

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.017

气力集排式水稻排种系统播量控制模型研究

祁兵 张文毅 余山山 纪 要 李 坤 张书彦

(农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

摘要: 水稻排种器播量调整多采用排种槽有效长度调节或排种轮与机具前进速比调节,播量调整精度有限。为了提高气力集排式排种系统播量调节精度,针对生产中常用的4种不同含水率稻种状态,以种层高度、排种轮转速为试验因素,以排种轮单圈排量为试验指标开展试验研究,分析各作业过程中的动态变化参数对排种轮单圈排量的影响规律。试验表明:不同稻种状态下单圈排量均随着排种轮转速的升高而降低,当种层高度一定时,二者成反比关系;单圈排量随种层高度的升高呈先增大后减小的趋势变化,不同稻种状态下的单圈排量最大值出现在种层高度为25.35~31.55 cm处;4种不同稻种状态下,单圈排量由大到小依次是干稻种、晾干2 d、晾干1 d、湿稻种,单圈排量随种子含水率的升高而降低。通过二元回归分析拟合出4种常见稻种状态下单圈排量与种层高度、排种轮转速的回归模型,并构建了基于排种轮转速调控的播量控制模型。在室内搭建了控制系统试验平台对播量控制模型进行了验证试验,试验显示构建的播量控制模型平均误差2.07%,实际播量变异系数为2.59%,验证结果与播量控制模型基本一致。本文建立了多因素影响下的水稻播量控制模型,明确了种层高度、排种轮转速、稻种含水率对单圈排量的影响规律,可为水稻直播机播量控制系统设计与优化提供借鉴。

关键词: 水稻;直播机;气力式排种器;播量控制

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0125-07

Establishment of Seeding Amount Control Model for Centralized Pneumatic Metering System for Rice

QI Bing ZHANG Wenyi YU Shanshan JI Yao LI Kun ZHANG Shuyan

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: Rice is one of the most important food crops in China. Rice direct seeding is becoming more and more popular in China for its low-input demand. A centralized pneumatic metering system for rice direct seeding was involved, which distributed seeds to 33 rows through only one metering system. There were two main ways to adjust the seeding amount of a rice seeder. One was the effective length adjustment of seed meter and the other one was the adjustment of speed ratio of metering wheel and machine. Either way treated seeding rate of each turn (SRE) as a fixed value, and the accuracy of seeding rate adjustment was poor. Seed height (h), speed of the seed metering wheel (n) and seed moisture content were the key factors for SRE of the metering system. In order to improve the accuracy of seeding rater of the centralized pneumatic metering system, experiments were carried out through a metering device test-bed JPS-12, seed height (h) and speed of the seed metering wheel (n) under four different moisture contents of seeds were selected as the experimental factor while SRE was selected as the test index. The effect of seed height (h), speed of seed metering wheel (n) and seed moisture content on SRE was revealed by the analysis of the test data. The experiment showed that SRE of different seed moisture content was decreased with the increase of rotation speed of the metering wheel. When the height of the seed height was fixed, the two was inverse ratio. SRE was increased at first and then decreased with the increase of seed height, and the maximum of SRE appeared when the seed height was between 25.35 cm

收稿日期: 2018-07-09 修回日期: 2018-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51505243)、国家重点研发计划项目(2017YFD0700704)、江苏省重点研发计划项目(BE2016342)和中国农业科学院基本科研业务费专项(S201702)

作者简介: 祁兵(1986—),男,副研究员,博士,主要从事精量播种技术研究,E-mail: qb0823521@163.com

通信作者: 张文毅(1966—),男,研究员,主要从事种植机械技术研究,E-mail: zwy-yxkj@163.com

and 31.55 cm. Under the four different seed moisture contents, SRE from large to small were dry seed, seed that dried two days, seed that dried one day and wet seed, and SRE was decreased with the increase of seed moisture content. With two-regression analysis, the regression model of SRE with seed height and speed of the seed metering wheel under four different seed moisture contents was acquired, and a seeding amount control model based on the control of speed of the seed metering wheel was constructed. The test platform was built to test the seeding amount control model. The average error of the control model was 2.07%, and the actual sowing quantity variation coefficient was 2.59%. The verification results were basically consistent with the control model. The control model of rice seeding amount under the influence of multiple factors was established. The influence of seed height, speed of the seed metering wheel and seed moisture content on SRE was clarified, which could be used for the design and optimization of rice seeding amount control system.

