

气流辅助高速投种精量播种机压种装置设计与试验

王云霞 张文毅 严伟 祁兵
(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

摘要: 气流辅助高速投种能够减小种子在导种管内因与管壁碰撞而产生的株距变异,但气流作用增大了种子落地的初速度,导致落地后弹跳对株距均匀性产生影响。为此,设计了一种适于气流辅助高速投种的精量播种机压种装置,在种子落地时,利用压种轮与土壤双向挤压作用实现种子精准定位。将压种装置安装在大豆精量播种机上进行了田间试验,结果表明,作业速度、导种管末端与压种轮的水平距离对株距合格指数、变异系数影响均显著,种子投射角对株距合格指数影响不显著、对株距变异系数影响显著。采用压种轮、压种舌和无压种条件下的对比试验表明,压种轮能够显著减少种子落地弹跳,采用压种轮的株距合格指数、变异系数明显优于采用压种舌和无压种条件,压种轮最优工作参数组合为作业速度 9.5 km/h、投射角 30°、导种管末端与压种轮的水平距离 75 mm,在此工作条件下株距合格指数、变异系数分别为 95.68%、10.32%。

关键词: 精量播种机; 气流辅助投种; 压种装置

中图分类号: S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)10-0069-08 **OSID:** 

Design and Experiment of Seed Pressing Device for Precision Seeder Based on Air Flow Assisted Seed Delivery

WANG Yunxia ZHANG Wenyi YAN Wei QI Bing
(Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

Abstract: The high speed operation is the development trend of precision seeding. Air flow assisted seed delivery can reduce the variation of plant spacing caused by the collision of seeds with the pipe wall and meet the requirements of high-speed operation. However, the air flow also accelerates seeds during delivery. Seeds with high speed tend to bounce after landing, which resulting in uneven plant spacing. Aiming at the above problems, a seed pressing device suitable for precision seeder with air flow assisted seed delivery was designed. The seed pressing device was installed behind the seed delivery tube on the seeder unit. When the seed fell to the ground, it was pressed by the squeezing action between the pressing wheel and the soil to avoid the seed jump and realize the accurate plant spacing. The seed pressing device was installed on the soybean precision seeder for field test, and the theoretical plant spacing was set to be 10 cm. The orthogonal test was carried out, and the factors were operating speed, horizontal distance between the end of the seed delivery tube and the pressing wheel, and projection angle of seed at the end of delivery tube. The test indexes were plant spacing qualification index and variation coefficient. The results showed that the operating speed, the horizontal distance between the end of the delivery tube and the pressing wheel had impact on the plant spacing qualification index and variation coefficient, while the projection angle had no significant impact on the plant spacing qualification index and significant impact on the plant spacing variation coefficient. At the same time, the comparison experiment was carried out under the conditions of seed pressing wheel, seed pressing tongue and no seed pressing. The results showed that the uniformity of plant spacing of seed pressing tongue and seed pressing wheel was better than that of no seed pressing operation, while the seed pressing wheel was better than the seed pressing tongue. This showed that the seed pressing wheel can significantly reduce seed bounce and had the ability to obtain the uniform plant spacing. For the seed pressing wheel, the

收稿日期: 2020-06-03 修回日期: 2020-07-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700704)和中国农业科学院基本科研业务费项目(S202002)

作者简介: 王云霞(1991—),女,助理研究员,博士,主要从事农业装备设计与理论研究,E-mail: wangyxsdu@126.com

通信作者: 祁兵(1986—),男,副研究员,主要从事精量播种装备研究,E-mail: qb0823521@163.com

plant spacing qualification index and coefficient of variation were significantly better than those under the conditions of seed pressing tongue and no pressing. The optimal working parameters of the seed pressing wheel were the working speed of 9.5 km/h, the projection angle of 30°, and the horizontal distance between the end of the delivery tube and the pressing wheel of 75 mm. Under these working conditions, the plant spacing qualification index and coefficient of variation were 95.68% and 10.32%, respectively. The research result can provide theoretical basis and technical support for solving the uneven planting space under the condition of air flow assisted seed delivery.

