

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.006

玉米勺式排种器变速补种系统设计与试验

赵淑红 周 勇 刘宏俊 谭贺文 张先民 杨悦乾
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对玉米勺式排种器出现的漏播问题,设计了一种变速补种系统,该系统采用光电传感器在偏离出种口 20°位置进行提前检测,漏播发生时由步进电动机改变排种器转速越过空种槽达到实时补种的目的。为了使变速补种系统具有通用性,选取具有一定代表性的玉米籽粒外形形状品种:久龙 5 号(球形)、九单 57(锥形)和郑单 958(矩形),以不同转速作为试验因素,运用 EDEM 软件和排种器性能试验台进行排种性能研究。仿真结果表明:当转速不超过 23.1 r/min 时,排种性能受变速影响不超过 2%,在转速达到 27.7 r/min 时,变速种子抖落现象明显;在转速达到 32.3 r/min 时,变速时种子会出现严重的抖落现象;试验结果表明:具有变速补种系统的勺式排种器转速处于 13.9~23.1 r/min 时,漏播率不超过 1.4%,平均补种率达到 89.95%,播种率达到 98.7%。在转速为 27.7 r/min 时,比不具有变速补种系统的勺式排种器漏播指数降低 10.4%,补种效果最为显著,在转速达到 32.3 r/min 时,补种效果不显著;3 种玉米品种的排种性能优劣次序为:球形、矩形、锥形。

关键词: 玉米;勺式排种器;变速补种系统;EDEM

中图分类号: S223.2⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0038-07

Design of Reseed Shift Speed System of Scoop-type Metering Device of Corn

Zhao Shuhong Zhou Yong Liu Hongjun Tan Hewen Zhang Xianmin Yang Yueqian
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Aiming to solve the problem of leakage webcasting for corn seedmeter, a reseed shift speed system was designed, which used photoelectric sensor to early detect at the position deviated from the kinds of ports by 20°, and a stepping motor changed seedmeter when leakage occurred sowing speed over the empty slot to achieve real replant seed purposes. In order to make the shift to replant system have the versatility, specifically representative corn grain appearance shape varieties were selected, including Jiulong No. 5 (spherical), Jiudan No. 57 (cone) and Zhengdan No. 958 (rectangle). Taking different speeds as test factors, the seeding performance was studied by using of EDEM software and seeding performance test bed, simulation results showed that when the speed was not exceeded 23.1 r/min, the impact of speed shifting on seeding performance was not more than 2%, when the rotational speed reached 32.3 r/min, serious shaking phenomenon of seed would happen. Test results showed that the scoop-type replant seed metering systems equipped with variable speed when the rotation speed was 13.9~23.1 r/min, drain sowing rate was not exceeded 1.4%, the average replant rate was 89.95%, seeding rate reached 98.7%; at the speed of 27.7 r/min, compared with the original scoop-style metering, its row seed sowing leakage index was decreased by 10.4%, the effect of replanting was the most obvious; when the speed reached 32.3 r/min, the effect of replanting was not obvious; the seeding performance of three corn varieties showed a decreasing trend of spherical, rectangular and cone.

Key words: corn; scoop-type metering device; reseed shift speed system; EDEM

收稿日期: 2016-05-25 修回日期: 2016-07-04
基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD14B06)
作者简介: 赵淑红(1969—),女,教授,博士生导师,主要从事田间农业机械及其力学特性研究,E-mail: shhz091@sina.com
通信作者: 杨悦乾(1967—),男,研究员,主要从事保护性农业装备研究,E-mail: yangyueqian@126.com

引言

玉米是我国第一大粮食作物,玉米产量增加与否对提高国民收入以及减轻国家粮食压力有着直接的影响^[1]。精密播种技术能有效提高玉米产量和经济效益。精密播种机是实现精密播种技术的最佳载体,其核心部件是排种器,常用排种器中勺式排种器具有结构简单、使用广泛和成本低的特点,但复杂的田间作业工况和故障现象会导致漏播发生,降低播种质量^[2]。按 75 000 株/hm² 种植玉米,每株收获 250 g,漏播空穴效应按 2% 计算,则玉米漏播损失高达 117.4 kg/hm²^[3-4]。鉴于此,研究一套勺式排种器漏播实时检测与补种系统,对于促进玉米精量播种技术的智能化和高效发展具有重要意义。

