带上附加了柔性材料<sup>[6]</sup>，运用柔性夹持拔苗与秧苗输送相结合的原理，设计了具有分禾、夹持拔取和输送作用的水稻钵苗同步带柔性夹持拔苗装置替代原有拔苗装置，并对影响秧苗损伤率、漏拔率及秧苗株距合格率的夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角进行了单因素和多因素正交试验。现将结果报道如下。

## 1 水稻钵苗柔性夹持拔苗装置的结构和工作原理

### 1.1 结构

水稻钵苗柔性夹持拔苗装置的结构如图 1 所示，由钵苗承接输送带、秧盘回收装置、柔性同步带夹苗器、秧盘输送带 4 部分组成。根据水稻秧苗的物理特性<sup>[7-8]</sup>和农业机械设计手册<sup>[9]</sup>，在原有的钵苗夹持拔苗装置结构上柔性优化处理，主要由 1 对附加柔性材料的同步带组成新的柔性同步带夹苗器，长 300 mm、宽 14.70 mm，实现对钵苗的柔性夹持，秧盘回收装置由倾角可变化的 4 根细杆组成，改变原有的秧盘回收装置的倾角，以最合适的角度强制秧盘下移，使被夹持住的钵苗脱离秧盘；在原



1 柔性同步带夹苗器；2 秧盘回收装置；3 秧盘输送带；  
4 钵苗承接输送带；5 挡苗板；6 张紧装置；7 机架。

图 1 水稻钵苗柔性夹持拔苗装置的结构

Fig.1 Structure diagram of lexible clamping and pulling device for rice potted-seedling

有的水稻钵苗夹持取苗装置后方增加钵苗承接输送带，接住即将脱离的被夹持钵苗，使被夹持钵苗通过输送带间接落入田中，同时钵苗承接输送带和秧盘输送带处于同一水平面，并距柔性同步带夹苗器 61.60 mm。

### 1.2 工作原理

水稻钵苗柔性夹持拔苗装置替代原有的取苗装置，抛秧机动力采用链传动的方式，驱动柔性夹苗机构、秧盘输送带和钵苗承接输送带，并通过锥齿轮来带动 13 组柔性同步带夹苗器运动，完成水稻钵苗抛秧。水稻钵苗柔性夹持拔苗装置工作时，将育有水稻钵苗的育秧盘通过秧苗输送带和分禾板送入柔性同步带夹持器中，通过柔性同步带柔性材料的变形夹住秧苗的茎叶，同时秧盘回收装置使秧盘下移，被夹持钵苗脱离秧盘；脱离秧盘的水稻钵苗随同步带运动至钵苗承接输送带处，钵苗承接输送带托着钵苗一起向后运动至钵苗脱离夹持同步带；脱离后的钵苗随承接输送带运动至落苗处，钵苗自由下落至田中，实现秧盘上一行钵苗的拔苗输送功能，完成水稻钵苗抛秧。

## 2 水稻钵苗拔苗的动力学分析

柔性夹持拔苗装置拔出钵苗时，钵体受到自身的重力  $G$ 、秧盘对钵体的支持力  $F_4$ 、秧苗对钵体的拉力  $F$ 、秧盘内壁对钵体的压力  $P_1$  及摩擦力  $F_1$  的共同作用。以单个钵苗为研究对象，由图 2 可知， $F$  与钵体对秧苗的拉力  $F'$  为相互作用力， $F_1$  为钵体与秧盘的摩擦力， $F_2$ 、 $F_3$  为同步带柔性材料与秧苗之间的摩擦力， $F_4$  为秧盘对钵体的支持力；秧盘内壁对钵体的压力  $P_1$  及两者之间的摩擦系数  $f_1$ ，秧苗被夹持处受到夹持输送同步带对秧苗向内的挤压力  $P_2$ 、 $P_3$ ；起拔角度  $\theta$  是秧盘与水平面夹角， $\delta$  为秧盘倾斜角度， $\delta=16.5^\circ$ 。

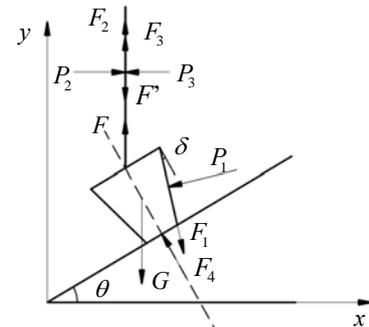


图 2 水稻钵苗受力分析

Fig.2 Rice seedling stress diagram

$$\begin{cases} F_2 = F_3 = f_2 P_2 = f_2 P_3 \\ F = F_2 + F_3 \\ P_2 = P_3 = k \Delta x \end{cases} \quad (1)$$