Key words: precision seeder; air flow assisted seed delivery; pressing device

0 引言

高速、高效是精量播种技术的发展趋势^[1]。高速条件下作业对播种机性能提出了更高的要求^[2-3]。随着作业速度的提高,播种机会因地表不平而振动加剧,由排种器排出的种子在经导种管输送的过程中极易与管壁发生碰撞,使原有粒距发生变化,导致作业后株距一致性变差^[4-8]。

气流辅助投种通过在导种管内引入正向气流来加速种子的运动,减小投种过程中种子与管壁的碰撞几率,以保证粒距的一致性。特别是在高速作业条件下,气流辅助投种具有显著优势^[9]。然而,气流辅助投种也会导致投种过程中种子的运动速度不断增大,最终种子脱离导种管时会以较大的速度投射到地表。由于种子脱离导种管时的初速度较大,落地瞬间动能无法完全释放,进而产生弹跳,弹跳后导致株距变异增大^[10-11]。因此,应用气流辅助投种技术必须解决种子由于投射速度较大产生的落地弹跳的问题。

国外已成功将气流辅助投种技术应用于高速精量播种机上。高速精量播种机采用气力式排种器,相对于气吸式排种器需要增加气流管道,正压式排种器更有利于实现气流辅助投种。进入排种器的正压气流一部分通过型孔流出,另一部分直接进入导种管,用于辅助投种。瑞典 Väderstad^[12]、荷兰 Kverneland^[13]、德国 Amazone^[14]等播种机生产公司均采用了正压排种器与气流辅助投种组合技术,将进入排种器的部分气流引入导种管内,加速种子运动,以满足高速条件下的作业要求。同时,为解决种子投射后落地弹跳的问题,在导种管后方配备了压种装置,以实现种子精准定位。目前,我国学者对正压式排种器已进行了较多研究,利用正压式原理设计了排种系统^[15-17],但大多关注排种器的自身工作性能,虽有涉及利用正向气流实现辅助投种,但对投送后种子弹跳问题未进一步探讨。蓝薇^[18]针对玉米精密播种的气压气送式集中排种系统进行了试验研究,发现泄压孔和压种轮两种方案对避免种子落地弹跳有明显效果,但该研究仅限于低速条件下的

室内输送带试验。

本文在现有正压式排种器的基础上,设计一种适于气流辅助高速投种的精量播种机压种装置,在种子落地时利用压种轮与土壤双向挤压作用实现种子精准定位。通过理论分析方法,分析种子投射过程中的受力状态和运动轨迹,寻找影响压种效果的关键因素,并通过进一步试验确定压种轮的最优工作参数组合。

1 结构与工作原理

装有压种装置的大豆播种机单体结构如图 1a 所示,包括平行四连杆机构、双圆盘开沟器、限深轮、压种装置以及覆土镇压装置。作业时,先由双圆盘开沟器开出种沟,种子经排种器及导种管输送后落入种沟,压种装置压住落入种沟的种子避免弹跳,最终由覆土镇压装置进行覆土镇压。采用的排种器为中央集排气送式精量排种器^[16],其工作原理为:气流由进气口进入,在排种滚筒型孔内外两侧形成一定压差,种子在压差作用下被吸附在型孔上,并随排种滚筒转动到达导种管处,通过导种管的阻挡落入导种管内。由于排种器腔室内充满正向气流,部分气流进入导种管,气流方向与种子运动方向相同,会加快种子在导种管内的运动速度,起到辅助投种的作用。

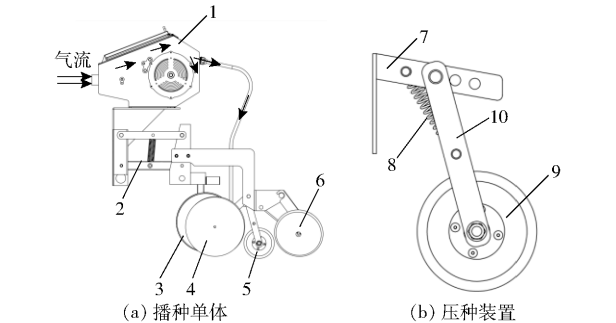


图 1 装有压种装置的播种单体结构图

Fig. 1 Structure diagrams of seeder unit with seed pressing device

1. 排种器 2. 平行四连杆机构 3. 双圆盘开沟器 4. 限深轮
5. 压种装置 6. 覆土镇压装置 7. 安装架 8. 弹簧 9. 压种轮
10. 连接板

压种装置安装在播种单体导种管后方,用于压住由导种管投送的种子。压种装置的结构及尺寸参数主要依据现有播种单体后方可提供的连接部件结构和容纳尺寸确定。压种装置如图 1b 所示,主要由安装架、连接板、压种轮、弹簧等组成。安装架与播种单体固定连接,连接板与安装架之间通过销轴连接。弹簧一端连接在安装架上,另一端连接在连接板上。安装架上开有 3 对通孔,方便调节压种轮与导种管相对位置。压种装置整体参数为:16.5 cm × 7.2 cm × 23.8 cm,其中压种轮根据播种单体限深轮后方空间高度和种沟宽度确定直径为 12 cm,宽度为 2 cm。作业时,压种轮沿地表行走、随地表起伏上下浮动,导种管投送的种子落地后被压种轮压住。压种轮沿地表行走时弹簧被拉紧,始终为压种轮提供一定镇压力,保证压种效果。