国内外众多学者对精量排种器的漏播检测与补偿系统进行了大量的研究。AL-YAMANI 等^[5]从算法上深度优化研究,提高排种状态的实时监测和补种速度。SINGH 等^[6]运用电子控制计量系统对精量排种器排种过程实时监测与反馈,提高播种质量精度,降低漏播。Precision Planting 公司研制了与气力式播种机配套的精量排种器实时监控系统 Wave Vision,根据对精量排种器的排种工况监测结果自动调节排种器状态参数,使播种效果处于最佳状态,播种合格指数达 99.5% 以上。国外对于精量排种器的漏播状态进行监测及补种的相关研究相对成熟,但其成本较高,且存在适用机具与国内机具难以配套、工作环境不适合于我国田间环境的问题。金衡模等^[7]设计了一种用于玉米精播机的漏播检测与补偿系统,可准确发现漏播并及时补种。龚丽农等^[8-10]在花生、玉米原有机械式精密排种器的基础上改制成具有漏播自补偿功能的排种器,实现准确有效补种要求。张晓辉等^[11]对小麦单粒精密播种机的漏播检测与补种问题设计了一套自动补播式监控系统,最大限度减小播种机漏播断条长度或避免漏播发生以提高播种质量。朱瑞祥等^[12]基于超越离合器原理设计了一种集排种与补种一体化的大籽粒作物漏播自补种装置,播种率可达 99.2%。张晓东等^[13-14]对马铃薯播种器的自动补偿系统进行设计和研究。丁幼春等^[15-17]针对油菜籽气力精量排种器设计了一种螺管式补种器并对该补种器进行试验研究。当前精量排种器漏播检测与补种系统大多采用延时补种的方式,具有结构复杂和补种不准确等问题。国内尚无针对不同品种玉米进行实时补种研究报道。

针对玉米勺式排种器出现的漏播问题,本文设计一种排种器的变速补种系统,采用光电传感器在

偏离出种口 20° 位置进行提前检测,漏播发生时由步进电动机改变排种器转速越过空种槽以达到实时补种的目的。

1 变速补种系统设计

1.1 变速补种系统工作原理

图 1 为勺式排种器结构示意图,当排种器正常排种时,步进电动机以工作转速 n 通过联轴器带动排种器转动,分种勺通过充种区充种,通过清种区清除多余的籽粒,在持种空间的籽粒沿着弧形槽隔板通过隔板开口处进入种槽轮,籽粒进行二次投种,在投种口提前一个种槽位置通过光电传感器透过检测孔检测是否存在玉米籽粒,如有籽粒遮挡检测孔,则正常排种;如没有籽粒遮挡检测孔,光电传感器发出脉冲信号,通过单片机控制步进电动机做匀加速转动,加速角度为 20°,然后步进电动机进入转速恢复阶段,做匀减速转动,减速角度为 20°,工作转速恢复为 n ,变速转动角度为 40°,进行变速补种。补种完成后,步进电动机继续以转速 n 带动排种器旋转进行正常排种。

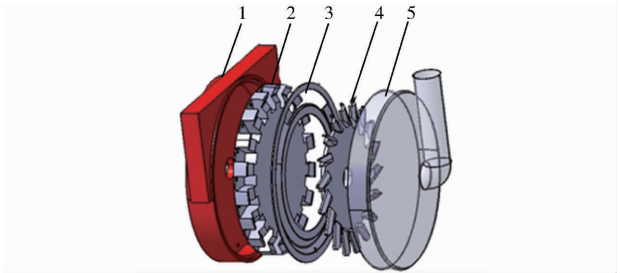


图 1 勺式排种器三维图

Fig. 1 3D diagram of scoop-type metering device

1. 排种器壳体 2. 种槽轮 3. 弧形槽隔板 4. 分种勺 5. 种箱壳

1.2 控制方案

根据变速补种系统工作原理,如图 2 所示,其控制方案,如图 3 所示。

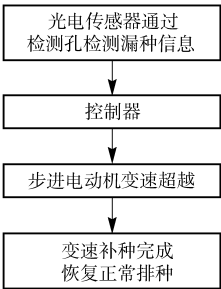


图 2 变速补种系统原理图

Fig. 2 Schematic of automatic reseeding system

如图 3 所示,在排种器正常工作时,光电传感器检测是否漏播,当检测到漏播时,单片机向步进电动机发送变速指令,通过变速超越空种槽进行补种并记录补种次数,如未发现漏播,则排种器正常工作。

