

水稻田间育秧精密播种机设计与试验*

马旭^{1,2} 邝健霞¹ 齐龙^{1,2} 梁仲维¹ 谭永炘¹ 江立凯¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 南方稻田作物多熟制现代化生产协同创新中心, 长沙 410128)

摘要: 为提高田间育秧播种机的播种合格率和播种稳定均匀性,设计了一种适用于南方水稻田间育秧的精密播种机。在深入分析螺旋齿轮式播种器的播种原理,以及播种器行走控制系统的基础上,采用正交试验方法,研究了螺旋齿轮的凹槽深度、螺旋升角、播种器行走速度对播种合格率和空穴率的影响规律,得出杂交稻播种合格率和空穴率影响因素的最佳参数组合:凹槽深度 h 为 3 mm、螺旋升角 α 为 81.73° 、播种器行走速度 v 为 0.35 m/s。试验表明,采用闭环控制系统后的播种机播种杂交稻 2~6 粒/格合格率由 87.14% 提升到 93.21%,常规稻 3~8 粒/格的播种合格率为 92.14%,播种性能满足常规稻和杂交稻精密播种育秧的技术要求。

关键词: 水稻 田间育秧 精密播种机 控制系统 试验

中图分类号: S233.71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)07-0031-07

Design and Experiment of Precision Seeder for Rice Paddy Field Seedling

Ma Xu^{1,2} Kuang Jianxia¹ Qi Long^{1,2} Liang Zhongwei¹ Tan Yongxin¹ Jiang Likai¹

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

2. Collaborative Innovation Center for Modern Production of Multiple Cropping System Southern Paddy Area, Changsha 410128, China)

Abstract: Considering that the existing seedling seeder for rice paddy field adopts manual push and pull, and has large differences in sowing performance, a precision seeder which was suitable for seeding in southern rice paddy fields was designed so as to reduce the intensity of labor and to improve the sowing qualified rate, uniformity and stability. A control system of the walking seeder was developed, which used STC12C5608AD single-chip microcomputer as the core control unit, PWM (Pulse width modulation) as control output of motor speed. The whole system has realized speed feedback with pure P proportional closed control algorithm, so that sowing performance of the seeder was stable and sowing qualified rate was about 5% higher than manual push and pull. Based on further analysis of sowing mechanism of spiral grooved wheel device, as well as control system of the walking seeder, the orthogonal tests were conducted to further investigate the effects of these parameters on sowing performance: depth groove (h), lead angle (α) of spiral grooved wheel and seeder speed (v). The results showed that the best operational parameter combination was that h of 3 mm, α of 81.73° , v of 0.35 m/s. Sowing performance tests based on the best parameter combination were done. After the control system was installed, the sowing qualified rate of hybrid rice (2~6 grains per grid) was improved from 87.14% to 93.21%, and the inbred rice (3~8 grains per grid) was 92.14%. Meanwhile, the empty rate of inbred rice was 0%, and the breakage rate was less than 0.20%. The control system has achieved automatic control of sowing process for seedling precision seeder, and the sowing performance can greatly meet the agronomic requirements of precision seedling in rice paddy field for hybrid rice and inbred rice. This study lays research foundation of precision seeding technology for rice paddy field seedling.

Key words: Rice Paddy field seedling Precision seeder Control system Experiment

收稿日期: 2014-09-10 修回日期: 2014-11-05

* 广东省科技计划资助项目(2014B020207002)、公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203059)和现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-01-33)

作者简介: 马旭,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

引言

水稻育秧机械化和标准化是实施机械插秧的前提条件,水稻要实现种植机械化,首先要有规格化的秧苗^[1-2]。目前,国外,水稻主要采用直播或工厂化育插秧,还没有田间育秧技术。国内,北方主要采用大棚工厂化育插秧;南方地区受取土和场地限制,主要采用田间育秧后机插,多数地区在育秧过程中采用人工撒播育秧,播种均匀性差,浪费种子;目前也研制出几种田间育秧播种机^[3-9],存在的问题是:播种器的核心部件主要采用槽轮、凸头、型孔和槽式勺轮式等,播种精度不够理想,只适用于常规稻大播量播种育秧;田间育秧播种器采用人力推拉,播种性能对操作者熟练程度的依赖性大,工作效率低,播种精度和均匀性不够稳定;整机在水田中行走不方便,劳动强度大。因此,急需研制一种播种性能稳定可靠、操作简单,在水田中移动方便,尤其适用于杂交稻低播量精密育秧的水稻田间育秧精密播种机。

