

水稻秧盘育秧精密播种流水线软硬秧盘自动叠放装置

马旭^{1,2} 谭永炘¹ 齐龙^{1,2} 鹿芳媛¹ 孙国栋¹ 陈桂生¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128)

摘要: 设计了一种能实现水稻秧盘育秧精密播种流水线硬、软秧盘自动叠放的装置,有效地提高了流水线的生产率,并减轻了劳动强度。该装置以可编程控制器 PLC 为控制核心,由接近开关检测待叠秧盘,控制秧盘升降机构实现秧盘升降的自动叠放,采用土壤防漏机构的气动移动盖板来防止秧盘内的土壤在叠盘过程中发生侧漏而使种子外露。为检测自动叠盘装置的工作性能,以叠盘成功率及种子外露率为指标,以秧盘升降机构的升降速度、盖板方式和升降速度对种子外露率影响较大;当升降速度为 0.15 m/s、采用气动移动盖板和生产率为 600~800 盘/h 时,硬、软秧盘的叠盘成功率分别为 100% 与 99%~100%;硬、软秧盘的种子外露率最大分别为 0.28% 与 0.60%,试验指标满足水稻秧盘育秧精密播种流水线育秧技术使用要求。

关键词: 水稻播种流水线; 秧盘; 自动叠盘; 防漏机构

中图分类号: S233.71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0029-08

Automatic Tray Stacking Device for Hard and Soft Tray of Rice Precision Seeding for Nursing Seedlings Pipeline

Ma Xu^{1,2} Tan Yongxin¹ Qi Long^{1,2} Lu Fangyuan¹ Sun Guodong¹ Chen Guisheng¹

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha 410128, China)

Abstract: At present, most of the work that taking trays out from the rice nursery seedling planter is completed one by one manually, which is labor-intensive and inefficient. There are some tray stackers can realize the function of automatic stacking, but the existing devices are only suitable for hard trays. Aiming at above problems, the automatic tray stacking device of rice precision seeding for nursing seedlings pipeline, suitable for both hard and soft trays, was developed to improve productivity and reduce labor intensity. According to the characteristics of common hard tray, the pallet of soft tray was developed for stacking. Besides, the transportation mechanism was designed through analyzing the conveying model. Based on the programmable logic controller (PLC), the trays were detected by a proximity switch of the control system, and the tray stacking mechanism was controlled to lift and drop the trays to achieved the tray stacking automatically (2~4 trays per stack is available). In addition, the cover plate of the soil anti-falling mechanism was controlled to lift after stacking and finally the device can effectively prevent the soil falling out of the tray in the process of stacking that lead to seeds exposed. For detecting the performance of automatic tray stacking device, the orthogonal experiment was carried out which regarded stacking success rate and seeds exposed rate as indexes and regarded the lifting speed of tray stacking mechanism, cover plate installation conditions and productivity as factors. Orthogonal experiment results showed that the lifting speed had more influence on success rate while the lifting speed

收稿日期: 2015-09-06 修回日期: 2015-10-24

基金项目: 广东省科技计划项目(2014B020207002)、国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA10A501)、公益性行业(农业)科研专项(201203059)和现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-01-33)

作者简介: 马旭(1959—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业技术装备研究,E-mail: maxu1959@scau.edu.cn

and cover plate installation conditions had more influence on seeds exposed rate. When the lifting speed was 0.15 m/s, the cover plate installing with pneumatic cylinder and the productivity was 600 ~ 800 trays per hour, the stacking success rate of hard tray and soft tray was 100% and 99% ~ 100% respectively while the seeds exposed rate was 0.28% and 0.60% respectively. The automatic tray stacking device can effectively raise productivity and reduce labor intensity, and the experimental indexes meet the using requirements of rice precision seedling.

Key words: rice nursing seedlings pipeline; tray; automatic tray stacking; anti-falling mechanism

引言

水稻工厂化育秧是水稻机械化生产过程中的关键环节,广泛采用的育秧流水线主要包括秧盘运送、铺底土、压实、播种、覆表土、淋洒水、取盘等工序^[1-3]。现有的水稻育秧播种流水线大多由人工逐个取盘,不仅劳动强度大,容易造成疲劳损伤,而且制约着工厂化育秧的生产效率^[4](如人工取盘最高生产率 500 盘/h;而自动叠盘装置如配有自动输送与摆盘系统,可达 1500 盘/h)。因此,为提高水稻育秧播种流水线自动化程度及作业效率,降低劳动强度,需要进行水稻育秧播种流水线自动叠盘装置的研究。

目前,国内外秧苗育秧播种流水线有多种,一些流水线上有自动叠盘装置。如日本水稻育秧装备发展较好,已公开几种自动叠盘装置的专利^[5-7],其中久保田公司研制的 S-ST 系列自动叠盘装置^[8]和洋马公司研制的 YAS 系列自动叠盘装置^[9],具有自动化程度高、工作效率高等优点,但未见在国内应用和推广。台湾亦祥企业有限公司研制的气动式叠盘机,主要由胶带输送秧盘,气缸提供动力进行叠盘作业^[10];台州市一鸣机械设备有限公司研制的苗盘叠盘机构,采用电动机驱动升降机构进行秧盘堆叠作业^[11];浙江理工大学研制的拨轮式秧盘叠盘机,利用前后拨轮上边轴的同步转动实现叠盘^[12]。上述机型都能实现秧盘自动叠放的功能,且不同原理的叠盘装置适用的生产率也不同,但现有的装置都局限于硬秧盘作业,未见其应用于软秧盘作业。