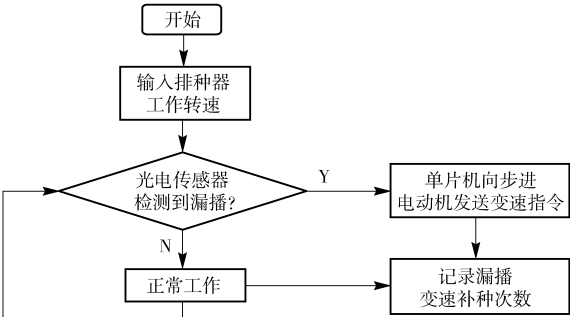


图3 系统流程图
Fig.3 Flow chart of system

1.3 控制算法

基于变速补种系统工作原理,根据匀式排种器工作转速可以确定变速阶段的最高转速、角加速度、变速时间。由此可见,可根据排种器不同转速控制步进电动机输出不同变速状态来达到补种的效果。相应公式为

$$t = \frac{2\pi}{n_0\omega}$$
 (1)

$$t = t_a + t_b$$
 (2)

$$\omega_H = \omega + \alpha t_a$$
 (3)

$$\theta = \frac{\omega + \omega_H}{2} t_a$$
 (4)

式中 ω ——排种器正常工作角速度,rad/s
 n_0 ——种匀个数
 t ——排种器正常工作排种时间间隔,s
 t_a ——加速时间,s t_b ——减速时间,s
 ω_H ——最大角速度,rad/s
 α ——角加速度,rad/s²
 θ ——加速转角,(°)

由于选用的匀式排种器为18匀,且无论是加速超越阶段还是转速恢复阶段,均是以角加速度 α 运动,因此 $t_a = t_b$ 且 $\theta = 20^\circ$,因此由式(1)~(4)可得控制算法为

$$t_a = t_b = \frac{\pi}{18\omega}$$
 (5)

$$\alpha = \frac{\omega_H - \omega}{t_a} = \frac{36\omega^2}{\pi}$$
 (6)

1.4 检测装置设计

检测孔由排种器种壳孔、隔板孔及种槽轮18个孔组成,如图4所示,检测传感器选用光电传感器。由于要达到实时补种的目的,需提前检测,其检测位置为出种口的提前20°位置,为保证检测的准确性,检测孔的直径不宜过大,当检测孔直径过大时,会造成有种而检测到无种的情况,当检测孔过小时,会造成无种检测不到的情况。由于播种机田间作业速度一般在3~7 km/h,播种粒距取20 cm,则排种器转

速计算公式为

$$n = \frac{V_0}{n_0 d_0}$$
 (7)

式中 V_0 ——播种机前进速度,km/h
 d_0 ——播种粒距,cm

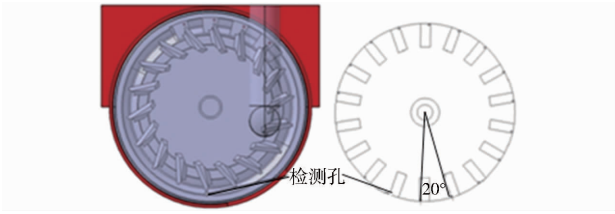


图4 检测孔示意图
Fig.4 Schematic of round hole location detection

由式(7)计算得试验转速 n 为13.9~32.3 r/min,通过实际测量种槽轮半径 r 为0.093 m。由 n 可求得

$$\omega = \frac{360n}{60} \frac{\pi}{180}$$
 (8)

$$v = \omega r$$
 (9)

$$d = vt_0$$
 (10)

式中 v ——检测孔位置的线速度,mm/s
 d ——检测孔直径,mm
 t_0 ——传感器响应时间,s

使用激光对射型光电传感器(型号E3F-20C1/20L)进行检测,且传感器响应时间应小于2 ms,为了使种槽轮检测孔经过时有足够的响应时间且又不会造成重复检测,由式(8)~(10)计算可得 d 为0.41~0.94 mm,因此设计检测孔直径为1 mm。

为保证检测孔不受种箱玉米籽粒的遮挡,在种箱增加弧形护光板,该护光板要求不影响分种匀轮正常充种的同时能保证检测孔不受种箱玉米籽粒遮挡,根据种箱尺寸和种箱玉米籽粒质量,选择厚度为2 mm、材质为有机玻璃的护光板,从而为检测准确性提供保障。

1.5 变速补种系统硬件设计

该系统主要由电源模块、传感器模块、单片机和执行模块组成。单片机根据传感器信号判断是否漏播,发现漏播通过步进电动机进行变速补种,并将补种次数进行计数,电源模块作滤波、整流和保护处理,变速补种系统总体结构如图5所示。

2 EDEM 仿真分析

为了得到变速补种系统变速范围以及验证变速补种系统对匀式排种器排种性能的影响,运用离散元软件EDEM对其进行仿真分析,对比在不同转速下变速前后对其排种性能的影响,为变速补种系统

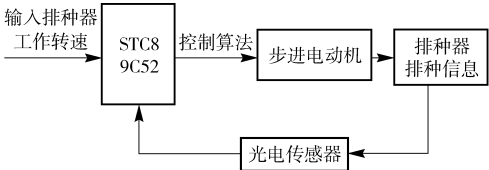


图 5 变速补种系统总体框图

Fig. 5 Whole structure of automatic reseeding system

的可行性提高理论依据^[18-20]。

2.1 玉米模型及仿真设定

为了使变速补种系统具有通用性,选取具有一定代表性的玉米籽粒外形形状品种:久龙 5 号(球形)、九单 57(锥形)和郑单 958(矩形)玉米品种,如图 6 所示。测定 3 个品种的玉米籽粒几何尺寸分别对其进行三维建模,为用 CATIA 制图软件建立的玉米籽粒三维几何模型,然后生成 .igs 文件,导入到 EDEM 软件里进行球体填充,仿真模型如图 7 所示。为简化玉米籽粒模型参数,在仿真中近似认为各类型玉米籽粒的泊松比、剪切模量、密度等物理参数一致。根据文献[17]设置籽粒模型的泊松比为 0.357,剪切模量为 2.17×10^8 Pa,密度为 $1\,250\text{ kg/m}^3$ 。

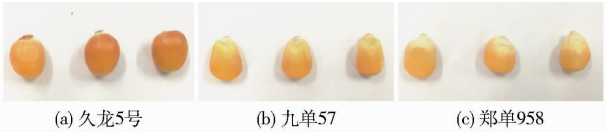


图 6 3 种玉米品种的几何特征

Fig. 6 Geometric characteristics of three varieties of corn

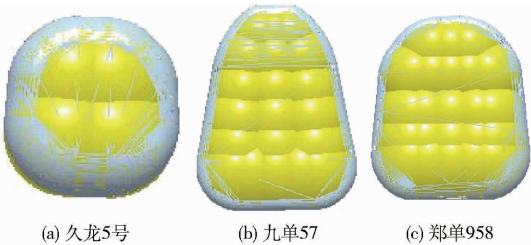


图 7 不同品种玉米籽粒仿真颗粒模型

Fig. 7 Particle models simulation of corn grain with different varieties

2.2 排种器模型

为便于仿真模拟及计算,将与玉米籽粒运动过程中接触无关的部件去除,应用三维制图软件 CATIA 对排种器进行实体建模,以 .igs 格式导入 EDEM 软件中,如图 1 所示为勺式排种器三维模型。将排种盘和排种轴设置为转动件,输入其转速、转动开始时间、转动结束时间以及转动初速度。其余零部件设置为固定件。创建虚拟工厂(即颗粒生成区域,虚拟工厂面积为排种器容腔正上部区域),并设定虚拟平面中心坐标、长边尺寸和短边尺寸。

2.3 仿真设定及仿真过程

模拟玉米籽粒在勺式排种器时,仿真设置过程

为:设置 EDEM 颗粒工厂以 $1\,000$ 个/s 的速率生成初速度为零的籽粒模型,总量为 $1\,500$ 粒,生成籽粒总时间为 1.5 s ,保证充种室内有充足籽粒进行仿真,为保证仿真的连续性,设置固定时间步长为 $4.2 \times 10^{-6}\text{ s}$,为 Rayleigh 时间步长的 20%,总时间为 30 s ,根据转速设置相应的转速加速度、加速时间和减速时间,后面的时间进行正常排种。根据田间实际作业中拖拉机前进速度为 $3 \sim 7\text{ km/h}$,对应排种器转速为 $13.9、18.5、23.1、27.7、32.3\text{ r/min}$,对 3 个品种进行一次仿真试验,共 15 次。对比变速前后播种合格指数、重播指数和漏播指数,观察变速对播种质量的影响。

在仿真过程中,排种器作业效果主要表现为单播、重播、漏播 3 种状态。为便于观察仿真过程中玉米籽粒运动形式,分析造成重播、漏播的主要原因,设置排种器后侧导种室以网格 (Mesh) 形式显示。图 8a 表示单播状态,种勺正常将单粒籽粒递入种槽轮。图 8b 表示重播状态,种勺将多颗籽粒递入种槽轮,在虚拟试验中,锥形籽粒重播较为严重,主要原因是锥形籽粒扁长,使得多颗籽粒自身重力、与籽粒及排种盘间摩擦力及种勺支持力相平衡,从而导致重播。图 8c 表示漏播状态,种勺未将种子递入种槽轮,主要原因是籽粒无法克服重力、摩擦力及夹持压力间的共同作用,使得籽粒在临近导种口处发生滑落,另一原因是籽粒被推至种槽轮时,因籽粒与隔板槽口间碰撞弹出。

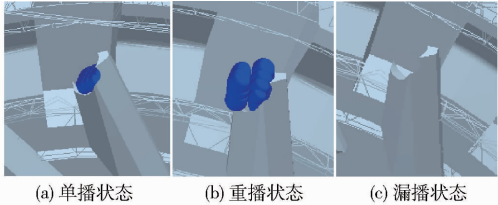


图 8 仿真中籽粒的 3 种状态

Fig. 8 Three statuses of corns in EDEM simulation processes

2.4 仿真结果与分析

表 1~3 分别表示 3 种玉米品种在变速情况下的仿真分析结果。仿真结果表明:变速前后,3 个品种合格指数下降,漏播指数上升,重播指数有升有降。而相较变速后可发现,当转速不超过 23.1 r/min 时,排种性能受影响不超过 2%;当转速超过 27.7 r/min 时开始出现变速种子抖落现象;在转速达到 32.3 r/min 时,变速时种子会出现严重的抖落现象,如图 9 所示。由此可知,变速对漏播指数的影响较大,进而影响到合格指数。当转速在 $13.9 \sim 32.3\text{ r/min}$ 时,勺式排种器对久龙 5 号排种性能最优,其合格指数大于 86%;对郑单 958 排种性能次之,其合格指数大于 85%;对九单 57 排种性能较

差,其合格指数大于 82%。

表 1 久龙 5 号仿真分析结果

Tab. 1 Results of simulation analysis for Jiulong No. 5

转速/ (r·min ⁻¹)	变速前			变速后		
	合格	重播	漏播	合格	重播	漏播
	指数	指数	指数	指数	指数	指数
13.9	90.30	6.51	3.19	88.93	5.38	5.69
18.5	89.13	7.51	3.36	86.99	5.26	7.75
23.1	85.72	7.01	7.27	83.53	6.41	10.06
27.7	82.39	8.85	8.76	76.84	7.39	15.77
32.3	78.57	7.72	13.71	63.01	9.63	27.36

表 2 九单 57 仿真分析结果

Tab. 2 Results of simulation analysis for Jiudan No. 57

转速/ (r·min ⁻¹)	变速前			变速后		
	合格	重播	漏播	合格	重播	漏播
	指数	指数	指数	指数	指数	指数
13.9	85.85	8.82	5.33	85.91	7.56	6.53
18.5	84.61	10.25	5.14	83.98	8.36	8.66
23.1	82.33	10.52	7.15	81.12	8.11	10.77
27.7	78.87	11.35	9.78	73.37	10.67	15.96
32.3	76.44	11.55	12.01	59.54	9.74	30.72

表 3 郑单 958 仿真分析结果

Tab. 3 Results of simulation analysis for Zhengdan No. 958

转速/ (r·min ⁻¹)	变速前			变速后		
	合格	重播	漏播	合格	重播	漏播
	指数	指数	指数	指数	指数	指数
13.9	89.34	6.51	4.15	88.97	5.82	5.21
18.5	87.85	7.82	4.33	86.61	6.25	7.14
23.1	84.22	6.96	8.82	83.32	6.11	10.57
27.7	81.81	8.05	10.14	74.57	10.67	15.36
32.3	76.44	11.55	11.61	61.33	10.73	27.94

为直观分析排种器作业性能随因素的变化趋势,以及对比变速前后作业性能,绘制出相应指标趋势曲线,如图 10 所示。

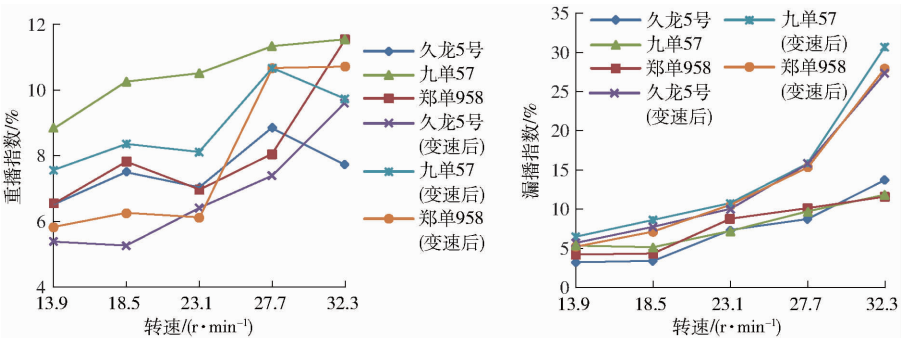


图 10 EDEM 排种仿真性能变化曲线

Fig. 10 Changing trend diagrams of EDEM seeding performance simulation

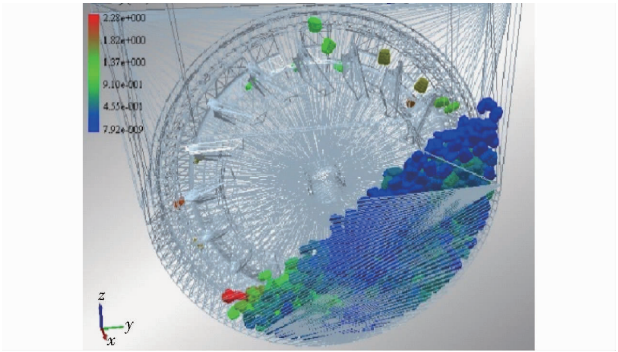


图 9 高速变速过程中的抖种状态

Fig. 9 Shaking state in process of high speed shifting

3 室内性能试验

为验证变速补种系统的补种效果,进行室内性能试验,试验地点为东北农业大学排种性能实验室。试验品种选用久龙 5 号、九单 57、郑单 958 这 3 种尺寸外形玉米籽粒,含水率分别为 14.23%、13.51%、12.09%。试验装置采用黑龙江省农业机械研究院研制的 JPS-12 型排种器性能检测试验台。试验过程中排种器固定不动,种床带相对于排种器反向运动,籽粒从排种口落至涂有油层的种床带上,通过试验台的图像采集处理装置进行实时检测,以实现准确测定各项排种性能指标的目的,如图 11 所示。

根据 GB/T 6973—2005《单粒(精量)播种机试验方法》的相关规定进行试验,每次测 200 粒种子。试验方案设置为每个品种玉米籽粒在 5 个速度下进行排种性能试验,每次重复 3 次,共 45 次。观察并记录重播指数、漏播指数和补种次数。并选用久龙 5 号进行普通排种(取下传感器),对比 2 种情况在相同作业速度下对玉米籽粒的排种效果。3 次试验结果平均值如表 4 和表 5 所示。

从表 4 和表 5 结果可得:在转速 13.9~23.1 r/min 时,漏播指数不超过 1.4%,平均补种率达到 89.95%;在转速 27.7~32.3 r/min 时,漏播变速补种系统在变速的减速阶段时种子抖落现象开始出现,导致漏播指数急剧增加,特别是速度达到

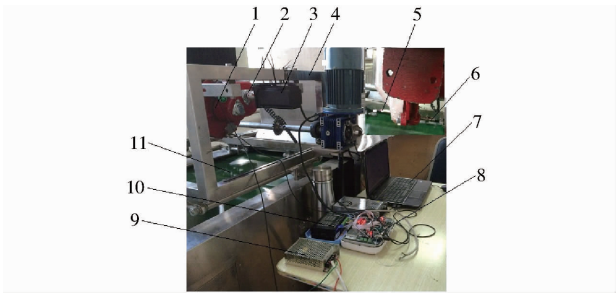


图 11 排种性能试验

Fig. 11 Seeding performance test

1. 勺式排种器 2. 联轴器 3. 步进电动机 4. 机架 5. 光电传感器接收端 6. 光电传感器发射端 7. 计算机 8. 控制器 9. 电源 10. 步进电动机驱动器 11. 种床带

表 4 久龙 5 号室内试验对比结果

Tab. 4 Comparison results of indoor experiments for Jiulong No. 5

转速/ (r·min ⁻¹)	变速补种排种			普通排种	
	重播 指数/%	漏播 指数/%	补种 次数	重播 指数/%	漏播 指数/%
13.9	6.7	0.7	6.7	9.3	5.0
18.5	5.0	0.7	7.3	8.3	5.7
23.1	6.7	1.3	10.7	4.7	9.3
27.7	8.3	7.3	22.7	5.3	16.3
32.3	9.3	20.7	39.0	5.7	21.3