本文设计一种水稻田间育秧精密播种机,采用分置式导种板、螺旋勺轮式播种器及两种不同的田间整机移动装置;并以 STC12C5608AD 单片机为核心控制芯片的行走控制系统,形成播种器在轨道上自动行走。

1 整体结构与工作原理

研制的田间育秧精密播种机如图 1 所示,主要由浮板或行走轮、机架、接种盒、种箱、螺旋勺轮、驱动轮、传动系统、播种器行走控制系统、减速箱、电动机等组成。

工作过程为:①播种时将一定量种子装入种箱内,种子经过分置式导种板形成反“S”形种层(图 2),并与螺旋勺轮充分接触。②开启开关电动机转动,动力经过减速箱减速后带动驱动轮轴转动,使螺旋勺轮式播种器(图 2)整体移动。③与驱动轮同轴的组合飞轮 I 和组合飞轮 II 转动,由于组合飞轮单向传动,此时组合飞轮 II 不提供动力,组合飞轮 I 通过链条传动,带动排种轴转动,实现螺旋勺轮转动播种,同样,当播种器反向移动播种时,组合飞轮 I 不提供动力,组合飞轮 II 通过链条传动,带动螺旋勺轮转动播种。④系统中采用了 2 个 NPN 型的 SIM12-10N1 霍尔接近开关传感器,其中接近开关传感器 I 为正向限位检测元件,当安装在播种器上的接近开关传感器 I 检测到机架右侧边的磁钢时,接近开关传感器 I 的输出信号线置低电平,向单片机发送一个低电平脉冲信号,使电动机停止转动,移动的播种器经减速软垫减速并柔性撞击在限位块

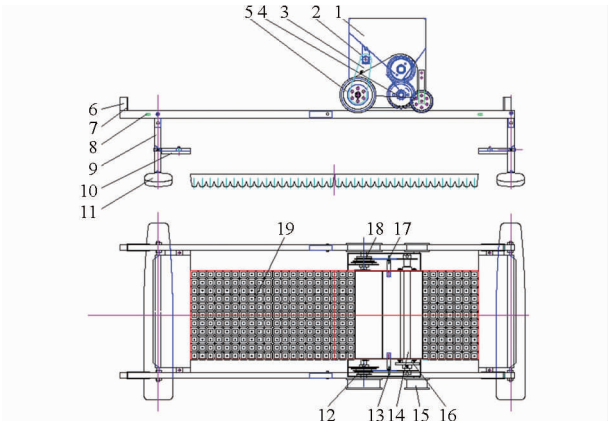


图 1 水稻田间育秧精密播种机结构简图
Fig.1 Structural diagram of seedling precision seeder in rice paddy field

- 1. 种箱 2. 电动机 3. 减速箱 4. 螺旋勺轮 5. 驱动轮 6. 限位块 7. 减速软垫 8. 磁钢 9. 机架 10. 接种盒 11. 浮板或行走轮 12. 组合飞轮 I 13. 接近开关传感器 I 14. 排种轴 15. 从动轮 16. 齿轮组 17. 接近开关传感器 II 18. 组合飞轮 II 19. 秧盘

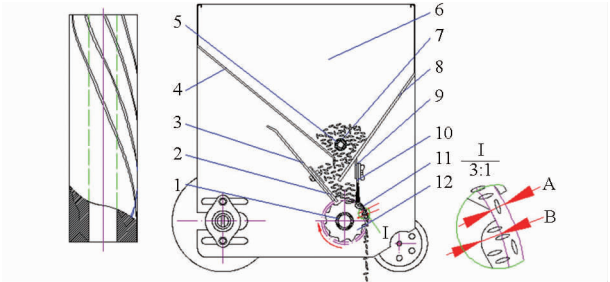


图 2 螺旋勺轮式播种器简图

Fig.2 Schematic diagram of spiral grooved wheel seeder

- 1. 排种轴 2. 橡胶板 3. 第一导种板 4. 第二导种板 5. 橡胶搅拌套 6. 种箱 7. 换向轴 8. 第三导种板 9. 毛刷调节板 10. 毛刷 11. 护种板 12. 螺旋勺轮

上,当电动机停止 2.5 s 后自动反向转动,驱动播种器反向播种。⑤而播种器上的接近开关传感器 II 为反向限位检测元件,当其检测到机架左侧边的磁钢,接近开关传感器 II 的输出信号线置低电平,向单片机发送一个低电平脉冲信号,从而实现播种器的制动及原点定位,这时播种器也柔性撞击在限位块上,使得种箱里的种子通过两侧的撞击冲力得到充分填充,以克服水稻芽种缠绕、摩擦等分离与下种难的缺点,改善播种性能。至此,完成了一个播种行程。通过人力拖动或拉动田间育秧精密播种机机架移动一个行程,通常往返移动一次播 4 个秧盘,即移动 2 个秧盘宽度距离为 1 个行程。

2 关键部件设计

水稻田间育秧精密播种机的主要部件有螺旋勺轮式播种器、田间行走装置、播种器行走控制系统等。

2.1 螺旋勾轮式播种器

2.1.1 螺旋勾轮结构及参数分析

播种器是播种机的核心部件,其工作质量优劣直接影响到种子的着床出苗、分蘖。常用的排种器有外槽轮、凸头、型孔和槽式勾轮式等多种,根据优化试验^[3],本文设计螺旋勾轮式播种器。该播种器主要由种箱、螺旋勾轮和分置式导种板等组成,其螺旋勾轮截面为“直线段+圆弧线”构成的“勾形流线”,螺旋勾轮的端面如图 2 所示,此种结构设计能够减少播种脉动现象,提高播种均匀性。在种箱内分置式导种板的作用下,形成反“S”形种层,有利于种子沿着螺旋勾轮流线滑动并且顺势充入勺内。

螺旋勾轮的工作长度 L 和直径 d 是勾轮的两个主要参数,这两个参数对播种均匀性都会产生影响。基于播种机的工作距离为两个秧盘宽度(单个秧盘宽度 280 mm),考虑中部接合处两秧盘边缘厚度为 20 mm,故取勾轮工作长度为 580 mm。而以播麦类为主的槽轮直径为 40~51 mm,目前用得最多的小槽轮排种器的直径为 40 mm^[10]。勾轮直径 d 过大,转速相应减小,影响播种均匀性,同时会导致播种机结构增大。但直径 d 过小,转速高,会增加种子损伤率,故本次设计的勾轮直径 d 为 40 mm。勾轮的槽数 Z 影响播种均匀性,依据种子的尺寸和勾轮直径 d ,选用勾轮的槽数 Z 为 11 个^[10-11]。凹槽深度 h 也影响播种均匀性,深度应大于种子厚度与宽度,深度大易损伤种子,考虑到种子的形状与尺寸,试验播水稻种子时,取凹槽深度 h 为 3~5 mm。

2.1.2 螺旋勾轮动力学分析

螺旋勾轮转动时,种子的运动是一个空间运动,绕螺旋轴转动的同时,也沿轴线作直线运动。勾轮内的种子在勾轮槽强制作用下经排种口排出(强制层 B);同时,处在勾轮外面的种子在勾轮的拨动和种子颗粒间摩擦力的作用下被带出种箱(带动层 A)。当播量小时,播种量以强制层 B 为主,带动层 A 为辅,所以播种均匀性略差;当播量大时,带动层流量增加,播种均匀性较好。

由于种子在输送过程中实际受力的复杂性,现将单颗种子简化为质点,且种子颗粒间不产生相对滑移,取距离螺旋轴轴线 r 处螺旋槽上种子颗粒 M 为研究对象,对其进行动力学分析^[11-13]。

种子颗粒 M 在水平面内受力及速度分解如图 3 所示,螺旋升角 α 展开状态时,螺旋线用一条斜直线表示。由于切向摩擦力 F_f 的关系,使得种子颗粒的法向推力 F_n 和绝对速度 V_a 都偏转一个角度,即为合力 F 和合速度 V ,忽略螺旋叶片表面粗糙度的影响,则偏离的角度近似等于种子颗粒的外摩擦当

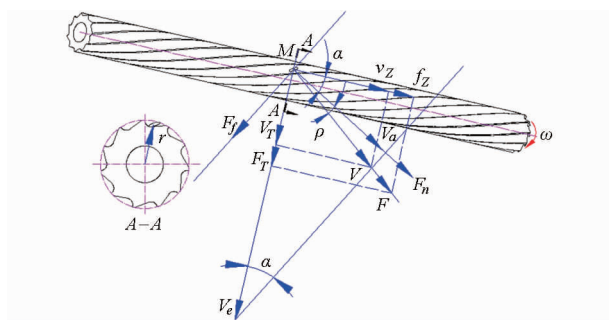


图 3 种子颗粒水平面受力及运动分析

Fig. 3 Analysis of stress and motion of seed particles

量角 ρ 。

由图 3 可知轴向分力 F_z 与周向分力 F_r 为

$$\begin{cases} F_z = F \cos(\alpha + \rho) \\ F_r = F \sin(\alpha + \rho) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\alpha = \arctan(P/(2\pi r))$ $\rho = \arctan \mu$