整理得式(2)。

$$F = 2f_2 k \Delta x \quad (2)$$

由式(2)及文献[10]可得：

$$2f_2 k \Delta x = G + f_1 P_1 \cos(\theta - \delta) + P_1 \sin(\theta - \delta) - F_4 \cos \theta \quad (3)$$

在相同育苗条件下,  $P_1$ 、 $f_1$  和 保持不变, 由式(3)可知, 影响水稻钵苗拔苗装置拔苗效果的因素主要与同步带柔性材料同秧苗之间的摩擦系数  $f_2$ 、同步带柔性材料变形量  $x$ 、刚度  $k$  及起拔角度 有关。在试验中, 通过控制两同步之间的间隙来改变同步带柔性材料变形量  $x$ , 两同步带相接触, 夹持间隙定义为 0 mm, 当柔性材料重合时, 夹持间隙定义为负值; 由同步带材料本身确定秧苗之间的摩擦系数  $f_2$  和刚度  $k$ , 影响拔苗效果的主要因素确定为夹持间隙、柔性材料、起拔角。

### 3 拔苗试验

#### 3.1 试材

水稻品种为深两优 5814, 随机选取适宜移栽钵苗 20 株, 测得钵苗平均高度为 133.48 mm。在钵苗距离秧盘 45 mm 处测量直径, 钵苗茎叶最大直径 0.70 mm, 最小直径 0.34 mm。

#### 3.2 试验设计

参照文献[11-13], 通过前期试验和水稻钵苗拔苗动力学分析可知, 影响拔苗效果的主要因素为夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角。根据《水稻插秧机技术条件》(GB/T20864—2007)的要求, 水稻钵苗夹持拔苗装置作业时, 对秧苗的损伤数、遗留在育秧盘的钵苗数应越小越好, 秧苗株距合格率应越大越好, 因而选取秧苗损伤率  $Y_1$ 、漏拔率  $Y_2$ 、秧苗株距合格率  $Y_3$  作为评价指标, 进行单因素和多因素试验。

##### 3.2.1 单因素试验

分别考查夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角对秧苗损伤率、漏拔率、秧苗株距合格率的影响。依

据文献[14-15], 夹持同步带线速度调节至 0.08 m/s, 1) 设定柔性材料为海绵, 夹持间隙 0 mm, 调节起拔角 15°、30°、45°、60°、75°进行试验, 记录钵苗机械损伤数(秧苗折断数量和 1 周后枯萎数量)、漏拔数及每株钵苗落到的时间差; 2) 设定柔性材料为海绵, 选取第 1 组最佳起拔角, 以两同步带接触夹持间隙定义为 0 mm, 分别取夹持间隙 0.5、0.25、0、-0.25、-0.5 mm 进行试验; 3) 保持最佳起拔角和最佳夹持间隙, 分别对海绵、红胶、普通橡胶 3 种柔性材料进行试验, 观察并记录试验数据。

##### 3.2.2 多因素试验

对夹持间隙、夹持柔性材料、起拔角采用三因素三水平  $L_9(3^4)$  正交试验<sup>[16]</sup>。试验因素及水平如表 1 所示。

表 1 试验因素及水平

水平	夹持柔性材料	夹持间隙/mm	起拔角/(°)
1	普通橡胶	-0.25	30
2	红胶	0.00	45
3	海绵	0.25	60

### 3.3 结果与分析

#### 3.3.1 单因素试验结果

1) 起拔角对秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率的影响。试验结果(图 3)表明, 当起拔角为 15°~45°时, 秧苗损伤率呈减小趋势; 当起拔角大于 45°~75°时, 秧苗损伤率逐渐增加。当起拔角逐渐变大时, 秧苗漏拔率呈减小趋势, 秧苗株距合格率逐步提高。综合比较, 起拔角取 35°~60°为宜。

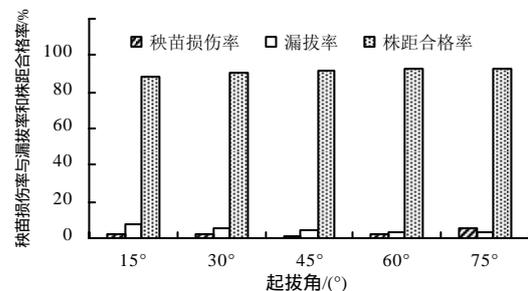


图 3 不同起拔角的秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率  
Fig.3 The injury rate of seedling, the leakage rate of seedling and the qualified rate of seedling with different lifting angle