Key words: rice; seeder; pneumatic seed metering device; seeding amount control

0 引言

水稻机直播技术因其具有省工节本、轻简高效的优势,近几年在我国发展迅速^[1-2]。气力集排式排种系统适应性强、效率高,国外自20世纪80年代就开始在小麦、油菜、水稻等作物直播作业中广泛应用^[3-6],我国目前仍处于研发阶段,尚未大面积应用^[7-8]。

气力集排式排种系统通过机械定量排种、气流均匀分配的方式实现排种^[9-11],播量调整方式主要包括排种槽有效长度调节、排种轮与机具前进速比调节两种方式^[12-15],其中速比调整方式便于实现电驱或液压控制,具有控制方便、播量调整范围广、精度高等优势。现有速比调整方式一般将排种轮单圈排量视为定值,播量的调整通过改变排种轮与驱动地轮传动比实现,播量确定后排种轮转速仅随机具前进速度成正比关系变化^[16-18],忽略了种层高度、排种轮转速等作业过程中的动态变化参数对单圈排量的影响。此外,为了提高种子出苗率,我国水稻直播经常进行浸种处理^[19-20],现有水稻排种器研究多以干稻种为研究对象^[21-22],针对潮湿稻种条件下排种系

统参数优化研究较少。

为了提高气力集排式排种系统播量调节精度,本文探究种层高度、排种轮转速等动态变化参数及稻种含水率对单圈排量的影响规律,构建准确的播量控制模型,为播量控制系统设计优化提供理论依据。

1 总体结构与工作原理

在前期研制的2BDZQ-33800型气力集排式水稻直播机基础上开展研究,整机结构如图1所示。工作时,种箱中的种子在电机驱动的排种器作用下被定量排入喷射器中,由风机提供的高速气流通过送种管将种子送入分配器中,通过气流与种子的均匀混合将种子分配到33行投种管中,并在气流及自重作用下落入水田中。该播种机采用电驱控制系统实现播量的调整,作业前需进行播量校准,将校准试验测得的种子质量及目标播量输入控制器操作终端,系统基于播量控制模型,通过接收测速地轮信号,实时控制排种轮转速,以保证播量的均匀稳定^[23]。

播种机播量控制模型中单圈排量及排种转速计算公式为

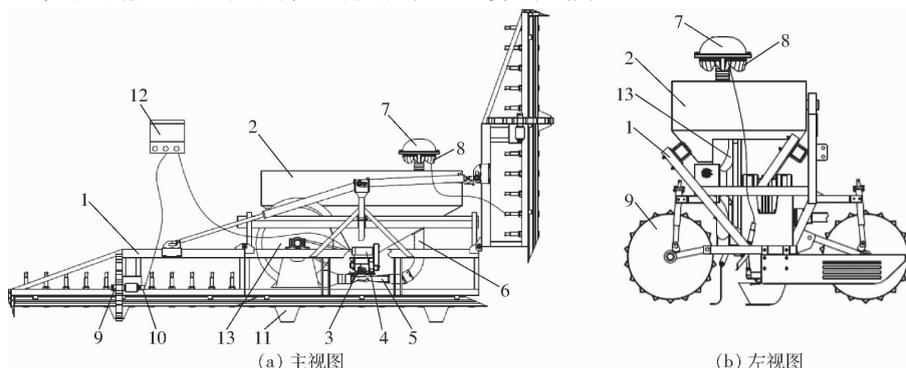


图1 气力集排式水稻直播机结构示意图

Fig. 1 Structural diagrams of centralized pneumatic rice direct planter

1. 机架 2. 种箱 3. 排种器 4. 驱动电机 5. 喷射器 6. 送种管 7. 分配器 8. 投种管
9. 测速地轮 10. 速度传感器 11. 开沟器 12. 控制器 13. 风机

$$\begin{cases} q = \frac{60m_0}{n_0t_0} \\ n = \frac{6QvB}{q} \end{cases} \quad (1)$$

式中 m_0 ——播量校准试验排出种子质量, g
 t_0 ——播量校准试验持续时间(系统内置, 为定值), s
 n_0 ——播量校准试验中的排种轮转速(系统内置, 为定值), r/min
 Q ——目标播种量, kg/hm²
 q ——排种轮单圈排量, g/r
 n ——排种轮转速, r/min
 v ——实测机具前进速度, m/s
 B ——作业幅宽, m