当前国内从轻简化栽培出发,多数地区主要使用软秧盘来降低育秧成本^[13-15]。然而,由于软秧盘盘体软弱,流水线播种时需要设计特殊的托盘才能进行叠盘作业。还有,在自动叠盘过程中,若提高叠盘生产率,则叠盘的速度要提高,产生的冲击也会随之增大,使叠盘中顶层秧盘的土壤容易发生侧漏,而导致种子外露,影响秧苗生长,尤其是软秧盘更容易受冲击影响。针对上述问题,本文设计水稻秧盘育秧精密播种流水线的自动叠盘装置,该装置利用接近开关检测秧盘信号,通过 PLC 控制秧盘升降机构

升降秧盘来实现硬、软秧盘的快速自动叠放,由土壤防漏机构的气动移动盖板来防止秧盘内土壤在叠盘过程中发生侧漏导致表土不足而使种子外露。

1 总体结构与工作原理

水稻秧盘育秧精密播种流水线自动叠盘装置主要由空气压缩机、秧盘输送机构、秧盘升降机构、土壤防漏机构、电控箱、机架、电动机等组成,如图 1 所示。

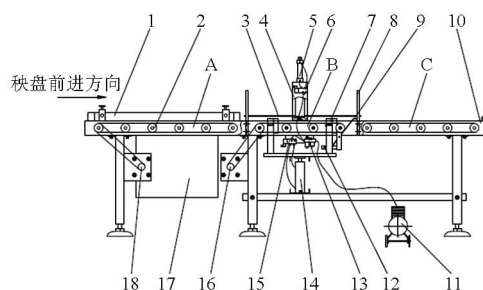


图 1 自动叠盘装置结构简图

Fig. 1 Structure of automatic stacker device

1. 导向板 2. 橡胶辊轮 3. 盖板 4. 土壤防漏机构 5. 盖板升降气缸 6. 盖板电磁阀 7. 秧盘升降机构 8. 滑轨 9. 接触板 10. 机架 11. 空气压缩机 12. 接近开关 13. 气源处理件 14. 秧盘升降气缸 15. 叠盘电磁阀 16. 电动机 M1 17. 电控箱 18. 电动机 M2

该装置工作原理如下:启动电动机 M1 和电动机 M2,空气压缩机调整至正常工作压力,选择每次叠盘个数(2~4 个)。工作时,秧盘在播种覆土完成后进入到由电动机 M2 驱动的秧盘输送机构前输送段 A 上,由橡胶辊轮带动秧盘在导向板的作用下加速行进,当秧盘进入中间输送段 B 并按压接触板时,接近开关检测到秧盘信号,电控箱里的可编程控制器 PLC 控制电动机 M1 断电停机,由电动机 M1 带动的橡胶辊轮停止转动,秧盘停留在中间输送段 B 上,同时 PLC 控制叠盘电磁阀切换气路,秧盘升降气缸的活塞杆上伸,带动秧盘升降机构顶起秧盘,滑轨上的盖板覆盖在秧盘上并能随之上下滑动,此时秧盘与接触板分离,接近开关断开,电动机 M1 重新转动,带来下一个待叠秧盘,待叠秧盘再次按压接触板,电动机 M1 停转,叠盘电磁阀复位,秧盘和盖

板随秧盘升降机构下降,两秧盘叠放在一起,经延迟稳定后叠盘电磁阀切换气路,秧盘升降机构再次顶起两秧盘及盖板,如此往复升降秧盘,直至接近开关检测到预设叠盘个数的秧盘时,电动机 M1 停止转动,叠盘电磁阀复位,所叠秧盘下降并放在橡胶辊轮上,此时 PLC 控制盖板电磁阀切换气路,盖板升降气缸的活塞杆收缩,盖板被提起,同时电动机 M1 重新转动,把已叠好的秧盘送入到由电动机 M2 驱动的秧盘输送机构后输送段 C 上,当秧盘与接触板分离,PLC 把所有控制元件复位,完成一次叠盘作业。叠盘过程示意图见图 2。