2) 夹持间隙对秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率的影响。由图 4 可知, 当夹持间隙为 0.5~0

mm 时 秧苗漏拔率逐渐降低,当夹持间隙小于 0 mm 时,秧苗漏拔率趋近于 0。当夹持间隙为 0.5~ -0.25 mm,秧苗损伤率不断增加;当夹持间隙小于-0.25 mm 后,秧苗损伤率大幅提高。当夹持间隙大于 0.25 mm 时,秧苗株距合格率急剧下降,当夹持间隙小于 0.25 mm 时,秧苗株距合格率呈上升趋势,并渐趋稳定。综合比较,夹持间隙取-0.25~0.25 mm 为宜。

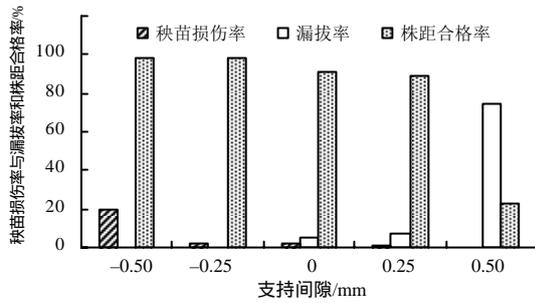


图 4 不同夹持间隙的秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率

Fig.4 The injury rate of seedling, the leakage rate of seedling and the qualified rate of seedling with different clamping gap

3) 夹持柔性材料对秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率的影响。由图 5 可知,柔性材料为普通橡胶时,秧苗损伤率和漏拔率较海绵和红胶高,株距合格率较低。当柔性材料为海绵时,秧苗损伤率最小。当柔性材料为红胶时,漏拔率最低,秧苗株距合格率最高。综合比较,以秧苗损伤率低为原

则,柔性材料选择海绵为宜。

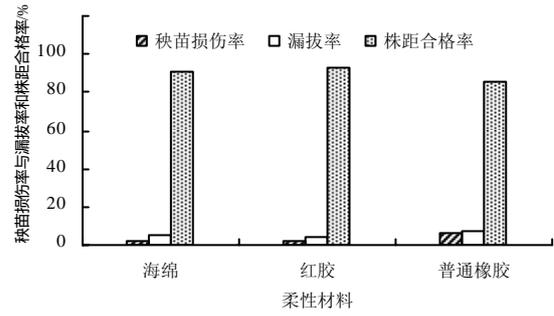


图 5 不同夹持柔性材料的秧苗损伤率和漏拔率及秧苗株距合格率

Fig.5 The injury rate of seedling, the leakage rate of seedling and the qualified rate of seedling with different flexible material

3.3.2 正交试验结果

正交试验结果列于表 2。影响秧苗损伤率的因素大小依次为柔性材料、夹持间隙、起拔角,较低损伤率的最优组合为柔性材料为海绵、夹持间隙 0.25 mm 和起拔角 30°;影响秧苗漏拔率的因素大小依次为夹持间隙、柔性材料、起拔角,较低漏拔率的最优组合为柔性材料为红胶、夹持间隙-0.25 mm 和起拔角 45°;影响秧苗株距合格率的因素大小依次为夹持间隙、柔性材料、起拔角,秧苗株距合格率较大的最优组合为柔性材料为红胶、夹持间隙 0 mm 和起拔角 45°。

表 2 正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal test

试验号	夹持柔性材料	夹持间隙/mm	起拔角/(°)	损伤率/%	漏拔率/%	秧苗株距合格率/%
1	普通橡胶	-0.25	30	10.00	1.00	94.00
2	普通橡胶	0.00	45	5.00	6.25	90.75
3	普通橡胶	0.25	60	3.75	8.75	86.25
4	红胶	-0.25	45	2.75	0.00	97.50
5	红胶	0.00	60	3.75	3.00	94.50
6	红胶	0.25	30	2.00	6.25	91.75
7	海绵	-0.25	60	3.00	0.00	98.00
8	海绵	0.00	30	2.00	5.00	91.00
9	海绵	0.25	45	1.50	6.25	90.80
损伤率 K <sub>1</sub>	18.75	16.75	14.00			
K <sub>2</sub>	8.50	9.75	10.25			
K <sub>3</sub>	6.50	7.25	9.50			
极差	4.08	3.16	1.25			
漏拔率 K <sub>1</sub>	16.00	1.00	12.25			
K <sub>2</sub>	9.25	14.25	12.50			
K <sub>3</sub>	11.25	21.25	11.75			
极差	1.58	6.75	0.25			
株距合格率 K <sub>1</sub>	271.00	289.50	276.75			
K <sub>2</sub>	283.75	276.25	279.05			
K <sub>3</sub>	297.80	268.80	278.75			
极差	4.25	6.90	0.76			