由式(1)可知, 单圈排量 q 在排种系统各项参数确定后是定值, 目标播种量 Q 及幅宽 B 确定后, 排种轮转速 n 仅与机具前进速度 v 成正比关系变化。气力集排式排种系统采用集中式种箱, 种量较大, 种群压实度较高, 前期试验中发现不同种层高度、排种轮转速、种子含水率下播量稳定性差异较大, 因此需要进一步明确单圈排量 q 对各项参数的响应规律, 修正播量控制模型。

2 单圈排量试验及模型构建

2.1 试验设备及材料

试验在农业部南京农业机械化研究所 JPS-12 型排种器性能检测试验台上进行, 浸种采用 CY500-800 型水稻浸种器, 种子含水率的测量采用 DHG101-4AB 型数显电热恒温鼓风干燥箱干燥 24 h 后计算, 种层高度的测量采用 CUM18-M1DV 型超声波测距模拟量输出接近开关传感器。试验现场如图 2 所示。



图 2 试验现场

Fig. 2 Scene graph of test

试验材料选择杂交水稻品种两优 8106, 在实际生产中经常会因为天气误工等各种原因导致浸种处理的湿稻种延迟 1~2 d 播种, 本试验根据农田实际播种情况选定 4 个常见的直播稻种状态进行试验, 分别为干稻种、湿稻种、晾干 1 d 和晾干 2 d。根据机直播作业对浸种处理种子的要求, 本文所述湿稻

种指浸种后捞出晾干 6 h, 保证抓起后松开种子不粘手^[24]。晾干 1 d 和晾干 2 d 的稻种分别指浸种后捞出并晾干 24 h 和 48 h。干稻种为未作浸种处理的原始种子。

2.2 试验方法

为明确单圈排量对各关键参数的响应规律, 本文以稻种含水率、排种轮转速和种层高度为试验因素, 以单圈排量为试验指标, 单圈排量计算公式见式(1)。建立控制模型需要大量试验数据作为支撑, 因此本试验采用全面试验。

水稻含水率可采用干燥法测量, 取样 70 g, 干燥时间选取 24 h, 含水率计算公式为

$$\omega = \frac{m_\omega}{M_\omega + m_\omega} \times 100\% \quad (2)$$

式中 ω ——湿基含水率, %

m_ω ——稻种中水分质量, g

M_ω ——稻种干物质质量, g

4 种稻种状态的含水率如表 1 所示。

表 1 4 种稻种状态含水率

Tab. 1 Four common moisture contents of rice

稻种类型	总质量/ g	干物质 质量/g	水分 质量/g	湿基含水 率/%
干稻种	70	61.756	8.244	11.78
湿稻种	70	50.491	19.509	27.87
晾干 1 d	70	54.292	15.708	22.44
晾干 2 d	70	56.455	13.545	19.35

根据水稻直播机田间作业速度范围, 选取排种轮转速范围为 20~110 r/min, 等分为 10 个水平。水稻在实际排种过程中, 其种箱内种子高度是非均匀变化的, 因此该因素无法进行等分处理。考虑到直播机田间作业时, 种层高度的变化实际就是种箱内种群质量的变化, 因此可以将种箱内种群质量进行等分, 每个质量对应一个种层高度。设计种箱容量 100 kg, 将其 10 等分, 试验前预先进行 10 个不同种子质量对应种层高度的测定, 每排出 10 kg 种子进行一次种层高度(种层表面距离排种轮中轴线的高度)测定, 取每次排种前后的平均高度进行排种试验。各试验因素水平如表 2 所示。按照表 2 所示因素水平组合进行试验, 根据式(1)计算单圈排量, 每组因素组合下重复进行 3 次试验, 取平均值。

2.3 试验结果及分析

在农业部南京农业机械化研究所排种性能实验室进行试验, 试验时间 2017 年 10 月 8—11 日, 每种含水率种子试验时间 1 d。根据试验结果, 4 种稻种状态下种层高度、排种轮转速对单圈排量的影响如图 3 所示。