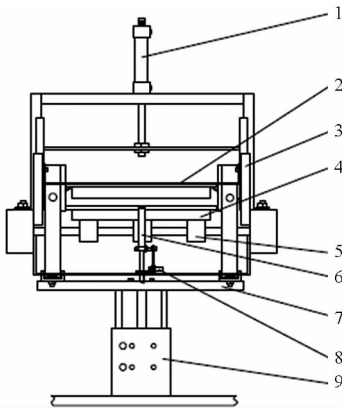


图 2 叠盘过程示意图
Fig.2 Diagram of stacking process

1. 盖板升降气缸 2. 盖板 3. 滑轨 4. 秧盘 5. 橡胶辊轮
6. 接触板 7. 秧盘升降机构 8. 接近开关 9. 秧盘升降气缸

2 关键部件设计

自动叠盘装置的关键部件设计包括:软秧盘托盘、秧盘输送机构、秧盘升降机构、土壤防漏机构以及控制系统等。

2.1 软秧盘托盘设计

现有常用的软秧盘主要有毯状或钵体毯状软秧盘(585 mm × 290 mm × 25 mm)和钵体软秧盘(590 mm × 285 mm × 22 mm),为了使硬、软秧盘在自动叠盘过程中具有通用性,参考标准硬塑秧盘(600 mm × 300 mm × 35 mm)的外形尺寸,设计了一种软秧盘托盘,如图 3 所示,本托盘是只有 3 侧护沿的聚丙烯硬塑盘(590 mm × 300 mm × 35 mm),方便软秧盘的放置和抽取,使用时直接把软秧盘放进托盘即可。本托盘不仅能满足常用软秧盘的叠盘要求,而且具有方便搬运、摆盘以及与硬秧盘通用性好等特点。

2.2 秧盘输送机构设计

2.2.1 秧盘输送机构组成

秧盘输送机构包括前输送段、中间输送段和后输送段 3 部分,其中前输送段和后输送段通过输送

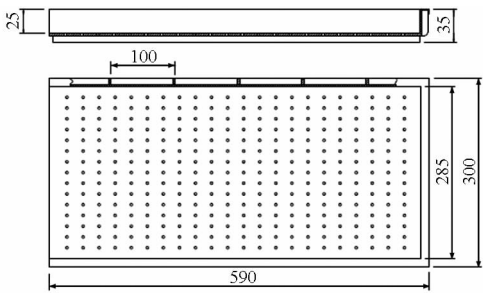


图 3 软秧盘托盘结构图
Fig.3 Structure of soft tray pallet

链连接,由电动机 M2 提供动力同步转动,中间输送段与电动机 M1 单独连接传动,如图 4 所示。秧盘在播种、覆土完成后进入到前输送段上,经前输送段加速进入中间输送段叠盘后,又进入到后输送段上,由于叠盘过程在中间输送段进行,需要通过 PLC 控制电动机 M1 在特定时间停止或启动,启动后中间输送段和前输送段速度一致。

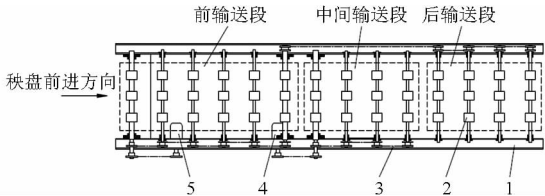


图 4 秧盘输送机构结构图
Fig.4 Structure of tray transportation mechanism

1. 机架 2. 橡胶辊轮 3. 输送链 4. 电动机 M1 5. 电动机 M2

2.2.2 秧盘输送机构的输送模型

通常,播种流水线上的秧盘是连续输送的,即秧盘间距为零,这可以保证连续播出的种子和土壤落入连续的秧盘,避免浪费,并有效地提高生产率。因此需要设计一定长度的前输送段,以增加秧盘的前进速度,使相邻两秧盘的间距在叠盘前增大,进而满足不同生产率的叠盘要求。图 5 是秧盘进入秧盘输送机构的加速过程。

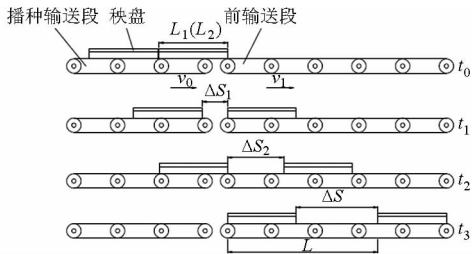


图 5 秧盘在前输送段上的加速过程
Fig.5 Trays acceleration process in front transportation

若 t_0 表示秧盘刚进入前输送段的时刻,此时秧盘间距为零,播种输送段秧盘速度为

$$v_0 = \frac{L_1 Q}{3600} \tag{1}$$

式中 v_0 ——播种输送段秧盘速度, m/s
 Q ——生产率, 盘/h

L_1 ——每个秧盘长度, m, 通常每个标准硬秧盘长度为 0.6 m

假设秧盘加速过程为匀加速运动, 若 t_1 表示前一个秧盘完全进入前输送段的时刻, 则 t_1 时刻两秧盘的间距为

$$\Delta S_1 = \frac{(v_0 + v_1) \Delta t_1}{2} - v_0 \Delta t_1 \quad (2)$$

其中 $\Delta t_1 = t_1 - t_0$
式中 v_1 ——前输送段秧盘速度, m/s

Δt_1 —— t_0 时刻到 t_1 时刻所用时间, s

若 t_2 表示后一个秧盘刚开始进入前输送段的时刻, 此时两秧盘的间距为

$$\Delta S_2 = (v_1 - v_0) \Delta t_2 + \Delta S_1 \quad (3)$$

其中 $\Delta t_2 = t_2 - t_1$

式中 Δt_2 —— t_1 时刻到 t_2 时刻所用时间, s

若 t_3 表示后一个秧盘完全进入前输送段的时刻, 此时两秧盘的间距为

$$\Delta S = v_1 \Delta t_3 - \frac{(v_0 + v_1) \Delta t_3}{2} + \Delta S_2 \quad (4)$$