表 5 九单 57 和郑单 958 试验结果

Tab. 5 Experiments results of Jiudan No. 57 and Zhengdan No. 958

转速/ (r·min ⁻¹)	九单 57			郑单 958		
	重播 指数/%	漏播 指数/%	补种 次数	重播 指数/%	漏播 指数/%	补种 次数
13.9	9.7	1.0	7.7	7.0	0.7	5.7
18.5	10.7	1.3	10.3	5.7	1.0	9.0
23.1	9.0	1.0	11.3	9.7	1.0	9.0
27.7	8.0	12.7	22.0	8.3	6.3	28.3
32.3	9.0	24.7	47.3	7.0	23.7	42.0

32.3 r/min时,种子抖落现象严重,导致排种器连续漏种而无法补种,在 3 种玉米类型中,久龙 5 号的漏播指数最低,郑单 958 次之,九单 57 最高,可见漏播变速补种系统对球形籽粒效果更好。随着排种器转速的增加,漏播指数越来越高,相应的补种次数越来越多。

由图 12 可知,带补种系统的排种工作性能要明显优于不带补种系统的勺式排种器。带补种系统与否对重播指数的影响不大,而对漏播指数影响极为显著。当转速在 13.9 ~ 23.1 r/min 之间时,漏播指数不超过 1.3%,平均补种率达到 89.95%,播种率达到 98.7%。在速度为 27.7 r/min 时,带补种系统的漏播指数要比不带补种系统的漏播指数低 10.4%。当转速达到 32.3 r/min 时,补种效果不明显,而补种次数显著增加,这是因为在变速中,种子出现严重的种子抖落现象而造成补种仍然空种的情况,这与仿真结果基本一致。试验表明变速补种系统在勺式排种器转速不超过 27.7 r/min 时,具有良好的补种效果。

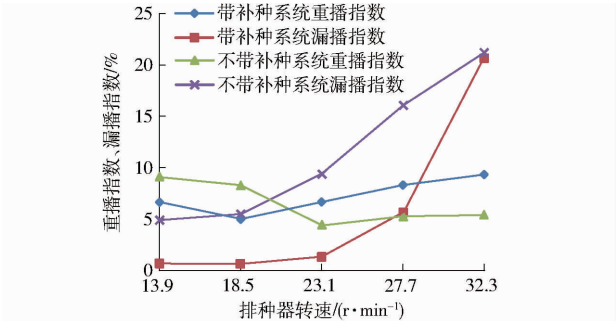


图 12 久龙 5 号排种试验对比曲线

Fig. 12 Trend comparison of seeding performance for Jiulong No. 5

4 结论

(1)针对勺式排种器的漏播情况,设计了变速补种系统,该系统可实现实时补种,并有效降低漏播率。

(2)通过 EDEM 仿真确定室内性能试验中试验变速范围,得到最佳变速范围为排种器工作转速不超过 27.7 r/min。

(3)在装有变速补种系统的勺式排种器转速处于 13.9 ~ 23.1 r/min 之间时,漏播率不超过 1.4%,平均补种率达到 89.95%,播种率达到 98.7%;在转速为 27.7 r/min 时,相较原勺式排种器漏播指数降低 10.4%,补种效果最为明显,表明变速补种系统的性能可靠;3 种玉米品种的排种性能优劣次序为:球形、矩形、锥形。

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2014.

2 李雷霞, 郝志明, 杨薇, 等. 精密播种机排种性能检测系统的研制[J]. 农业工程, 2012, 2(8): 16–19.

LI Leixia, HAO Zhiming, YANG Wei, et al. Design of seeding performance detection system for precision seeder[J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(8): 16–19. (in Chinese)

3 王铁固, 赵新亮, 张怀胜, 等. 玉米产量的边际效应及与主要农艺性状的相关分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(18): 122–126.