表2 水稻播种试验因素水平

Tab.2 Experimental factors and levels of rice planting

试验因素	水平									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
稻种含水率/%	11.78	27.87	22.44	19.35						
排种轮转速/($r \cdot \min^{-1}$)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
种层高度/cm	6.40	17.22	25.35	31.55	35.51	39.75	45.50	51.75	58.50	69.25

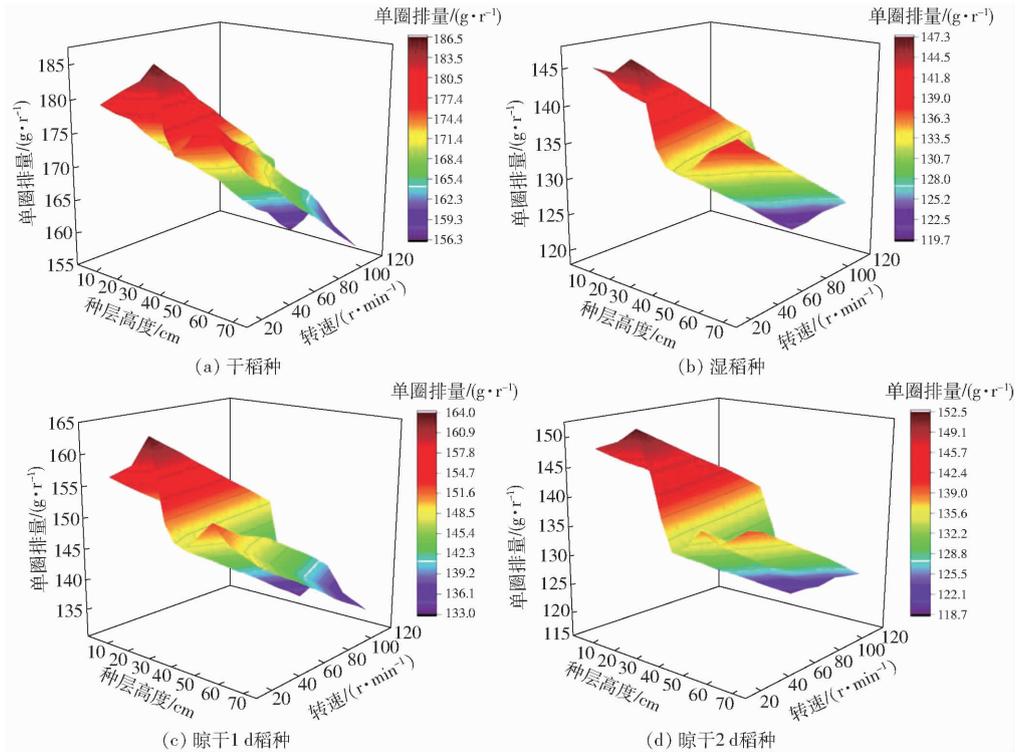


图3 不同稻种状态下种层高度及排种轮转速对单圈排量的影响

Fig.3 Effects of rotation speed and seed height on single sowing amount under different rice conditions

由试验结果可知,不同稻种状态下单圈排量均随着排种轮转速的升高而降低,当种层高度一定时,二者成反比关系;单圈排量随种层高度的升高呈先增大后减小的趋势变化,不同稻种状态下的单圈排量最大值出现在种层高度为 25.35 ~ 31.55 cm 处;4 种不同稻种状态下,单圈排量由大到小依次是干稻种、晾干 2 d、晾干 1 d、湿稻种,即单圈排量随种子含水率的升高而降低。

综上,同一含水率下,种层高度较低,排种轮转速较低时,其单圈排量较大,反之,种层高度较高,排种轮转速较大时,单圈排量较小。种层高度、排种轮转速较低时,排种轮充种性能较好,单圈排量较大;而种层高

度、排种轮转速较高时,种腔内种子充种性能不好,单圈排量较小。由此可知,即使在机械结构等参数确定后,单圈排量也并非定值,种层高度、排种轮转速等动态变化参数及稻种含水率均对单圈排量有显著影响。

2.4 播量控制模型构建

根据试验数据,通过二元回归分析拟合出 4 种常见稻种状态下单圈排量 q 与种层高度 h 、排种轮转速 n 的关系式

$$q = a + b \ln h + c (\ln h)^2 + d (\ln h)^3 + e (\ln h)^4 + f (\ln h)^5 + gn \quad (3)$$