其中 $\Delta t_3 = t_3 - t_2$ $\Delta t_3 = \Delta t_1$

式中 ΔS ——两秧盘的最大间距, m

Δt_3 —— t_2 时刻到 t_3 时刻所用时间, s

据以上描述和图 4 可以看出, 从 t_0 时刻到 t_2 时刻所用的时间恰好是秧盘在播种输送段上走过一个秧盘的长度, 所以应满足

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{L_2}{v_0} \quad (5)$$

式中 L_2 ——单个秧盘长度, m

要使自动叠盘装置正常工作, 秧盘在前输送段上的间距应该满足

$$\Delta S \geq v_1 t \quad (6)$$

式中 t ——相邻两秧盘在前输送段上间隔时间, s

在叠盘过程中, 当叠盘数为 3 或 4 个时, 秧盘有先下降再升起动作(如叠盘数为 3 时, 则叠放第 2 个秧盘时需先下降后上升), 即后一个秧盘在输送时不能干涉到前一个秧盘升降过程, 此时的间隔时间应满足

$$t \geq \frac{2I}{v_s} + t_d \quad (7)$$

式中 I ——气缸行程, m

v_s ——秧盘升降速度, m/s

t_d ——设定的延迟稳定时间, s

由公式(1)~(6)得出前输送段秧盘速度为

$$v_1 \geq \frac{L_2 v_0}{L_2 - v_0 t} \quad (8)$$

由图 4 中 t_3 时刻秧盘的位置及公式(1)~(5)

可得前输送段的长度应满足

$$L \geq \Delta S + L_2 = \frac{L_2 v_1}{v_0} \quad (9)$$

式中 L ——前输送段的长度, m

2.3 秧盘升降机构设计

秧盘升降机构由秧盘升降气缸、气缸连接板、立柱连接板、立柱、升降转指、销钉、扭转弹簧、限位板等构成, 如图 6 所示。在叠盘过程中, 秧盘升降气缸活塞杆带动立柱升降, 立柱上的升降转指刚好能卡在秧盘两边缘以顶起秧盘, 当升降转指下降碰到待叠秧盘边缘时, 能绕销钉向上转动, 并能靠安装在升降转指上的扭转弹簧复位, 通过秧盘升降机构能实现秧盘的自动叠放。根据硬秧盘的外形尺寸, 设计升降转指升起高度 H 为 85 mm, 即秧盘升降气缸行程选择 85 mm。

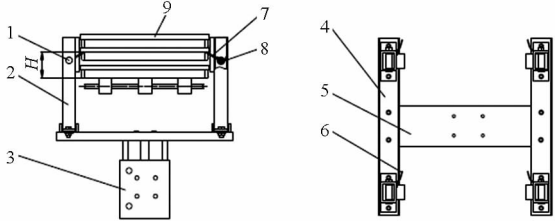


图 6 秧盘升降机构

Fig. 6 Tray lifting and falling mechanism

1. 销钉 2. 立柱 3. 秧盘升降气缸 4. 立柱连接板 5. 气缸连接板 6. 限位板 7. 升降转指 8. 扭转弹簧 9. 秧盘

2.4 土壤防漏机构设计

为防止秧盘内土壤在叠盘过程中发生侧漏导致表土不足使种子外露, 影响秧苗生长, 尤其是软秧盘叠盘时更容易种子外漏, 因此设计了土壤防漏机构加以保护。土壤防漏机构由固定架、盖板升降气缸、盖板、盖板提爪、滑轨等构成, 如图 7 所示。在叠盘过程中, 盖板压在最顶层秧盘并随之升降, 当叠盘完成后, 盖板升降气缸活塞杆收缩, 带动盖板提爪把盖板提起, 等秧盘输送走后复位。盖板能完全覆盖秧盘, 防止最顶层秧盘内土壤在叠盘过程中因振动发生侧漏使种子外露。

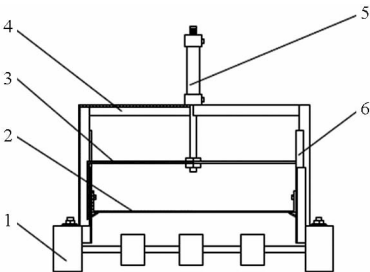


图 7 土壤防漏机构

Fig. 7 Soil anti-falling mechanism

1. 机架 2. 盖板 3. 盖板提爪 4. 固定架 5. 盖板升降气缸 6. 滑轨

2.5 控制系统设计

自动叠盘装置的控制系統主要包括：控制核心 PLC，叠盘个数选择按钮 sb1、sb2、sb3，NPN 型接近开关，叠盘开关，电动机开关，电动机 M1，电动机 M2，叠盘电磁阀，盖板电磁阀，继电器等，具体接线如图 8 所示。