2 投种过程分析及关键工作参数确定

由排种器排出的种子首先进入导种管,经过一段时间的运动到达距离地表较近的导种管末端,之后脱离导种管投射到地表被压种轮压住。种子脱离导种管时的运动参数对种子着地点位置有重要影响,也是确定压种轮与导种管相对位置关系的重要依据。因此,对投种过程及压种过程中种子的受力状态和运动轨迹进行了分析,为明确影响压种装置工作效果的关键工作参数提供理论依据。

2.1 投种过程分析

投种过程是指脱离排种器的种子从进入导种管直至落地前的过程,包括种子在导种管内以及种子脱离导种管后 2 个运动阶段。

(1) 种子在导种管内

为了避免种子与导种管壁碰撞,导种管理想布置状态是与种子运动方向一致,不会对种子下落轨迹产生干涉。但受排种器与播种单体位置关系限制,导种管与种子运动方向不可能完全一致。假设某时刻种子运动方向与导种管壁面呈一定角度 α ,如图 2 所示。种子除自身重力 mg 外,受力还包括正向气流作用产生的曳力 F_Q 、竖直向上的浮力 F_B 及导种管壁的支持力 F_N 。种子受力状态公式为^[19-21]

$$\begin{cases} F_Y = F_Q + mg \cos \alpha - \mu F_N - F_B \cos \alpha \\ F_X = F_N + F_B \sin \alpha - mg \sin \alpha \\ F_Q = \frac{1}{2} AC_d \rho u_R^2 \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$u_R^2 = \frac{2p_t}{\rho} \quad (2)$$

根据牛顿第二定律,种子在运动方向加速度为

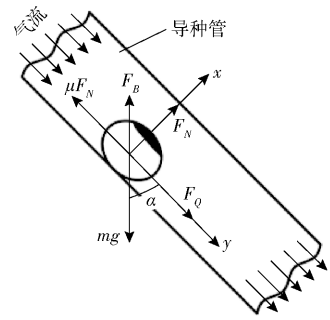


图2 种子在导种管内的受力状态

Fig.2 Force analysis of seeds in tubes

$$a = \frac{F_Y}{m} \quad (3)$$

由式(1)~(3)得

$$a = \frac{AC_d p_t}{m} + g \cos \alpha + \mu \frac{F_N}{m} - \frac{F_B \cos \alpha}{m} \quad (4)$$

式中 F_Y ——种子沿运动方向的受力, N

F_X ——种子垂直于运动方向的受力, N

m ——种子质量, kg

g ——重力加速度, m/s^2

p_t ——导种管内的气流压强, Pa

μ ——导种管摩擦因数

A ——种子迎风面的受力面积, m^2

C_d ——曳力系数

ρ ——空气密度, kg/m^3

u_R ——气流速度, m/s

a ——种子运动加速度, m/s^2

式(4)中,在一定流场状态下,浮力 F_B 与重力 mg 不变,投种过程中种子的加速度主要与气流压强 p_t 、种子运动方向与管壁的夹角 α 有关。气流压强越大、种子运动方向与管壁的夹角越小,种子的加速度越大。对于投种过程而言,种子加速度越大,投种时间越短,种子与导种管碰撞产生株距变异的几率越小。

(2) 种子脱离导种管后

为防止种子落地滚动,导种管末端需向后与地表保持一定倾角,以抵消种子沿机具前进方向的速度^[22]。假设种子以投射角 β 脱离导种管(图 3),之后不再受气流作用,仅受自身重力 mg 作用。种子脱离导种管后的轨迹方程为

$$\begin{cases} x = v_X t \\ y = v_Y t + \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (5)$$

其中

$$\begin{cases} v_X = v \cos \beta - v_0 \\ v_Y = v \sin \beta \end{cases} \quad (6)$$

联合式(5)、(6)得

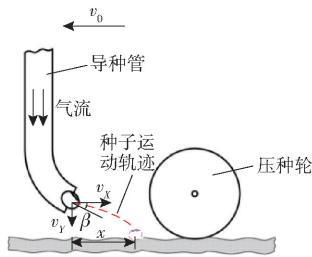


图3 种子投射过程中的运动轨迹状态
Fig.3 Trajectory analysis of projecting seeds

$$x = \frac{v \cos \beta - v_0}{g} \left[\sqrt{2gy - v^2 \sin^2 \beta} - (v \cos \beta - v_0) \right] \quad (7)$$

式中 x ——种子水平方向位移, m
 y ——导种管底端离地高度, m
 v_x ——种子水平方向速度, m/s
 v_y ——种子竖直方向速度, m/s
 v_0 ——播种机作业速度, m/s
 v ——种子脱离导种管末端速度, m/s
 t ——种子运动时间, s

种子脱离导种管直至落地过程中的水平位移是布置压种装置位置时需要考虑的主要因素。从式(7)中可以看出,种子投射过程中的水平位移主要与种子投射初速度 v 、机具作业速度 v_0 以及投射角 β 有关,而种子投射初速度由种子在导种管内的加速度 a 决定。因此,得出种子投射过程中的水平位移主要受气流压力 p_i 、种子运动方向与管壁的夹角 α 、机具作业速度 v_0 、投射角 β 的影响。

2.2 压种过程分析

种子以一定速度投射到地表,由于投射速度较大,落地瞬间动能无法完全释放,继而产生弹跳。种子弹跳会导致株距变异,影响株距均匀性。以种子落地点为参考,种子从导种管末端运动至落地点的水平位移为 x ,导种管末端与种子-压种轮碰撞点的水平距离为 l ,压种轮布置位置相对落地点有4种情况,如图4所示。

如图4a,压种轮布置在种子落地点后方($l \geq x$),种子投射到地表后会先产生一次弹跳,运动轨迹为1-2-3,速度减小后在位置3处被压种轮压住。这种情况无法实现种子精准定位,因为种子弹跳后已经改变了原定株距,播种后株距不均匀。

如图4b,压种轮布置在种子落地点处($l = x$),在种子落地瞬间利用压种轮与土壤双向挤压作用将其压住,很好地避免了种子弹跳,播种后株距分布均匀一致。

如图4c,压种轮布置在种子落地点前方,种子与压种轮碰撞点的线速度 v_p 与种子投射速度 v 方向

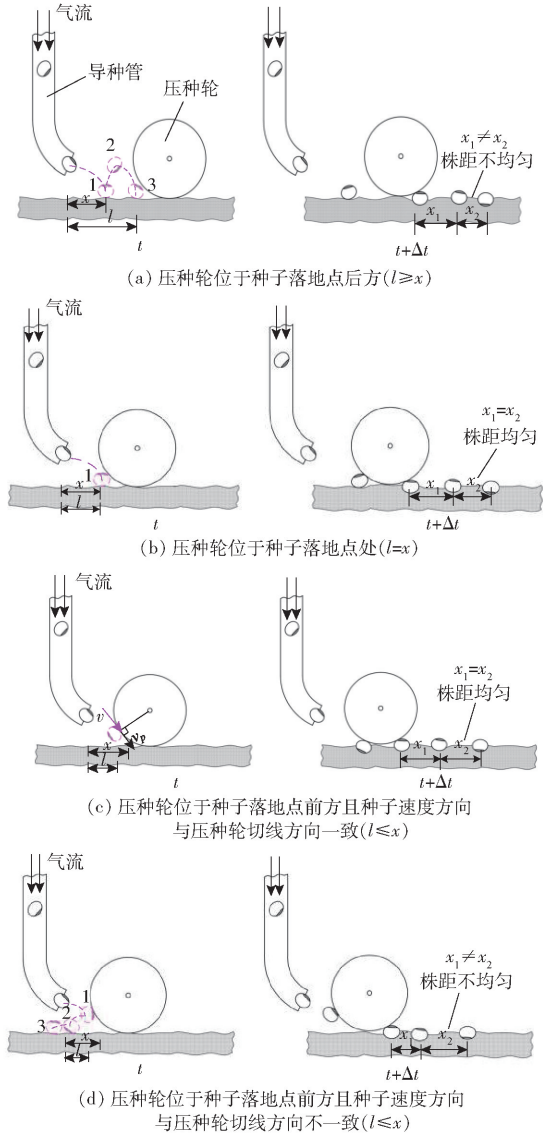


图4 压种轮相对种子落地点布置位置
Fig.4 Position of pressing wheel relative to seed projection point

一致,能够在种子投射到地表时压住种子,这种情况下能很好地避免种子产生弹跳。但考虑到也会出现种子与压种轮碰撞点的线速度 v_i 与种子投射速度 v 方向不一致的情况(图4d),种子与压种轮碰撞时产生弹跳,运动轨迹为1-2-3,速度减小后在位置3处被压种轮压住,这种情况也会导致播种后株距不一致。