对秧苗损伤率、漏拔率和秧苗株距合格率的方差分析(表3)表明,95%的置信度下,夹持柔性材料和夹持间隙对秧苗损伤率的影响显著,起拔角对秧苗损伤率的影响不显著。夹持间隙对秧苗漏拔率有

极显著的影响,夹持柔性材料的影响显著,起拔角的影响不显著。夹持间隙对秧苗株距合格率有极显著的影响,夹持柔性材料的影响显著,起拔角的影响不显著。

表3 秧苗损伤率和漏拔率及株距合格率的方差分析

指标	方差来源	SS	DF	MS	F	显著性
损伤率	夹持柔性材料	28.792	2	14.396	13.683	*
	夹持间隙	16.167	2	8.083	7.683	*
	起拔角	3.875	2	1.938	1.842	
	误差 $e$	4.542	2	2.271		
	误差 $e^{\Delta}$	8.417	4	2.104		
漏拔率	夹持柔性材料	8.014	2	4.007	7.303	*
	夹持间隙	70.510	2	35.257	64.266	**
	起拔角	0.097	2	0.049	0.088	
	误差 $e$	2.097	2	1.019		
	误差 $e^{\Delta}$	2.194	4	0.549		
株距合格率	夹持柔性材料	28.401	2	14.200	7.915	*
	夹持间隙	73.284	2	36.642	20.424	**
	起拔角	1.042	2	0.521	0.290	
	误差 $e$	6.134	2	3.067		
	误差 $e^{\Delta}$	7.176	4	1.794		

综合分析各因素影响大小、各较优组合形式以及因素影响的显著性,可知夹持间隙对秧苗损伤率、漏拔率及秧苗株距合格率的影响较大,其次为夹持柔性材料和起拔角。确定正交试验最优组合为夹持柔性材料选择海绵、夹持间隙为0 mm、起拔角为30°,此时秧苗的损伤率为2.00%,漏拔率为5.00%,秧苗株距合格率为91.00%。

#### 参考文献:

- [1] 栾峰,李丹.水稻钵苗机械化移栽技术研究[J].农业科技与装备,2015(4):35-37.
- [2] 闫加永,李晓光.水稻钵盘育苗机械插秧对比试验[J].现代农业科技,2013(7):18-20.
- [3] 李建桥,张国凤,陈建能,等.钵苗有序移栽机构的研究进展及应用展望[J].农机化研究,2008,32(2):1-5.
- [4] 张冕,姬江涛,杜新武.国内外移栽机研究现状与展望[J].农业工程,2012,6(2):21-23.
- [5] 肖名涛,孙松林,王金葵,等.小型幼苗移栽机的设计及试验[J].农机化研究,2012,36(11):95-99.
- [6] 谢方平,罗锡文,卢向阳,等.基于能量守恒的柔性脱粒动力学分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(2):181-184.
- [7] 林兆花.水稻移栽机有序行抛秧机构的虚拟研究[D].南宁:广西大学,2004.
- [8] 马瑞峻,区颖刚,赵闯喜,等.穴盘水稻秧苗拔断力学特性的试验研究[J].农业机械学报,2004,35(1):56-59.
- [9] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册[K].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [10] 庞晓远.油菜钵苗移栽机取苗输送装置试验研究[D].长沙:湖南农业大学,2013.
- [11] 宋建农,刘小伟,庄乃生,等.水稻钵苗行栽机试验[J].江苏大学学报(自然科学版),2005,26(3):189-192.
- [12] 张曲.步行式窄行距插秧机分插机构及相关部件的设计与试验[D].南昌:江西农业大学,2014.
- [13] 杨彪,孙松林,李军政,等.烟草拔杆机构切萁装置的设计与试验[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(4):446-449.
- [14] 谭艳红.水稻抛秧机关键部件机构设计与试验研究[D].长沙:湖南农业大学,2016.
- [15] 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等.农作物茎秆的力学特性研究进展[J].农业机械学报,2007,38(7):172-176.
- [16] 陈魁.试验设计与分析[M].北京:清华大学出版社,2005.

责任编辑:罗慧敏  
英文编辑:吴志立