式中 α ——螺旋升角

P ——螺旋勾轮的螺距, mm

r ——种子颗粒距螺旋中心的半径, mm

μ ——种子颗粒与螺旋面的摩擦因数

由图 3 且利用速度三角形原理可整理得轴向速度 V_z 与周向速度 V_r 为

$$\begin{cases} V_z = \frac{nP}{60} \frac{1 - \mu \frac{P}{2\pi r}}{1 + \left(\frac{P}{2\pi r}\right)^2} \\ V_r = \frac{nP}{60} \frac{\mu + \frac{P}{2\pi r}}{1 + \left(\frac{P}{2\pi r}\right)^2} \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)可知,螺旋升角 α 越大,轴向分力 F_z 就越小,播种过程中种子的轴向移动距离小,秧盘左右播量不均的现象减轻,有利于播种均匀性;而周向分力 F_r 就越大,有利于种子颗粒沿螺旋槽顺利播出。但当 F_r 增大到一定程度,种子颗粒所受摩擦力及自重无法与其平衡,会使种子飞溅。所以试验播水稻种子时,螺旋升角 α 取为 $66.44^\circ \sim 87.23^\circ$ 。

由式(2)可知,当螺距 P 、摩擦因数 μ 及种子颗粒距螺旋中心的半径 r 确定的情况下,种箱行走速度在某一范围内种子颗粒能得到较好的轴向速度 V_z 和圆周速度 V_r ,如轴向速度 V_z 过大会影响播种性能,导致秧盘左右播量不均。故试验播水稻种子时,播种器行走速度 v 取为 0.25~0.45 m/s。

2.1.3 种箱

种箱内设置了 3 个不同角度导种板的分置式设计,每个导种板的角根据种子在自然状态下的休止角而设定,使种子呈反“S”形状流动,如图 2 所示。可避免种箱内种子的重力直接作用在螺旋勾轮

上,利于充填,并减少伤种,也避免种箱内种子质量对播种性能产生影响。同时换向轴上安装有橡胶搅拌套,播种过程中不断搅拌种箱内的种子,使种箱内种子疏松,保证种子顺畅地充填到螺旋匀轮内,提高播种的质量。

2.2 田间行走装置

根据水田泥脚深度,设计了两种田间行走装置:浮板拖动式田间行走装置,主要适用于水田泥脚较深的地区,在机架下方安装2个浮板,机架承压面增大,在田间工作时,机架有一定程度的下陷,完成一次秧盘的播种工作后,直接在田间拖动机架实现机架田间移动,因机器主要质量由浮板支撑,所以移动省力,如图4a;轮式推拉式田间行走装置,主要适用于水田泥脚较浅的地区,在机架的下方安装2个车轮,由人手拉动实现机架田间移动,如图4b。

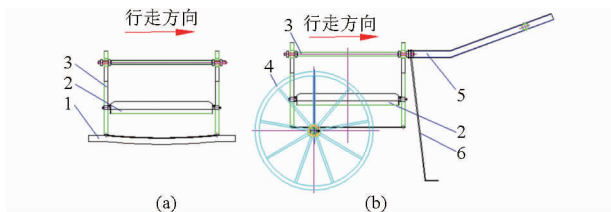


图4 田间行走装置结构示意图

Fig.4 Schematic of field walking device

(a) 浮板式支架 (b) 手推轮式支架

1. 浮板 2. 接种盒 3. 机架 4. 车轮 5. 推拉杆组合 6. 支撑脚

2.3 播种器行走控制系统

现有的田间育秧播种机^[3-9],主要采用人力推拉实现播种器往复播种,播种效果对操作者熟练程度的依赖性大,国内有几种大棚播种器采用自动控制播种^[6-7],精度明显提高,为此本文设计了一种轻筒型水稻田间育秧精密播种机的播种器行走控制系统。

2.3.1 总体结构

水稻田间育秧精密播种机的播种器行走控制系统原理如图5所示。整个控制系统主要由信号处理模块、速度检测模块、位置检测模块、显示模块、直流电动机驱动模块、无线遥控模块、A/D转换模块、电源模块等组成。根据水田复杂环境,电源使用轻便的12V锂电池,通过电源芯片LM2596T-5.0将12V的电池电压转换为稳定的5VDC,供给控制系统各部分模块电路。

2.3.2 播种器的驱动电动机速度闭环控制系统

目前机具田间的速度信号获取主要通过读取GPS或DGPS提供的速度信息和通过使用速度传感器获取的速度信息^[14-16]。考虑田间育秧播种机的工作环境及成本要求,速度检测部分由霍尔测速传感器与驱动轮轴的链轮组成。驱动轮轴上链轮周长

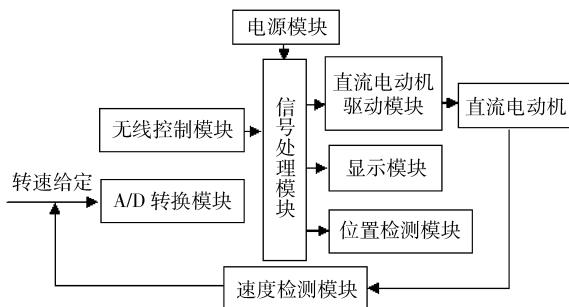


图5 控制系统框图

Fig.5 Block diagram of control system

方向的链齿上均匀安放 N 个磁钢,链轮附近安装霍尔测速传感器。系统运行时,随着驱动轮轴的转动,磁钢经过霍尔测速传感器产生一个脉冲信号,此脉冲信号输入单片机的T1定时器进行计数,当定时器0定时到1s,根据脉冲的个数即可精确算出驱动轮轴的转速,同时由于驱动轮轴与排种轴之间采用同步驱动,且两者之间的转速比为 $1:k$,则可以得出螺旋匀轮式播种器的播种转速为

$$n_a = k(256N_H + N_L) / (60N) \quad (3)$$

式中 N ——驱动轮轴上链轮的磁钢个数

N_H ——定时器1中TH1寄存器装载的脉冲数

N_L ——定时器1中TL1寄存器装载的脉冲数

为满足转矩和速度的需要,选用12V、50W、转速为13700r/min的微型直流电动机R550,通过转速比 $k=86.3$ 的微型减速器来驱动播种器的螺旋匀轮播种。单片机通过向电动机驱动芯片的使能端、方向控制端及PWM^[17]端输入信号来控制直流电动机运转与调速。单片机与驱动芯片之间加入光电隔离,避免信号间的干扰,增加单片机工作的稳定性。

2.3.3 控制系统的软件设计

当系统启动后,单片机进行初始化设置,单片机检测电位器的电压值先设定电动机速度,再调用中断,单片机将传感器输入的信号进行计算,控制PWM的输出,从而控制电动机的转速,依次循环使电动机转速趋于稳定值。根据设计功能要求,利用KEIL软件进行相应程序编写,再通过STC_ISP软件写入单片机芯片。系统主程序框图如图6所示。

3 试验与结果分析

选择试验的水稻种子为华南农业大学的“培杂泰丰”杂交稻及“华航31”常规稻,种子平均尺寸分别为 $8.97\text{ mm} \times 2.36\text{ mm} \times 2.00\text{ mm}$ 、 $9.67\text{ mm} \times 2.24\text{ mm} \times 1.89\text{ mm}$ (长×宽×厚)。种子试验前按农艺要求进行选种、浸种、破胸催芽,芽长为 $1 \sim 3\text{ mm}$,含水率分别为34.32%、36.30%,千粒质量分别为26.8g、31.4g,表面干燥无明显水分。播种试

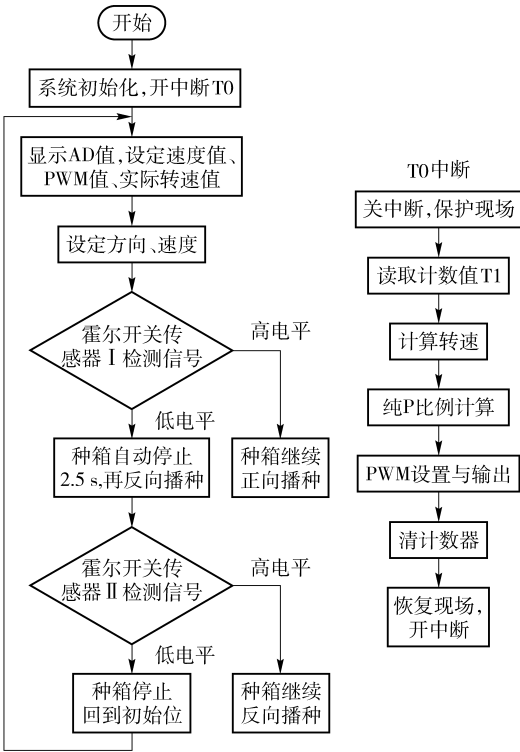


图 6 系统主程序流程图

Fig. 6 Flow chart of main program

验与秧盘配套,该钵体毯状秧盘为 648 格硬盘,规格为:秧盘长度方向 36 列、宽 18 行,即秧盘长 580 mm (外部尺寸 600 mm)、宽 280 mm (外部尺寸 300 mm),每格面积 2.5 cm²。