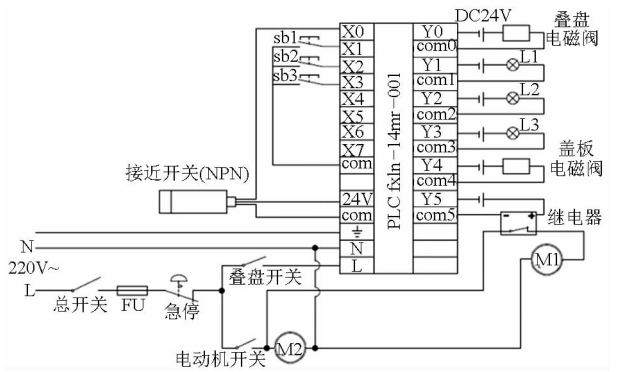


图 8 控制系统接线图
Fig. 8 Wiring diagram of control system

具体控制流程如下：接通总开关和电动机开关，秧盘输送机构启动，电动机 M1 和电动机 M2 运转；启动叠盘开关，PLC 通电，通过按钮 sb1、sb2、sb3 可选择不同的叠盘个数（分别对应叠 2 盘、叠 3 盘、叠 4 盘），选择后对应的指示灯 L1、L2、L3 变亮；当接近开关检测到待叠首秧盘时，PLC 控制 Y5 使继电器断开，电动机 M1 停转，同时 Y0 的叠盘电磁阀切换气路，顶起秧盘，Y5 复位，电动机 M1 转动；当接近开关检测到下一个待叠秧盘时，Y5 断开，电动机 M1 停转，Y0 的叠盘电磁阀先复位，延迟设定时间后再次切换气路，即上一个秧盘先放在下一个秧盘上然后一起被顶起，Y5 复位，电动机 M1 转动；如此循环直到检测到待叠末秧盘时，Y5 断开，电动机 M1 停转，Y0 的叠盘电磁阀复位，所叠秧盘放在输送辊轮上；这时，Y5 复位，电动机 M1 转动，同时 Y4 的盖板电磁阀切换气路，盖板被提起来，叠好的秧盘被输送到后输送段上，PLC 控制所有元件复位，完成一次叠盘作业。控制流程如图 9 所示。

3 试验材料与方法

3.1 试验材料

为检测整机性能，设计了水稻秧盘育秧精密播种流水线的自动叠盘装置，硬秧盘选用标准硬塑秧盘，如图 10a 所示；毯状或钵体毯状软秧盘直接放在所设计的托盘上使用（图 10b）；钵体软秧盘由于高度不同，对于小于标准秧盘高度的软盘，在使用时需要在托盘内安装垫板，图 10c 所示为试验时用的配有托盘的钵体软秧盘，由于高度与标准秧盘高度相差不多，因此可直接放在托盘上使用。试验土壤为

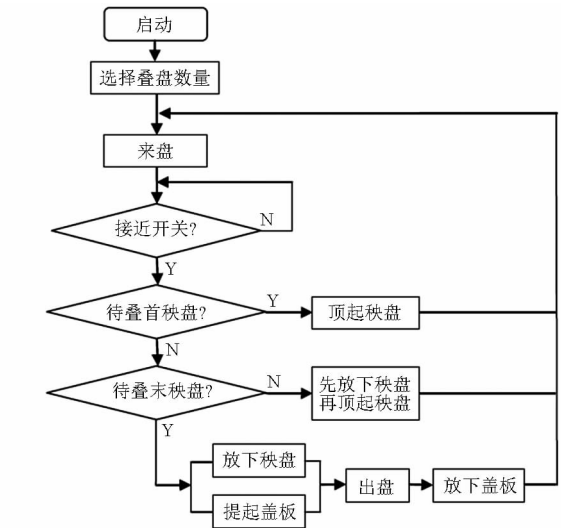


图 9 控制系统工作流程图
Fig. 9 Flowchart of control system

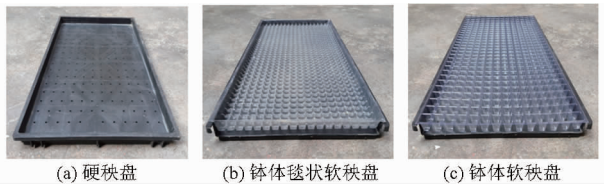


图 10 试验秧盘
Fig. 10 Experiment trays

稻田沙壤土，经过粉碎处理后，过孔径为 5 mm 的筛^[16]，含水率为 10% ~ 15%。

3.2 试验指标

以叠盘成功率和种子外露率作为自动叠盘装置的性能指标，其定义与计算方法如下：

(1) 叠盘成功率

叠盘成功率是指叠盘成功数与总叠盘数的百分比，叠盘成功定义为每次叠盘数符合设定，秧盘正常升落，不脱盘，叠好的秧盘前后对齐，错位不超过 1 cm。叠盘成功率计算公式为