WANG Tiegou, ZHAO Xinliang, ZHANG Huaisheng, et al. Marginal effect of yield and correlation analysis with main agricultural traits in maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(18): 122–126. (in Chinese)

- 4 王铁固,赵新亮,张怀胜,等. 玉米产量及主要农艺性状的边际效应[J]. 广东农业科学, 2012, 39(4):22-25.
WANG Tiegū, ZHAO Xinliang, ZHANG Huaisheng, et al. Marginal effect of yield and main agronomic traits on maize[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(4): 22-25. (in Chinese)
- 5 AL-YAMANI A A, MITRA S, MCCLUSKEY E J. Optimized reseeding by seed ordering and encoding[J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2006, 24(2):264-270.
- 6 SINGH T P, MANE D M. Development and laboratory performance of an electronically controlled metering mechanism for okra seed[J]. AMA—Agricultural Mechanization in Asia Africa & Latin America, 2011, 42(2):63-69.
- 7 金衡模,高焕文. 玉米精播机漏播补偿系统的设计[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5):44-47.
JIN Hengmo, GAO Huanwen. Design of a microcomputer-controlled loss sowing compensation system for a maize precision drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(5): 44-47. (in Chinese)
- 8 龚丽农,戴玉华,蒋金琳. 具有自动补种功能的机械式精密排种系统[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7):60-63.
GONG Linong, DAI Yuhua, JIANG Jinlin. Experimental investigation of a new mechanical precision metering device with automatic compensative seeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 60-63. (in Chinese)
- 9 李士军,宫鹤,顾洪军. 具有自动补种功能的机械精密播种系统研究[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(1):106-109.
LI Shijun, GONG He, GU Hongjun. Research on precision seeding system with automatic reseeding[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2011, 33(1): 106-109. (in Chinese)
- 10 田立权,王金武,唐汉,等. 螺旋槽式水稻穴直播排种器设计与性能试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):46-52.
TIAN Liqun, WANG Jinwu, TANG Han, et al. Design and performance experiment of helix grooved rice seeding device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):46-52. (in Chinese)
- 11 张晓辉,赵百通. 播种机自动补播式监控系统研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):119-123.
ZHANG Xiaohui, ZHAO Baitong. Automatic reseeding monitoring system of seed drill[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 119-123. (in Chinese)
- 12 朱瑞祥,葛世强,翟长远,等. 大籽粒作物漏播自补种装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21):1-8.
ZHU Ruixiang, GE Shiqiang, ZHAI Changyuan, et al. Design and experiment of automatic reseeding device for miss-seeding of crops with large grain[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(21): 1-8. (in Chinese)
- 13 张晓东,吴建民,孙伟,等. 马铃薯播种器自动补偿系统的设计[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(1):145-149.
ZHANG Xiaodong, WU Jianmin, SUN Wei, et al. Design of automatic compensation system for potato planter[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(1): 145-149. (in Chinese)
- 14 刘全威. 马铃薯播种机播种监测与漏播补偿系统研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2013.
LIU Quanwei. Development of automatic monitor and loss reseeding compensation system for the potato seeder[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 15 丁幼春,王雪玲,廖庆喜,等. 油菜籽漏播螺旋管式补种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22):16-24.
DING Youchun, WANG Xueling, LIAO Qingxi, et al. Design and experiment on spiral-tube reseeding device for loss sowing of rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22):16-24. (in Chinese)
- 16 刘月琴,赵满全,刘飞,等. 基于离散元的气吸式排种器工作参数仿真优化[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7):65-72.
LIU Yueqin, ZHAO Manquan, LIU Fei, et al. Simulation and optimization of working parameters of air suction metering device based on discrete element [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7):65-72. (in Chinese)
- 17 石林榕,吴建民,孙伟,等. 基于离散单元法的水平圆盘式精量排种器排种仿真试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8):40-48.
SHI Linrong, WU Jianmin, SUN Wei, et al. Simulation test for metering process of horizontal disc precision metering device based on discrete element method[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(8): 40-48. (in Chinese)
- 18 赖庆辉,高筱钧,张智泓,等. 三七气吸滚筒式排种器充种性能模拟与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):27-37.
LAI Qinghui, GAO Xiaojun, ZHANG Zhihong, et al. Simulation and experiment of seed-filling performance of pneumatic cylinder seed-metering device for *Panax notoginseng*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 27-37. (in Chinese)
- 19 耿端阳,李玉环,孟鹏祥,等. 玉米伸缩指夹式排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):38-45.
GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Pengxiang, et al. Design and test on telescopic clip finger type of metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):38-45. (in Chinese)
- 20 翟建波,夏俊芳,周勇,等. 气力式杂交稻精量穴直播排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1):75-82.
ZHAI Jianbo, XIA Junfang, ZHOU Yong, et al. Design and experiment of pneumatic precision hill-drop drilling seed metering device for hybrid rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):75-82. (in Chinese)