不同稻种状态下方程系数见表 3。其中 R^2 表示方程拟合优度判定系数,其值越接近 1 说明拟合程度越好。

表3 不同稻种状态单圈排量回归方程系数

Tab.3 Coefficient of regression equation for single sowing amount under different rice conditions

稻种状态	R^2	a	b	c	d	e	f	g
干稻种	0.926	15 721.905	-25 922.851	16 828.006	-5 337.651	830.169	-50.791	-0.212
湿稻种	0.997	16 236.223	-2 688.035	17 201.396	-5 408.047	832.052	-50.251	-0.157
晾干 1 d 稻种	0.978	21 326.444	-35 180.646	22 712.469	-715.677	1 102.386	-66.702	-0.163
晾干 2 d 稻种	0.934	27 535.029	-45 961.198	30 045.564	-9 599.617	1 503.793	-92.635	-0.165

将式(3)代入式(1),可得出排种轮转速 n 和前进速度 v 、水稻种层高度 h 之间的关系式

$$n = \frac{\sqrt{m^2 + 360gBvQ} - m}{2g} \quad (4)$$

其中 $m = a + blnh + c(\ln h)^2 + d(\ln h)^3 + e(\ln h)^4 + f(\ln h)^5$

式(4)即为求得的水稻播量控制模型,式中的播量 Q 及稻种状态根据实际播种需要可在控制终端上进行设定,播种过程中测速传感器和超声测距传感器分别测量前进速度 v 和种箱内种层高度 h ,控制器根据播量控制模型确定排种轮转速并进行实

时调节。

3 播量控制模型验证试验

3.1 试验平台构建

为了验证构建的播量控制模型,通过已有直播机控制系统的改装和软件编译,将不同含水率的稻种播量模型录入控制系统的模型库,在室内进行播量控制模型验证试验。直播机控制系统硬件部分包括 PLC 控制器、测速传感器、超声波测距传感器、步进电机、电机驱动器、Kinco 触摸屏以及电源转换模块,总体结构框图见图 4。

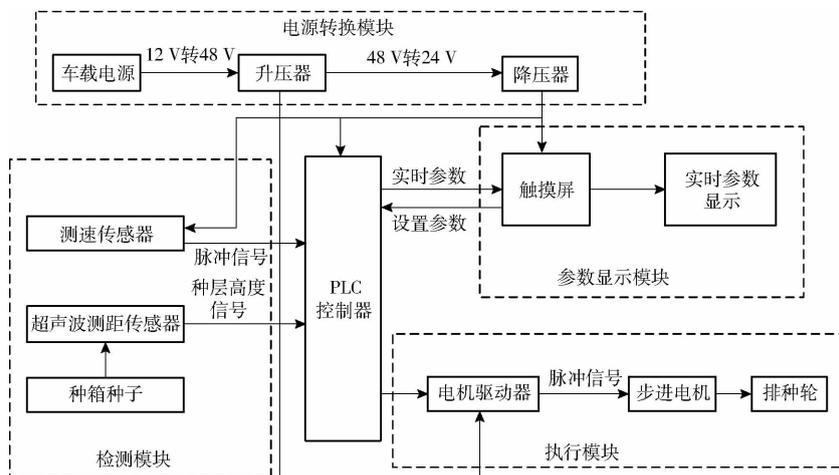


图4 控制系统总体结构框图

Fig. 4 Overall structure diagram of control system

根据试验要求,在 JPS-12 型排种试验台上进行了机械结构改装。为了模拟田间直播机行进速度,将试验台原播种驱动电机视为地轮,并在电机输出轴端部安装测试齿轮,通过霍尔测速传感器获取实时转速,并通过控制系统中设置的地轮直径确定前进速度。超声波测距传感器安装在种箱顶端,传感器检测端口垂直正对种箱中心。排种驱动电机固定在试验台上,带动排种轮转动。试验平台如图 5 所示。



图5 排种试验台

Fig. 5 Test bench of seed

该试验的主要目的是验证播量控制模型的准确性。由于台架试验条件限制,不能完全模拟机具变速行进状态,因此设定 10 个前进速度状态进行试验。根据田间实际播种情况,播种机前进速度一般