$$Y_1 = \frac{N_1}{N_0} \times 100\% \tag{10}$$

式中 N_0 ——总叠盘数 N_1 ——叠盘成功数

(2) 种子外露率

种子外露是指在叠盘过程中顶层秧盘土壤会因振动发生侧漏，使表土厚度变薄甚至露出种子的现象；因为设计有土壤防漏机构，经试验得知土壤侧漏主要发生在顶层秧盘前端和后端边缘区域，因此分别选取秧盘前、后 3 排统计种子外露。种子外露率是指选取区域的种子外露穴数与总穴数的百分比，种子外露率计算公式为

$$Y_2 = \frac{N_3}{N_2} \times 100\% \tag{11}$$

式中 N_2 ——选取区域的总穴数，穴
 N_3 ——选取区域的种子外露穴数，穴

3.3 试验因素

根据自动叠盘装置的结构组成及其工作原理,以及初步试验发现,秧盘升降机构的升降速度、生产率和盖板方式对叠盘性能指标影响较大,为此需进行深入试验研究。

(1) 升降速度

秧盘升降机构的升降速度和生产率影响前输送段的长度,同时升降速度对叠盘性能也有一定影响。在同一生产率下,升降速度过慢则需要增加前输送段的长度;过快则会在叠盘过程中对秧盘冲击过大,影响叠盘效果。考虑生产率为 800 盘/h 对前输送段的长度进行设计,根据公式(9),可以得出

$$L \geq \Delta S + L_2 = \frac{L_2^2}{L_2 - \frac{L_1 Q}{3\,600} \left(\frac{2I}{v_s} + t_d \right)} \quad (12)$$

以秧盘升降速度为横坐标,前输送段的长度为纵坐标,绘制关系曲线图,如图 11 所示,当生产率为 800 盘/h 时,前输送段长度 1 m(图中虚线为分界线,对应升降速度为 0.11 m/s)以下的曲线趋向平稳,即随着升降速度的增加,前输送段长度变化较小,因此在实际中前输送段的长度设计为 1 m。综上,为了分析升降速度对叠盘性能的影响,分别选择 0.15、0.25、0.35 m/s 3 个水平进行试验。由于气缸切换气路时存在延迟稳定时间($t_d = 0.2\text{ s}$),按式(7)计算得出相邻两秧盘在前输送段对应的间隔时间 t 约为 1.3、0.9、0.7 s。

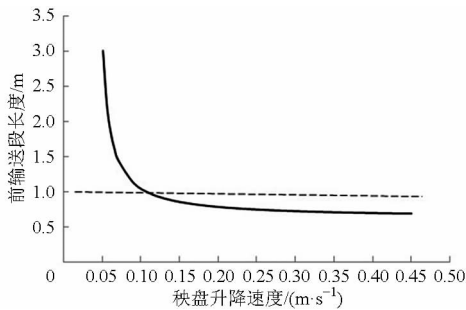


图 11 前输送段长度与秧盘升降速度关系曲线
Fig. 11 Relationship of front transportation length and tray lifting speed

(2) 生产率

根据实际生产需要,现有水稻播种流水线生产率一般为 400~600 盘/h,配套自动叠盘装置能在取盘环节提高播种流水线效率,但在没有配备相应的自动输送与摆盘系统时生产率过大也会加大劳动强度,因此,叠盘试验时生产率分别选择 600、700、800 盘/h 3 水平进行试验,即对应播种输送段秧盘速度 v_0 为 0.10、0.117、0.13 m/s。由于在同一生产率下,间隔时间 t 取 1.3 s 能同时满足 3 种升降速度

的秧盘升降要求,分别把 v_0 为 0.10、0.117、0.13 m/s 和 $t = 1.3\text{ s}$ 代入式(8)中,得到自动叠盘装置前输送段秧盘速度分别为 $v_1 \geq 0.128\text{ m/s}$ 、 $v_1 \geq 0.157\text{ m/s}$ 和 $v_1 \geq 0.181\text{ m/s}$ 。因此试验时选择前输送段秧盘速度分别为 0.14、0.17、0.20 m/s,以适应不同的生产率试验要求。

(3) 盖板方式

在叠盘过程中,最顶层秧盘动作次数多,受冲击影响较大,易产生表土变薄甚至露出种子的现象。为检验土壤防漏机构的保护作用,设置了 3 种不同的盖板方式进行试验分析,3 个水平分别为无盖板、从动盖板(无动力驱动,盖板始终压在顶层秧盘上)和气动移动盖板(采用气力驱动,盖板始终压在顶层秧盘上,当秧盘最后输送时盖板提起)。

综上,得出 3 种主要试验因素及其水平,如表 1 所示。

表 1 试验因素与水平
Tab. 1 Test factors and levels

水平	因素		
	生产率 $A/(\text{盘} \cdot \text{h}^{-1})$	升降速度 $B/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	盖板方式 C
1	600	0.15	无盖板
2	700	0.25	从动盖板
3	800	0.35	气动移动盖板