3.1 性能试验

为探索螺旋匀轮的凹槽深度 h 、螺旋升角 α 以及播种器行走速度 v 对播种性能的影响,采用三因素三水平的正交试验进行分析,试验安排见表 1,试验在华南农业大学水稻试验田进行,试验装置及田间试验现场见图 7。每次试验 4 个秧盘,在每个秧盘不同区域任取 70 格,计 280 格,统计出每格的播种粒数,计算播种合格率 Y_1 和空穴率 Y_2

$$Y_1 = \frac{N_0}{N_z} \times 100\% \tag{4}$$

$$Y_2 = \frac{N_1}{N_z} \times 100\% \tag{5}$$

式中 N_0 ——满足播种合格区间的格或穴数量,通常对于杂交稻要求 2 ~ 6 粒/格(穴)^[18],对于常规稻要求 3 ~ 8 粒/格(穴)^[3]

N_1 ——秧盘中空格或穴数量

N_z ——试验秧盘的格或穴总数量

试验结果及分析如表 2, A 、 B 、 C 分别为凹槽深度 h 、螺旋升角 α 以及播种器行走速度 v 的因素编码值。

表 1 试验因素与水平

Tab. 1 Factors and levels of experiment

水平	因素		
	凹槽深度 h/mm	螺旋升角 $\alpha/(\text{^\circ})$	播种器行走速度 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
1	3	66.44	0.25
2	4	81.73	0.35
3	5	87.23	0.45

表 2 正交试验设计结果及极差分析

Tab. 2 Results of orthogonal experiment and analysis

序号	因素水平			$Y_1/\%$	$Y_2/\%$
	A	B	C		
1	1	1	1	85.71	0.36
2	1	2	2	93.21	0
3	1	3	3	89.28	0
4	2	1	2	84.29	0.71
5	2	2	3	84.28	0
6	2	3	1	81.07	0.71
7	3	1	3	79.64	0.36
8	3	2	1	88.57	0.71
9	3	3	2	83.92	1.07
Y_1	k_1	268.20	249.64	249.64	
	k_2	249.64	266.06	261.42	
	k_3	252.13	254.27	253.2	
	R	6.19	5.47	3.92	
	较优水平 主次因素	A_1	B_2 $A_1B_2C_2$	C_2	
Y_2	k_1	0.36	1.43	1.78	
	k_2	1.42	0.71	1.78	
	k_3	2.14	1.78	0.36	
	R	0.59	0.36	0.47	
	较优水平 主次因素	A_1	B_2 $A_1C_3B_2$	C_3	

从表 2 可得到,杂交稻播种合格率和空穴率的最佳组合方案分别为 $A_1B_2C_2$ 和 $A_1B_2C_3$,即凹槽深度均为 $h = 3\text{ mm}$,螺旋升角均为 $\alpha = 81.73^\circ$,播种器行走速度 v 分别为 0.35 m/s 和 0.45 m/s。

随着凹槽深度 h 的增大,播种时的相对播量也增大,易导致重播现象严重,同时若播量过大时,需



图 7 水稻田间育秧精密播种机田间试验现场

Fig. 7 Test on precision seeder for rice paddy field seedling

要通过降低毛刷位置减少带动层厚度来调低播量,从而导致挤压相对严重,损伤种子。由表 2 可得,杂交稻进行播种试验时,播种量相对较低,凹槽深度对播种合格率和空穴率影响的最优水平均为 A_1 ,即凹槽深度 $h=3\text{ mm}$ 。

当螺旋升角 α 下降时,轴向分力 F_z 增大,但由于种子只绕勺轮转动 $1/4$ 圈即可播出,且螺距小,勺轮的左螺旋面对种子轴向移动起阻碍作用,试验时其播种均匀性相对较好。当螺旋升角 α 增大时,轴向分力 F_z 减小,但由于勺轮的螺距大,左螺旋面对种子的阻力小,种子的轴线移动相对顺畅,试验时出现左右播量不均的现象,秧盘由右到左每个取秧面积播种粒数逐渐变大,播种均匀性差。由表 2 可得,螺旋升角对杂交稻播种合格率和空穴率影响的最优水平均为 B_2 ,即螺旋升角 $\alpha=81.73^\circ$ 。

播种器行走速度是生产率的重要指标,在试验时,行走速度的大小对播种性能的影响不大,但其速度的稳定性对播种均匀性有影响。若播种器行走速度不稳定,由于驱动轮是通过一定的传动比驱动螺旋勺轮转动,所以转速也会不稳定,而导致播种均匀性差,故对播种器驱动电动机进行速度闭环控制^[19-20]。同时,在水田播种时,可能由于机架两端的水田深度不同,而导致播种机的水平度不一致,播种器需要爬坡运行,这时驱动电动机的速度闭环控制系统,实时调节播种器行走速度,保证其速度的稳定性,因此播种机的水平度对播种性能影响不大;还有,水稻田间育秧时种子直接播到充满泥浆的秧盘中(如图 7 所示),种子无弹跳和滚动,故投种高度对播种性能影响不大。另外,若播种器行走速度过快,到达两限位位置时由于惯性大而过重地撞击在限位杆上,造成种箱内种子溢出,浪费种子,而行走速度过低则使得播种效率低。由表 2 可知播种器行走速度对播种合格率的最优参数为 C_2 ,即 $v=0.35\text{ m/s}$,此时生产率为 $1\ 200$ 盘/h 左右。

因此,根据试验结果分析,采用杂交稻播种时最佳参数组合为:凹槽深度 $h=3\text{ mm}$ 、螺旋升角 $\alpha=81.73^\circ$ 、播种器行走速度 $v=0.35\text{ m/s}$,此时,播种合格率为 93.21% ,空穴率为 0.00% ,种子破损率小于 0.20% 。

3.2 对比分析试验

为分析播种器驱动电动机闭环行走控制与人力推拉两种方式的播种差异,在相同条件下,进行了播种对比试验,随机抽取 4 个秧盘,每个秧盘不同区域任取 70 格,共计 280 格,测量计算出播种合格率和

空穴率,试验结果如表 3 所示。其中工况 1 为人力推拉播种,杂交稻 2~6 粒/格的播种合格率为 87.14% ,播种空穴率为 1.43% ;工况 2 为播种器驱动电动机闭环控制系统播种,其播种合格率为 93.21% ,播种空穴率为 0.00% 。可见采用播种器驱动电动机闭环控制系统能使播种合格率提高 5 个百分点左右,并显著提高了稳定性,同时减低了劳动强度。

表 3 控制系统播种性能试验结果
Tab.3 Experimental results of detection system

工况	粒数				合格	空穴	每格面积	标准
	0	1	2~6	>6	率/%	率/%	播种粒数	偏差
1	4	14	244	18	87.14	1.43	3.84	1.74
2	0	6	261	13	93.21	0	3.99	1.39

3.3 常规稻播种性能试验

为验证该田间育秧精密播种机不仅适用于较低播量的杂交稻,同时适用于较高播量的常规稻,采用常规稻“华航 31 号”,随机抽取 4 个秧盘,每个秧盘不同区域任取 70 格,共计 280 格,测量其播种合格率和空穴率,来评价采用常规稻播种时的播种性能。试验结果为常规稻 3~8 粒/格的播种合格率为 92.14% ,播种空穴率为 0.00% ,种子破损率小于 0.20% ,表明该田间育秧精密播种机也适用于常规稻播种育秧作业。

4 结论

- (1)设计了一种能实现水稻田间育秧的精密播种机。采用的分置式导种板和螺旋勺轮式播种器满足了水稻田间精密育秧的要求,两种不同行走方式的田间移动装置适用于不同水田泥脚深度条件,减轻了劳动强度,实现了田间省力行走。
- (2)进行了水稻田间育秧精密播种机正交试验设计。试验结果表明,播种器的最佳参数组合为凹槽深度 $h=3\text{ mm}$ 、螺旋升角 $\alpha=81.73^\circ$ 、播种器行走速度 $v=0.35\text{ m/s}$;在最佳参数组合下试验,得到杂交稻和常规稻下播种机的播种合格率分别为 93.21% 、 92.14% ,播种性能满足常规稻和杂交稻精密播种育秧的技术要求。
- (3)设计了水稻田间育秧精密播种机控制系统,以 STC12C5608AD 单片机为核心控制芯片,采用 PWM 控制方式,应用纯比例 P 闭环控制算法实现了水稻田间播种器行走自动控制,其播种性能稳定,播种合格率比人力推拉提高 5 个百分点。