不会超过 3 m/s,试验时将前进速度在 0 ~ 3.0 m/s 间等分为 10 个水平。试验时种箱内种子初始量为 100 kg,试验开始前在触摸屏上设置单位面积播量,本次试验设置单位面积播量为 150 kg/hm²,幅宽按 8 m 计,每个速度下重复进行 3 次试验。试验时,在 0 ~ 1.5 m/s 时排种 30 s,1.8 ~ 3.0 m/s 时排种 20 s,根据实际排种质量以及播种面积计算实际单位面积播量,根据实际与理论差值进而得出误差百分比以及实际单位面积播量变异系数。

3.2 验证试验结果与分析

验证试验于 2017 年 12 月 10 日进行,地点在农业部南京农业机械化研究所排种性能实验室,试验采用杂交水稻品种两优 8106。每组试验重复 3 次后取平均值,试验结果如表 4 所示。

由试验结果可知,水稻播量控制模型与实际播种量之间有一定的差值,平均误差 2.07%,实际播量变异系数为 2.59%,验证结果与播量控制模型基本一致,误差在可接受范围内。

4 讨论

(1) 本文通过试验数据回归分析得到的播量控

表4 验证试验结果

Tab.4 Test result of seed rate

前进速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	实际单位面积播 量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	理论单位面积播 量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	误差/%
0.3	153.60	150	2.4
0.6	146.70	150	-2.2
0.9	155.25	150	3.5
1.2	146.85	150	-2.1
1.5	152.40	150	1.6
1.8	153.45	150	2.3
2.1	159.60	150	6.4
2.4	151.95	150	1.3
2.7	152.85	150	1.9
3.0	158.40	150	5.6

制模型主要针对农业部南京农业机械化研究所研制的2BDZQ-33800型气力集排式水稻直播机排种系统,其他不同结构的排种系统无法直接应用,但本文分析得出的种层高度、排种转速、种子含水率对单圈排量的影响规律是一致的,可为类似研究提供参考。

(2) 一个准确的控制曲线是以大量试验数据为

支撑的,本文播量控制拟合曲线与实际数据的拟合度有限,播量控制模型仍存在一定偏差,精度更为准确的播量控制模型仍待进一步研究。

5 结论

(1) 根据生产中常用的4种不同含水率稻种状态,进行了种层高度、排种轮转速等的动态变化参数对单圈排量的影响规律试验研究。试验表明,即使在机械结构等参数确定后,单圈排量也并非定值,种层高度、排种轮转速等动态变化参数及稻种含水率均对单圈排量有显著影响。

(2) 种层高度一定时,单圈排量与排种轮转速成反比关系;单圈排量随种层高度的升高先增大后减小,随种子含水率升高而降低。

(3) 通过二元回归分析拟合出4种常见稻种状态下单圈排量与种层高度、排种轮转速的回归模型,并构建了基于排种转速调控的播量控制模型。在室内搭建了试验平台对播量控制模型进行了验证试验,验证结果与播量控制模型一致。

参 考 文 献

- 王在满,戴亿政,王宝龙,等. 水稻机械化穴播和条播的对比研究[J]. 中国稻米, 2016, 22(4): 19-20.
WANG Zaiman, DAI Yizheng, WANG Baolong, et al. Research on hill-drop drilling and row drilling of rice[J]. China Rice, 2016, 22(4): 19-20. (in Chinese)
- 罗锡文,蒋恩臣,王在满,等. 开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 52-56.
LUO Xiwen, JIANG Enchen, WANG Zaiman, et al. Precision rice hill-drop drilling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 52-56. (in Chinese)
- KUMAR V J F, DURAIRAJ C D. Influence of head geometry on the distributive performance of air-assisted seed drills[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 75(1): 81-95.
- MANZONE M, PAOLO M, MARIO T, et al. Performance evaluation of a cyclone to clean the air exiting from pneumatic seed drills during maize sowing[J]. Crop Protection, 2015, 76: 33-38.
- FURUHATA M, CHOSA T, SHIOYA Y, et al. Developing direct seeding cultivation using an air-assisted strip seeder[J]. JARQ-Japan Agricultural Research Quarterly, 2015, 49(3): 227-233.
- BOURGES G, MEDINA M. Air-seeds flow analysis in a distributor head of an "air drill" seeder[J]. Acta Horticulturae, 2013, 1008: 259-264.
- 戴亿政,罗锡文,王在满,等. 气力集排式水稻分种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 36-42.
DAI Yizheng, LUO Xiwen, WANG Zaiman, et al. Design and experiment of rice pneumatic centralized seed distributor[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(24): 36-42. (in Chinese)
- 雷小龙,廖宜涛,李兆东,等. 种层厚度对油菜兼用集排器供种装置充种性能的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 11-19.
LEI Xiaolong, LIAO Yitao, LI Zhaodong, et al. Effects of seed layer thickness on seed filling performance of seed feeding device for rapeseed and wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(6): 11-19. (in Chinese)
- 张晓辉,王永振,仇利,等. 小麦气力集排器排种分配系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(3): 59-67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180307&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.007.
ZHANG Xiaohui, WANG Yongzhen, ZHANG Li, et al. Design and experiment of wheat pneumatic centralized seeding distributing system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 59-67. (in Chinese)
- 廖庆喜,张猛,余佳佳,等. 气力集排式油菜精量排种器[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 30-34.
LIAO Qingxi, ZHANG Meng, YU Jiajia, et al. Pneumatic centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 30-34. (in Chinese)
- 刘立晶,刘忠军,杨学军,等. 气流输送式小麦免耕播种机设计和试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 54-57.