4 试验安排与结果

样机试验地点为华南农业大学工程学院实验室,试验装置及试验现场如图 12 所示。配合华南农业大学研制的 2SJB-500 型水稻秧盘育秧精密播种流水线使用,把流水线生产率调至 600~800 盘/h,流水线覆土、播种等部件调至正常工作状态,硬秧盘和软秧盘分别采用毯状盘 18 行和钵体盘 14 行条播的精密播种方式。自动叠盘装置每次叠盘个数选择 4 个,分别对硬秧盘和软秧盘进行试验,每次各测试 100 个秧盘,记录叠盘成功率,并随机抽取其中 10 组顶层秧盘记录种子外露数,统计分析试验结果,试验安排与结果如表 2 所示。

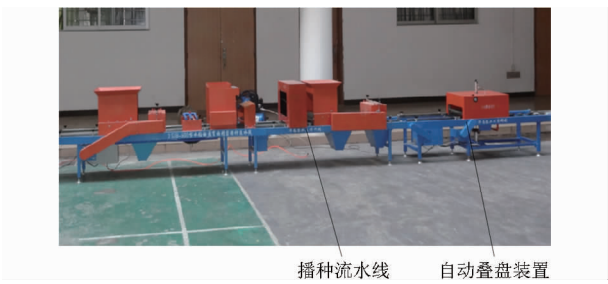


图 12 育秧与自动叠盘装置试验现场
Fig. 12 Test on automatic stacker device

表 2 秧盘叠盘正交试验安排与结果

Tab.2 Arrangement and results of tray stacking orthogonal experiment

序号	生产率		升降速度	盖板方式	硬秧盘叠盘	软秧盘叠盘	硬秧盘种子	软秧盘种子
	$A/(\text{盘}\cdot\text{h}^{-1})$		$B/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	C	成功率/%	成功率/%	外露率/%	外露率/%
1	600		0.15	无盖板	100	100	1.48	2.86
2	600		0.25	从动盖板	99	99	2.13	4.40
3	600		0.35	气动移动盖板	97	96	2.50	4.64
4	700		0.15	从动盖板	100	99	0.83	1.67
5	700		0.25	气动移动盖板	98	98	1.02	2.26
6	700		0.35	无盖板	97	96	5.74	9.64
7	800		0.15	气动移动盖板	100	99	0.28	0.60
8	800		0.25	无盖板	98	98	3.98	7.14
9	800		0.35	从动盖板	97	96	3.80	6.79
Y_1	K_1	296, 295	300, 298	295, 294				
	K_2	295, 293	295, 295	296, 294				
	K_3	295, 293	291, 288	295, 293				
	k_1	98.67, 98.33	100, 99.33	98.33, 98				
	k_2	98.33, 97.67	98.33, 98.33	98.67, 98				
	k_3	98.33, 97.67	97, 96	98.33, 97.67				
	R_1	0.34, 0.66	3.00, 3.33	0.34, 0.33				
Y_2	K_1	6.11, 11.90	2.59, 5.13	11.20, 19.64				
	K_2	7.59, 13.57	7.13, 13.80	6.76, 12.86				
	K_3	8.06, 14.53	12.04, 21.07	3.80, 7.50				
	k_1	2.04, 3.97	0.86, 1.71	3.73, 6.54				
	k_2	2.53, 4.52	2.37, 4.60	2.25, 4.29				
	k_3	2.69, 4.84	4.01, 7.02	1.26, 2.50				
	R_2	0.65, 0.87	3.15, 5.31	2.47, 4.04				

注: K_i 为因素第*i*水平试验结果之和, k_i 为因素第*i*水平试验结果均值; K_i 和 k_i 中逗号左、右代表硬、软秧盘的试验数据。

表 2 的试验结果表明：

(1)各因素对硬和软秧盘叠盘性能的影响趋势一致：①各因素对叠盘成功率影响的主次顺序均为升降速度、生产率、盖板方式；随着升降速度的增大，叠盘成功率减小，这是由于升降速度的增大使升降转指作用在秧盘边缘时的准确度和稳定性有所下降（更容易出现在变形或破损的秧盘上，因此在使用自动叠盘装置时应尽量选择变形或破损较小的秧盘）；生产率和盖板方式对叠盘成功率的影响较小。②各因素对种子外露率影响的主次顺序均为升降速度、盖板方式、生产率；随着升降速度的增大，种子外露率增大，这是因为秧盘受到更大的冲击导致更多土壤的侧漏而使种子外露率增大；不同的盖板方式对种子外露率也有较大的影响，无盖板时种子外露率最大，从动盖板时居中，气动移动盖板时最小；生产率的变化对种子外露率影响不明显。

(2)可以看出，对于叠盘成功率和种子外露率的较优组合分别为 $A_1B_1C_2$ 和 $A_1B_1C_3$ ，由于盖板方式对叠盘成功率影响很小，综合两指标的较优组合为 $A_1B_1C_3$ ；由于生产率对两指标的影响均不明显，为了进一步验证，在同等条件下补充 $A_1B_1C_3$ 和 $A_2B_1C_3$

组合的自动叠盘试验，试验结果表明，当生产率为 600 盘/h、升降速度为 0.15 m/s 和采用气动移动盖板时，硬、软秧盘的叠盘成功率均为 100%，种子外露率分别为 0.09% 和 0.24%；生产率为 700 盘/h、升降速度为 0.15 m/s 和采用气动移动盖板时，硬、软秧盘的叠盘成功率均为 100%，种子外露率分别为 0.19% 和 0.48%。可见，随着生产率增大，叠盘成功率略微减小，种子外露率略微增大，因此在生产率为 600 ~ 800 盘/h、升降速度为 0.15 m/s 和采用气动移动盖板时，硬、软秧盘的叠盘成功率分别为 100%、99% ~ 100%；硬、软秧盘的种子外露率最大分别为 0.28%、0.60%；表明该装置性能优良，试验指标满足水稻秧盘育秧精密播种流水线育秧技术使用要求。

5 结论

(1)设计了一种能实现水稻秧盘育秧精密播种流水线硬、软秧盘自动叠盘的装置，通过设计一种软秧盘托盘，满足了常用软秧盘的叠盘要求，并与常用硬秧盘通用；通过理论分析，建立了秧盘输送机构的输送模型，确定了秧盘输送机构的工作参数；研制了

以 PLC 为核心的控制系统,能准确地控制秧盘升降机构升降秧盘实现秧盘的自动叠放,并通过控制土壤防漏机构的气动移动盖板防止秧盘内土壤在叠盘过程中发生侧漏使种子外露。

(2)升降速度对叠盘成功率影响较大,盖板方式和升降速度对种子外露率影响较大;当升降速度

为 0.15 m/s、采用气动移动盖板和生产率为 600 ~ 800 盘/h 时,硬、软秧盘的叠盘成功率分别为 100%、99% ~ 100%;硬、软秧盘的种子外露率最大分别为 0.28%、0.60%;本装置有效地提高了育秧播种流水线的生产率,并减轻了劳动强度,试验指标满足水稻秧盘育秧精密播种流水线育秧技术使用要求。

参 考 文 献

- 1 周海波,马旭,姚亚利. 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008,24(4):301-306. ZHOU Haibo, MA Xu, YAO Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(4):301-306. (in Chinese)
- 2 孙勇飞,吴崇友,张文毅,等. 水稻育秧播种机的发展概况与趋势[J]. 农机化研究,2013(12):210-215. SUN Yongfei, WU Chongyou, ZHANG Wenyi, et al. Developing situation and tendency of rice seedling planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(12):210-215. (in Chinese)
- 3 CHIU Yi-Chieh, FON Din-Sue, WU Gang-Jhy. Development of an automatic pallet handling system for seeded trays[J]. Biosystems Engineering,2006,93(2):123-138.
- 4 曹林. 吸盘式水稻育秧播种机结构优化与播种性能试验[D]. 杭州:浙江大学,2014. CAO Lin. Structure optimization and seeding performance test of cupule-type rice seeder[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)
- 5 株式会社クボタ. 育苗箱積重ね機構:日本,2003246450[P]. 2003-09-02.
- 6 井關農機株式会社. 苗箱の段積装置:日本,200347343[P]. 2003-02-18.
- 7 ヤンマー農機株式会社. 箱体積載装置:日本,1056884[P]. 1998-03-03.
- 8 KUBOTA. 育苗箱自动積重ね装置[EB/OL]. <http://www.jnoui.kubota.co.jp/jnoui/html/sisetu/ikubyou/stacks/index.html>, 2015-03-01.
- 9 YANMAR. 育苗箱積重ね・棚入装置[EB/OL]. https://www.yanmar.com/jp/agri/implement/agri_implement/flooded_rice/feature03.html, 2015-03-01.
- 10 杨志乐. 气动式育苗用积箱机,283822[P]. 1996-08-21.
- 11 余继琅. 一种叠盘机构:中国,CN202374771U[P]. 2012-08-15.
- 12 李革,李明杰,王益君,等. 拨轮式秧盘叠盘机:中国,CN103086158A[P]. 2013-05-08.
- 13 马旭,谢俊锋,齐龙,等. 水稻育秧播种机钵体苗底土压实装置[J]. 农业机械学报,2014,45(8):54-60. MA Xu, XIE Junfeng, QI Long, et al. Subsoil compaction device for rice seedling nursery planter of bowl seedling tray[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):54-60. (in Chinese)
- 14 马瑞峻,区颖刚,王玉兴,等. 穴盘水稻秧苗机械抛栽的农艺要求[J]. 华中农业大学学报,2003,22(1):55-59. MA Ruijun, OU Yinggang, WANG Yuxing, et al. Study on the agronomic requirement of mechanized throwing rice seedlings sprouted in plastic cell-tray[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(1):55-59. (in Chinese)
- 15 周海波. 水稻秧盘育秧精密播种机的关键技术研究与应用[D]. 长春:吉林大学,2009. ZHOU Haibo. Research and application on key technologies of precision seeder for tray nursing seedlings of rice [D]. Changchun: Jilin University,2009. (in Chinese)
- 16 马瑞峻,马旭,张亚莉,等. 超级稻精量穴盘播种机排土器设计与试验研究[J]. 农业工程学报,2012,28(3):8-13. MA Ruijun, MA Xu, ZHANG Yali, et al. Design and experiments on soil spreading devices of plastic cell-tray type planter for raising super hybrid rice seedlings[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(3):8-13. (in Chinese)