参 考 文 献

- 程三六,肖宏儒,朱新民,等. 南方水稻田间盘育秧配机插技术和设备的研究与创新发展[J]. 中国农机化,2005(2): 42 - 45.
Cheng Sanliu, Xiao Hongru, Zhu Xinmin, et al. The mechanical transplanting of raising rice seedlings in field and the study, innovation and development of raising rice seedlings equipment of mechanization in southward of China[J]. Chinese Agricultural Mechanization,2005(2): 42 - 45. (in Chinese)
- 周海波,马旭,姚亚利. 水稻秧盘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 seedling of rice[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(4): 301 - 306. (in Chinese)
- 李世平,马旭,谭祖庭. 水稻田间育秧播种机的试验研究[C]//中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集,2011.
Li Shiping, Ma Xu, Tan Zuting. Experimental study on seeder for rice seedling in field [C] // The Academic Conference Proceedings of CSAE 2011, 2011. (in Chinese)
- 郭佩玉,尚书旗,汪裕安. 普及和提高田间育种机械化水平[J]. 农业工程学报,2004,20(增刊): 53 - 54.
Guo Peiyu, Shang Shuqi, Wang Yu'an. Popularizing and increasing the level of mechanization field breeding equipment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2004, 20(Supp.): 53 - 54. (in Chinese)
- 湛小梅,孙志强,周玉华,等. 我国育秧机研究进展与发展方向[J]. 中国农机化,2012(6): 62 - 66.
Zhan Xiaomei, Sun Zhiqiang, Zhou Yuhua, et al. Chinese rice seedling machine development and direction [J]. Chinese Agricultural Mechanization,2012(6): 62 - 66. (in Chinese)
- 龚丽农,员玉良,尚书旗,等. 小区播种机电控系统设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(5): 122 - 126.
Gong Linong, Yuan Yuliang, Shang Shuqi, et al. Design and experiment on electronic control system for plot seeder[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(5): 122 - 126. (in Chinese)
- 孙志强,湛小梅,李平,等. 五种水稻育秧播种机的试验研究[J]. 南方农业,2012(2): 66 - 69.
- 张欣悦,李连豪,汪春,等. 2BS-420 型水稻植质钵育秧盘精量播种机[J]. 农业机械学报,2013,44(6): 51 - 56.
Zhang Xinyue, Li Lianhao, Wang Chun, et al. Type 2BS-420 precision seeder for rice seedling-growing tray made of paddy-straw [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(6): 51 - 56. (in Chinese)
- 孙庆卫,王延耀,王东伟,等. 田间育种播种机精密排种器的试验[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊 2): 59 - 64.
Sun Qingwei, Wang Yanyao, Wang Dongwei, et al. Experimental study on pneumatic seed metering mechanism of field breeding planter[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(Supp. 2): 59 - 64. (in Chinese)
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计参考手册(上)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007: 329 - 330.
- Maleki M R, Jafari J F, Raufat M H, et al. Evaluation of seed distribution uniformity of a multi-flight auger as a grain drill metering device [J]. Biosystems Engineering,2006,94 (4): 535 - 543.
- 王东霞. 螺旋输送机的数值分析及优化设计的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2012.
Wang Dongxia. The study of numerical analysis and optimization design of screw conveyor[D]. Zhengzhou:Henan University of Technology,2012. (in Chinese)
- 张东海. 螺旋输送机的优化研究[D]. 大连:大连理工大学,2006.
Zhang Donghai. The optimization research of screw conveyor[D]. Dalian:Dalian University of Technology,2006. (in Chinese)
- Kim Y J, Kim H J, Ryu K H, et al. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(4): 498 - 510.
- 史智兴,高焕文. 播种机多项性能检测及图形打印装置[J]. 中国农业大学学报,2002,7(4): 25 - 29.
Shi Zhixing, Gao Huanwen. A monolithic micro-computer system for planter performance measurement and graphic printing output [J]. Journal of China Agricultural University,2002, 7(4): 25 - 29. (in Chinese)
- 张书慧,马成林,杜巧玲,等. 精确农业自动变量施肥机控制系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2004,20(1): 113 - 116.
Zhang Shuhui, Ma Chenglin, Du Qiaoling, et al. Design of control system of variable rate fertilizer applicator in precision agriculture[J]. Transactions of the CSAE,2004, 20(1): 113 - 116. (in Chinese)
- 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002: 125 - 142.
- 谭祖庭,马旭,齐龙,等. 振流式精密播种装置种层厚度检测及控制系统研制[J]. 农业工程学报,2012,28(21): 10 - 16.
Tan Zuting, Ma Xu, Qi Long, et al. Detection and control system of seed-layers thickness for vibration-flow precision seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 10 - 16. (in Chinese)
- 方力. 基于单片机的直流电动机控制系统设计[J]. 机械制造与自动化,2011,40(6): 175 - 177.
Fang Li. Design of DC motor-controlling system based on MCU [J]. Machine Building & Automation,2011,40(6): 175 - 177. (in Chinese)
- Jafari M, Hemmat A, Sadeghi M. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 73(1): 56 - 65.