综上所述可知,实现利用压种轮压住种子有以下2种情况:压种轮布置在种子落地点前方,种子落地前完成压种;压种轮布置在落地点处,种子落地瞬间进行压种。由此得出,导种管末端与压种轮的水平距离需小于或等于投射过程中的水平位移,才能实现压种,即 $l \leq x$ 。

通过对投送过程及压种程中种子的受力状态和运动轨迹进行分析,得出了影响压种效果的关键因素。气流压力 p_i 、种子运动方向与管壁的夹角 α 决定了种子在导种管内的加速度 a ,也决定了种子在

导种管末端的投射初速度 v ; 种子投射初速度 v 、机具作业速度 v_0 以及投射角 β 决定了种子投射过程中的水平位移, 而导种管末端与压种轮的水平距离 l 决定了能否精确压住种子。在本研究中, 受播种单体结构和排种器工作压力需求的限制, 种子运动方向与管壁的夹角 α 以及气流压力 p_i 不便调节, 因此试验中不再考虑种子运动方向与管壁的夹角 α 以及气流压力 p_i 的变化。

综合以上分析, 确定导种管末端倾角、机具作业速度及压种轮与导种管末端水平距离是影响种子运动轨迹及压种效果的关键因素。由于理论分析中存在诸多不明确数值的参数, 仅通过理论分析无法获取压种装置的最佳工作参数。因此, 还需进一步进行试验研究, 求取实现精准压种的工作参数。

3 田间试验

3.1 试验设计与结果

3.1.1 试验设计

将压种装置安装在大豆精量播种机上进行田间试验, 设定大豆理论株距为 10 cm。为优选出压种装置较优工作参数, 以作业速度、投射角、导种管底端与压种轮的水平距离作为试验因素, 以株距合格率 Q 、株距变异系数 V 为指标, 进行三因素三水平正交试验 $L_9(3^4)$, 设置因素水平如表 1^[23]。其中, 导种管底端与压种轮水平距离以播种机到达指定播深后测量所得, 考虑到播种机开出的种沟较为平坦, 在 55 ~ 95 mm 长度范围内种沟底面高度起伏变化不大, 压种轮上下位置变化较小, 且压种轮上下位置发生微小浮动对压种轮与导种管末端水平距离的影响可以忽略, 可保证作业过程中导种管底端与压种轮水平距离相对稳定。

表 1 试验因素水平
Tab.1 Factors levels of tests

水平	因素		
	作业速度	投射角	水平距离
	$v_0 / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$\beta / (^{\circ})$	l / mm
1	9.5	20	55
2	10.9	25	75
3	12.5	30	95

为能够调整导种管投射角, 设计了导种管投射角调整装置, 如图 5 所示。该装置由固定架、导种管托环、调节螺母、丝杠组成。固定架通过螺栓与播种单体侧板连接, 2 条丝杠前端与固定架焊接, 导种管托环套接在丝杠上, 并由前后两端调节螺母锁定位置。通过拧动螺母, 带动导种管托环前后移动, 从而调整导种管入射角。

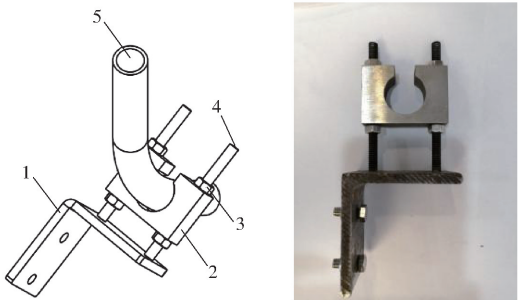


图 5 导种管投射角调整装置结构图与实物图
Fig.5 Structure of projection angle adjusting device for seed delivery tube

1. 固定架 2. 导种管托环 3. 调节螺母 4. 丝杠 5. 导种管

播种作业后, 人工扒土将种子刨出, 测量 50 粒种子株距, 进行 3 次重复试验, 如图 6。根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》计算株距合格指数 Q 、株距变异系数 V 。

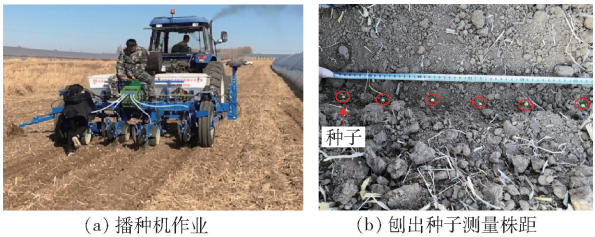


图 6 田间试验
Fig.6 Field tests

3.1.2 试验结果及分析

按照正交表设计规则, 设计了如表 2 所示试验方案 (A 、 B 、 C 为因素水平值)。为明确各因素对株距合格指数、变异系数影响的主次关系, 首先采用直观分析法对试验结果进行分析(表 2)。分析结果表明, 对于株距合格指数 Q , 三因素的影响主次顺序为作业速度 A 、水平距离 C 、投射角 B 。根据株距合格指数越高越好的原则, 优选出参数组合方案为 $A_1B_3C_2$, 即作业速度 9.5 km/h、投射角 30°、水平距离 75 mm; 对于株距变异系数 V , 三因素的影响主次顺序为作业速度 A 、投射角 B 、水平距离 C , 根据株距变异系数越低越好的原则, 优选出参数组合方案为 $A_1B_2C_2$, 即作业速度 9.5 km/h、投射角 25°、水平距离 75 mm。

可以看出, 对于株距合格指数和变异系数, 优选出的作业速度 A 均为最低作业速度 9.5 km/h。随着作业速度的提高, 播种机受地表不平影响振动程度增大, 导种管随播种机的振动程度增大而振动加剧, 导种管内种子与管壁碰撞的几率增大, 导致株距合格指数随作业速度的增大而降低, 变异系数随作业速度增大而增大^[24]。对于株距合格指数和变异系数, 优选出的水平距离均为 75 mm, 表明压种轮与导种管末端的水平距离需设置在合适值, 水平距离较大导致种子落地后即可弹跳, 压种轮起不到压种

作用;水平距离较小导致种子与压种轮碰撞弹跳,同样没有压种作用,这与理论分析结果一致。

表 2 正交试验方案及结果

Tab.2 Test treatment and range analysis					
试验号	因素			株距合格	株距变异
	A	B	C	指数 Q/%	系数 V/%
1	1	1	1	92.24	13.12
2	1	2	2	94.18	9.55
3	1	3	3	90.32	13.45
4	2	2	3	90.25	15.62
5	2	3	1	85.21	14.23
6	2	1	2	88.65	17.56
7	3	3	2	79.50	21.52
8	3	1	3	82.50	19.56
9	3	2	1	85.23	20.58
Q	K ₁	276.74	261.69	263.39	
	K ₂	264.11	261.89	269.66	
	K ₃	246.93	264.20	254.73	
	R	9.94	0.84	4.98	
V	K ₁	35.82	50.26	50.24	
	K ₂	47.41	43.04	45.43	
	K ₃	61.64	51.57	49.50	
	R	8.67	2.88	1.60	

为进一步明确各因素对株距合格指数、变异系数影响的重要程度,运用 IBM SPSS Statistics 21 软件^[25]对试验结果进行了方差分析(表 3)。结果表明,株距合格指数、变异系数的检验模型均达到极显著性水平($P<0.01$),说明分析结果有效。对于株距合格指数 Q ,作业速度 A 、水平距离 C 的影响达到极显著性水平($P<0.01$),而投射角 B 的影响不显著($P>0.05$);对于株距变异系数 V ,作业速度 A 、投射角 B 的影响达到极显著性水平($P<0.01$),水平距离 C 的影响达到显著性水平($P<0.05$)。

表 3 方差分析结果

Tab.3 Results of variance analysis						
因变量	方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F	P
株距合格指数 Q	模型	188.022	6	31.337	340.578	0.003
	A	149.556	2	74.628	811.077	0.001
	B	1.297	2	0.649	7.050	0.124
	C	37.468	2	18.734	203.607	0.005
	误差	0.184	2	0.092		
	总计	69 143.464	9			
株距变异系数 V	模型	129.837	6	19.503	440.430	0.002
	A	111.499	2	52.220	1197.698	0.001
	B	14.067	2	4.524	103.753	0.006
	C	4.270	2	0.865	19.840	0.020
	误差	0.087	2	0.044		
	总计	2 461.848	9			

极差分析结果表明,使得株距合格指数 Q 最大的优选方案为 $A_1B_3C_2$,而使得株距变异系数 V 最小的优选方案为 $A_1B_2C_2$ 。作业速度 A 、水平距离 C 的较优水平相同,投射角 B 的较优水平不同。结合方差分析结果,投射角 B 对株距合格指数的影响不显著,对株距变异系数的影响极显著,按正交试验的分析方法,应根据达到显著性水平的指标优选出因素的水平,即按株距变异系数选取投射角 B_2 (25°)。但在本试验中,考虑到株距合格指数是衡量播种质量的最重要指标,且没有 $A_1B_3C_2$ 组合条件下的试验结果,为保证获取播种质量较好的参数组合,还需对两种优选方案进行进一步确定。

3.2 对比试验结果及分析

为从 2 种组合参数中($A_1B_3C_2$ 、 $A_1B_2C_2$) 优选出投射角 B ,在作业速度 A_1 (9.5 km/h)、水平距离 C_2 (75 mm) 条件下进行 2 种投射角 (25° 、 30°) 的对比试验。同时,为验证优选出的工作参数组合,选择了无压种及压种舌进行了对比,如图 7 所示。试验后,采用同样的方法进行扒土测量种子株距,计算株距合格指数 Q 和变异系数 V 。



图 7 田间对比试验

Fig.7 Filed comparison test

对比结果如表 4 所示,在 A_1 、 C_2 条件下,压种装置 2 种组合的株距合格指数分别为 95.68%、94.06%,投射角 B_3 水平相对投射角 B_2 水平提高 1.62 个百分点;而株距变异系数差距不大,投射角 B_3 、 B_2 水平分别为 10.32%、9.97%,投射角 B_2 水平相对投射角 B_3 水平减小 0.35 个百分点。综合考虑株距合格指数、变异系数,优选的投射角为 B_3 (30°),即确定的较优参数组合为作业速度 9.5 km/h 、投射角 30° 、水平距离 75 mm 。

表 4 对比试验结果

Tab.4 Results of comparison tests			%
处理	株距合格指数 Q	株距变异系数 V	
无压种	65.56	32.92	
压种舌	77.09	23.87	
压种轮 ($A_1B_3C_2$)	95.68	10.32	
压种轮 ($A_1B_2C_2$)	94.06	9.97	

注:0.01 < P < 0.05 为显著性水平,P < 0.01 为极显著性水平。

将压种轮较优参数组合处理与无压种和压种舌 2 种条件对比,发现压种轮的株距合格指数明显高于无压种、压种舌处理,株距变异系数明显低于无压种、压种舌处理,表明压种轮起到了较好的压种作用,减少了种子的落地弹跳。压种舌相对于无压种处理的株距合格指数及变异系数指标较好,表明压种舌具有减少种子落地弹跳的作用,但作用效果有限。压种舌表面轮廓为由上部的平滑曲面过渡到底部的平面,底部平面部分相对导种管末端距离较大,且作业过程中仅底部曲面与种沟底部接触,其运动形态为相对滑动,不适用于种子落地弹跳较为明显的气流辅助投种方式,压种效果有限。

4 结论

(1)针对气流辅助投种条件下种子落地弹跳影响株距一致性的问题,设计了适用于气流辅助投种的精量播种机压种装置,利用布置在导种管后方的

压种轮压住高速投送种子,减少种子落地弹跳,提高了株距一致性。

(2)正交试验表明,影响株距合格指数的因素主次顺序为作业速度、导种管末端与压种轮的水平距离、投射角,其中作业速度、导种管末端与压种轮的水平距离对株距合格指数影响极显著,投射角的影响不显著;影响株距变异系数的因素主次顺序为作业速度、投射角、水平距离,其中作业速度、投射角达到极显著水平,水平距离达到显著性水平。

(3)采用压种轮、压种舌和无压种条件下的对比试验表明,压种轮对提升株距一致性效果显著,获取的株距合格指数、变异系数显著优于采用压种舌和无压种条件;通过对比试验获得压种装置较优工作参数组合:作业速度 9.5 km/h、投射角 30°、水平距离 75 mm,在此工作条件下株距合格指数、变异系数分别为 95.68%、10.32%。

参 考 文 献

- [1] 李玉环,杨丽,张东兴,等. 豆类作物一器双行气吸式高速精量排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 61–73.
LI Yuhuan, YANG Li, ZHANG Dongxing, et al. Design and experiment of pneumatic precision seed-metering device with single seed-metering plate for double-row [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 61–73. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190706&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.006. (in Chinese)
- [2] 王业成,靳亚东,罗嗣博,等. 集排式大豆精量排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 112–118.
WANG Yecheng, JIN Yadong, LUO Sibao, et al. Design and experiment of centralized precision soybean seed-metering device [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6): 112–118. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180613&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.013. (in Chinese)
- [3] 杨丽,史嵩,崔涛,等. 气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 48–53.
YANG Li, SHI Song, CUI Tao, et al. Air-suction corn precision metering device with mechanical supporting plate to assist carrying seed[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 48–53. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2012s10&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.010. (in Chinese)
- [4] YANG Li, YAN Bingxin, CUI Tao, et al. Global overview of research progress and development of precision maize planters [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2016, 9(1): 9–15.
- [5] STAGGENBORG S A, TAYLOR R K, MADDUX L D. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(5): 573–580.
- [6] ARZU Y, DEGIRMENCIOGLU A. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plate [J]. Measurement, 2014, 56: 128–135.
- [7] 刘芳,杜瑞成. 内置式双位投种穴播器 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 35–40, 29.
LIU Fang, DU Ruicheng. Embedded double-position throwing seeds dibbler [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 35–40, 29. (in Chinese)
- [8] LIU Quanwei, YANG Li, ZHANG Dongxing, et al. Maize seed movement characteristic and seed-filling performance analysis in seed transportation and delivery unit based on ADAMS [C] // 2015 ASABE Annual International Meeting, ASABE Paper 152189856.
- [9] 王超,李洪文,何进,等. 稻麦轮作区气动式小麦精准投种装置设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 43–53.
WANG Chao, LI Hongwen, HE Jin, et al. Design and experiment of pneumatic wheat precision seed casting device in rice-wheat rotation areas [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 43–53. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200505&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.005. (in Chinese)

- [10] 杨丽, 颜丙新, 张东兴, 等. 玉米精密播种技术研究进展 [J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 38–48.
YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 38–48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161106&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.006. (in Chinese)
- [11] 刁培松, 杜瑞成, 杨自栋, 等. 气动射种理论研究 [J]. 农机化研究, 2005, 27(1): 94–96.
DIAO Peisong, DU Ruicheng, YANG Zidong, et al. Theoretical research on pneumatic seeding [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, 27(1): 94–96. (in Chinese)
- [12] Tempo-high speed planters from Vaderstad [EB/OL]. (2019-08-05) [2020-05-26]. <https://www.vaderstad.com/en/planting/tempo-planter/>.
- [13] Kverneland corporate [EB/OL]. (2019-08-05) [2020-05-26]. <https://ien.kverneland.com/News/Product-news/Archive-Product-News/Archive-20192/Qualidisc-Pro-short-disc-harrow-for-high-performance>.
- [14] Amazon precision seeders [EB/OL]. (2020-03-28) [2020-05-26]. <https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/seeding>.
- [15] 史嵩, 张东兴, 杨丽, 等. 气压组合孔式玉米精密排种器设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 10–18.
SHI Song, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 10–18. (in Chinese)
- [16] 祁兵, 张东兴, 崔涛. 中央集排气送式玉米精密排种器设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 8–15.
QI Bing, ZHANG Dongxing, CUI Tao. Design and experiment of centralized pneumatic seed metering device for maize [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 8–15. (in Chinese)
- [17] 李中华, 王德成, 刘贵林, 等. 气流分配式排种器 CFD 模拟与改进 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 64–68.
LI Zhonghua, WANG Decheng, LIU Guilin, et al. CFD simulation and improvement of air-stream distributive metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 64–68. (in Chinese)
- [18] 蓝薇. 玉米种子气流远程输送投种试验与参数优化 [D]. 北京: 中国农业大学, 2013.
LAN Wei. Parameter optimization test on maize pneumatic delivery [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [19] 王铎. 理论力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [20] 张业明, 岳红伟, 李珂, 等. 高输送气流速度下竖直管道内物料的运动分析 [J]. 液压与气动, 2018(10): 54–58.
ZHANG Yeming, YUE Hongwei, LI Ke, et al. Motion analysis of material in vertical pipe under high transport airflow velocity [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2018(10): 54–58. (in Chinese)
- [21] 朱健云, 杨晓燕, 归柯庭, 等. 水平管气力输送最佳经济速度的模拟研究 [J]. 工程热物理学报, 2008, 29(10): 1688–1690.
ZHU Jianyun, YANG Xiaoyan, GUI Keting, et al. Simulation research on optimal economic speed of horizontal pipe pneumatic conveying [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2008, 29(10): 1688–1690. (in Chinese)
- [22] 刘建英, 张鹏举, 刘飞. 离散元模拟导种管高度对排种性能的影响 [J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 12–16.
LIU Jianying, ZHANG Pengju, LIU Fei. The discrete element simulation guide tube height effects on seeding performance [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(1): 12–16. (in Chinese)
- [23] 史嵩, 张东兴, 杨丽, 等. 基于 EDEM 软件的气压组合孔式排种器充种性能模拟与验证 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 62–69.
SHI Song, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Simulation and verification of seed-filling performance of pneumatic-combined holes maize precision seed-metering device based on EDEM [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 62–69. (in Chinese)
- [24] 祁兵. 中央集排气送式精量排种器设计与试验研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2013.
QI Bing. Design and experiment of a centralized pneumatic metering device [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [25] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.