- LIU Lijing, LIU Zhongjun, YANG Xuejun, et al. Design and test on pneumatic no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2):54-57. (in Chinese)
- 12 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.
- 13 雷小龙, 廖宜涛, 李兆东, 等. 油麦兼用型气送式集排器供种装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20):10-18. LEI Xiaolong, LIAO Yitao, LI Zhaodong, et al. Design and experiment of seed feed device in air-assisted centralized metering device for rapeseed and wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(20):10-18. (in Chinese)
- 14 张明华, 罗锡文, 王在满, 等. 水稻直播机组合型孔排种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 47(9):29-36. ZHANG Minghua, LUO Xiwen, WANG Zaiman, et al. Design and experiment of combined hole-type metering device of rice hill drop drilling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 47(9):29-36. (in Chinese)
- 15 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)
- 16 曹成茂, 王安民, 秦宽, 等. 一器多行环槽推送式排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(4):128-134. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140420&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.020. CAO Chengmao, WANG Anmin, QIN Kuan, et al. Multi-line metering device with ring groove push movement [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 128-134. (in Chinese)
- 17 杨慧, 刘立晶, 周军平, 等. 气流输送式条播机现状及我国应用情况分析[J]. 农机化研究, 2013, 35(12):216-220. YANG Hui, LIU Lijing, ZHOU Junping, et al. Analysis of airseed drill current situations and using situation in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(12): 216-220. (in Chinese)
- 18 杨慧. 气流输送式排种系统性能试验研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2014. YANG Hui. Experimental study on performance of pneumatic seeding system [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2014. (in Chinese)
- 19 王在满, 罗锡文, 唐湘如, 等. 基于农机与农艺相结合的水稻精量穴直播技术及机具[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1):91-95. WANG Zaiman, LUO Xiwen, TANG Xiangru, et al. Precision rice hill-direct-seeding technology and machine based on the combination of agricultural machinery and agronomic technology [J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1): 91-95. (in Chinese)
- 20 罗锡文, 刘涛, 蒋恩臣, 等. 水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3):108-112. LUO Xiwen, LIU Tao, JIANG Enchen, et al. Design and experiment of hill sowing wheel of precision rice direct-seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 108-112. (in Chinese)
- 21 曹成茂, 秦宽, 王安民, 等. 水稻直播机气吹辅助匀轮式排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(1):66-72. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150110&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.010. CAO Chengmao, QIN Kuan, WANG Anmin, et al. Design and experiment on rice hill seeder with air-blowing special hole and scoop-wheel [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1):66-72. (in Chinese)
- 22 梁宝忠, 赵永亮, 赵金英, 等. 水稻直播机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊):63-66. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2012s13&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.013. LIANG Baozhong, ZHAO Yongliang, ZHAO Jinying, et al. Design and test of rice direct seeder [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.):63-66. (in Chinese)
- 23 晓楠. 大型智能化气力集排式水稻直播机研发成功[J]. 农业工程, 2016, 6(4):58.
- 24 张璐. 江苏省主要水稻种植模式对比分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. ZHANG Lu. Comparative analysis of major rice cropping pattern technology in Jiangsu province [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese)