

水稻气力式播量可调排种器设计与参数优化

邢 赫, 臧 英*, 王在满, 罗锡文, 裴 娟, 何思禹, 许 鹏, 刘顺财

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642; 2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘 要: 为了满足杂交水稻播量不同的要求, 该文设计了一种水稻播量可调气力式排种器, 对其工作原理进行了分析, 对关键部件进行了参数设计, 该排种器采用多个相互独立的负压流道对吸种精度进行控制。利用 ANSYS-FLUENT 有限元流体分析软件对负压流道结构的吸孔负压影响规律进行了分析, 优选了最佳流道结构。选取超级杂交稻 Y-2 优 900 为试验材料, 进行了不同播量下吸种负压、排种盘转速与排种盘吸孔组数对播种精度的影响试验研究, 试验结果表明: 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 1 孔播种达到最佳效果, 合格率为 82.41%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 40 r/min 时, 2 孔播种达到最佳效果, 合格率为 96.36%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 3 孔播种达到最佳效果, 合格率为 92.79%; 当吸孔组数为 16、吸种负压为 1.2 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 4 孔播种达到最佳效果, 合格率为 91.93%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 30 r/min 时, 5 孔播种达到最佳效果, 合格率为 87.88%。说明水稻气力式播量可调排种器可满足杂交稻在采用直播式时不同播量的要求, 相比于原有的排种器更佳适应水稻的多样性。该研究可为水稻机械化穴直播技术提供了参考。

关键词: 机械化; 设计; 优化; 精量播种; 播量可调; 水稻; 气力式; 排种器

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.04.003

中图分类号: S233.71

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-04-0020-09

邢 赫, 臧 英, 王在满, 罗锡文, 裴 娟, 何思禹, 许 鹏, 刘顺财. 水稻气力式播量可调排种器设计与参数优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(4): 20-28. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.04.003 <http://www.tcsae.org>

Xing He, Zang Ying, Wang Zaiman, Luo Xiwen, Pei Juan, He Siyu, Xu Peng, Liu Shuncai. Design and parameter optimization of rice pneumatic seeding metering device with adjustable seeding rate[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(4): 20-28. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.04.003 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

水稻是中国主要的经济、粮食作物。水稻的种植机械化水平较低, 仅为 44.45%, 且传统的水稻种植环节需耗费大量的人力、物力。水稻机械化直播技术省却了前期育秧等环节, 减小了前期成本的投入, 增加了总体的效益, 是未来水稻机械化种植的发展方向之一。水稻品种较多, 相比于常规稻, 杂交稻具有分蘖能力强、根系发达、产量较高等特点, 采用直播技术时, 需对其进行精少量播种, 普通杂交稻采用直播时需要 3~5 粒/穴, 超级杂交稻仅需 1~3 粒/穴即可满足农艺种植要求^[1-8]。

气力式排种器是一种采用气流对种子进行运输与投放, 对种子的损伤小, 同时气流与种子接触时, 可以更好的适应种子的形状, 该类排种器的适应性与播种精度较高。Liao 等^[9]设计了一种油菜内充种式集排滚筒排种器, 明确了排种器的结构、最佳工作参数, 并进行了田

间试验分析。Ismet 等^[10]研究了大豆和玉米气力式排种器, 分析了排种盘吸孔数对吸种效果的影响, 理论分析了气流流过吸孔时的状态。Gaikwad 等^[11]为蔬菜育秧设计了一种低成本的气力式排种器, 采用振动装置使充种区的种子处于沸腾状态, 改善了种子推挤现象, 结合针孔将种子吸附, 同时利用电控将针孔移动至秧盘中所对应的区域进行投种, 有效的提升了蔬菜育秧的效率。Yasir^[12]对小麦气力式排种器的全部运动过程进行了理论分析, 并优化了气力式排种器的各个部件, 通过试验进行了验证, 得到了最佳的结构参数。Yazgi 等^[13-14]以均匀播种为研究目标, 采用响应曲面法对气力式排种器的真空度、吸孔孔径、吸孔数量以及排种盘转速等参数进行了试验研究, 得到了参数之间的关系方程。Jack 等^[15]设计了一种檀香气力式排种器, 研究了排种器的充种、携种、排种过程, 通过试验得到了最佳吸种负压以及最佳吸孔直径, 为大颗粒气力式排种器的设计提供依据。Karayel 等^[16-18]对不同作物的种子进行了研究, 并以此为依据优化了排种盘吸孔等参数, 建立了种子的物理特性与真空度之间的关系方程。Xing 等^[19-23]对水稻气力式水稻排种器进行了研究, 并进行了田间试验, 但该排种器无法对播量进行调节, 只能在一种播量下进行作业, 无法适应多类稻种。

以上所研究的气力式排种器主要针对大豆、玉米、小麦等流动性较好的作物, 对于水稻这类纺锤体形状的

收稿日期: 2018-10-07 修订日期: 2019-02-10

基金项目: 国家自然科学基金(31871529); 国家重点研发计划(2017YFD07000704); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-01-41); 广东省自然科学基金(S2011010001948)

作者简介: 邢 赫, 博士生, 研究方向为水稻生产机械化技术与装备。

Email: 675974347@qq.com

*通信作者: 臧 英, 教授, 博士, 研究方向为农业机械化与自动化。

Email: yingzang@scau.edu.cn. 中国农业工程学会高级会员; E041200443S

种子，目前研究较少，且技术不成熟。针对播量可调节的气力式排种器，目前所采用的方式主要为更换排种盘，步骤较为繁琐，无法实现方便快速的调节播量。

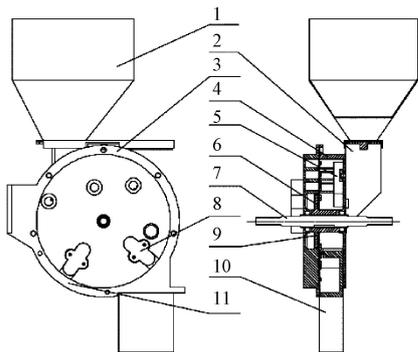
目前水稻播量可调节式排种器主要以机械式的水稻排种器为主。Maleki 等^[24]设计了直槽轮式排种器，通过螺旋机构来控制槽轮的宽度，进而调节播量，但无法对播量进行精确调节，且对不同种类种子调节方式存在差异。田立权等^[25]设计了一种螺旋槽式水稻穴播排种器，该排种器通过对螺旋段长度的调节，从而对播种量进行控制，该排种器可实现成穴播种。但该排种器播种量大，播量精度控制不稳定，同时伤种率高。张明华等^[26-27]设计了一种组合型孔式排种器，该排种器通过改变型孔的大小进行播量的调节，调节精度低，调节过程繁琐。机械式排种器在调节播量时，需要将充种室与排种器内的稻种进行清理，工序较多，专业性较高，且无法对播种精度进行精量调节。通过调节排种器转速调整播量，仅可以调节单位面积的整体播量，即改变了播种的穴距，无法针对每一穴的播种粒数进行调节，不利于后期农艺的管理。

综上所述，原有的气力式排种器通过更换排种盘进而改变播量，该方法无法做到方便、快捷的播量调节；而机械式排种器调节播量时，存在调节精度不高，工序繁多等缺陷，也无法将其应用于超级杂交稻与杂交稻的田间播种应用。因此需要研制一种适用于超级杂交稻和杂交稻的播量可调的水稻气力式排种器，弥补以上排种器的缺陷。

1 水稻播量可调气力式排种器总体结构与工作原理

1.1 排种器总体结构

水稻播量可调气力式排种器^[28]整体结构如图 1 所示，包括种箱 1，种箱连接件 2，多流道气吸壳体 3，排种壳体 4，清种装置 5，法兰 6，排种轴 7，种刷 8，排种盘 9，排种管 10 和卸种装置 11。



1.种箱 2.种箱连接件 3.多流道气吸壳体 4.排种壳体 5.清种装置 6.法兰 7.排种轴 8.种刷 9.排种盘 10.排种管 11.卸种装置
1.Seed box 2.Seed box connector 3.Gas chamber shell of multiple flow-paths 4.Seed chamber shell 5.Cleaning device 6.Flange 7.Shaft 8.Seed brush 9.Sucking plate 10.Seed tube 11.Seed unloading device

图 1 水稻播量可调气力式排种器总体结构示意图

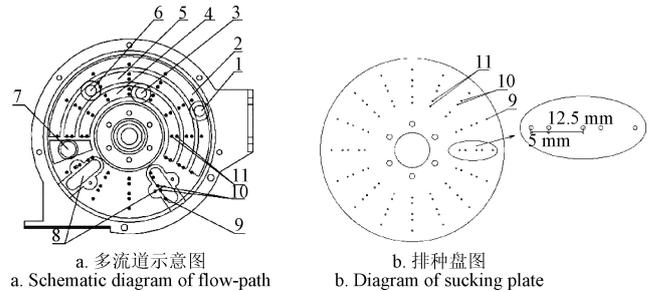
Fig.1 Structure diagram of rice pneumatic seed metering device with adjustable seeding rate

该排种器工作时，种子由种箱 1 经分层充种室 2 流入排种壳体 4 中的充种室内，受多流道气吸壳体 3 内吸

室负压真空度作用，在充种室内被吸附到排种盘 9 的吸孔上，排种盘通过螺丝安装在法兰 6 上，法兰与排种轴 7 通过键连接同步转动，被吸附的稻种在清种区由清种装置 5 将重吸附的种子清除；清种后排种盘上吸附的种子随后进入投种区，在正压吹送作用下离开排种盘 9 落入排种管 10 内并落在播种沟内，完成排种过程。当结束播种作业后，通过卸种装置 11 将剩余的稻种回收。

1.2 播量可调工作原理

多流道气吸壳体示意图如图 2 所示，壳体内部开设了 3 个相互独立的负压流道 2、4 和 5，每个负压流道均有 1 个所对应的负压接口与之相连通。负压接口 1 对应负压流道 2；负压接口 3 对应负压流道 4；负压接口 6 对应负压流道 5，3 个负压接口分别通过各自的管路与风机相连接，每一条管路均安设了阀门以控制各个流道内部的压强。如图 2 所示，排种盘上分别开设了 3 组吸孔，与 3 个负压流道一一对应，外侧吸孔组 9 与负压流道 2 对应，中间吸孔组 10 与负压流道 5 对应，内侧吸孔组 11 与负压流道 4 对应，且吸孔分布数量为 1-2-2。



1.负压接口 1 2.负压流道 1 3.负压接口 3 4.负压流道 3 5.负压流道 2
6.负压接口 2 7.正压流道 8.种刷 9.吸孔组 1 10.吸孔组 2 11.吸孔组 3
1.No.1 negative pressure interface location 2.No.1 flow-path 3.No.3 negative pressure interface location 4.No.3 flow-path 5.No.2 flow-path 6.No.2 negative pressure interface location 7.Positive pressure chamber 8.Seed brush 9.No.1 sucking hole 10.No.2 sucking holes 11.No.3 sucking holes

图 2 多流道结构与排种盘示意图

Fig.2 Diagram of multiple flow-paths

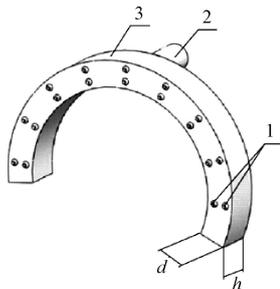
当排种器工作时，打开负压接口 1 关闭其他 2 个接口，此时仅负压流道 2 内具有一定的真空度，排种轴带动排种盘转动，到达吸种区，稻种受到负压流道 2 的负压作用，被吸附在吸种孔组 9 上，由于其他 2 组负压流道内部没有负压，故吸种孔组 10、吸种孔组 11 上不会吸附稻种，吸种孔组 9 为单吸孔，此时以吸附 1 粒稻种为主。同理可得，当仅开负压接口 6 时，中间的负压流道内产生真空度作用，此时仅吸种孔组 10 工作，由于吸种孔组 10 为 2 个吸孔，故吸附精度主要以 2 粒为主。由于可同时允许多个流道同时工作，故可对各个流道之间进行组合，当同时打开负压接口 1、6，此时吸种孔组 9、10 将同时工作，此时的吸种精度以 3 粒为主。当需要 4 个吸孔同时工作时，可将负压接口 3 与 6 同时打开，当需要 5 个吸孔同时工作时，将全部的负压接口打开，即全部的吸种孔均将工作。该结构通过改变负压流道的工作状态，进而控制吸种孔的工作数量，起到调节播量的

目的。且可做到单个吸孔数量的增加,因此可以达到高精度播量控制的目的。实现小播量高精度调节的目的。当稻种随排种盘转动至正压流道7时,该流道内没有负压作用,吸种孔无法继续吸附稻种,此时稻种受正压和重力的作用将离开排种盘,落入排种管内,完成排种。由于稻种中存在杂质,长时间工作后吸孔会出现堵塞现象,安装2组种刷对投种后的排种盘进行清理,防止吸孔的堵塞,以便排种器可以持续的正常工作。

2 关键部件设计

2.1 流道结构设计

气吸壳体内部的流道是影响排种器气压分布的主要因素。气流由风机产生经由管路到达排种器流道内部,与排种盘相互配合,使排种盘吸孔处产生压差进行吸种作业,故气压的稳定对吸种的效果起到决定性的作用。如图2a中2、4、5所示,三排流道相互独立,形状均为U型,流道的主要结构参数为流道的宽度、深入和负压流道接口的位置,为了研究这三个因素对流道气压分布的影响规律,采用ANSYS-FLUENT软件对流道结构进行仿真分析。流道总弧长为 210° ,由于流道结构对称,仅需对负压接口位置设置在流道的一侧进行仿真试验。选取负压结构位置为 25° 、 65° 和 105° 。由于流道总长度有限,所有吸孔不能同时处于流道内部,仅9组吸孔可同时位于流道内部,建立流道模型,如图3所示。根据原有排种器结构^[20],流道厚度过大会增加排种器的整体体积,参考原有排种器流道宽度与厚度,设定仿真试验流道宽度与厚度如表1所示。仿真试验因素水平如表1所示。由前期单流道排种器试验可知^[20],最佳吸种负压在 1.6 kPa ,故设置负压接口压力为 1.6 kPa ,分析步长为 2000 步。



1.吸孔 2.负压接口 3.负压流道
1. Sucking hole 2. Negative pressure interface location 3. Negative flow-path
注: h 为负压流道的厚度, mm; d 为负压流道的宽度, mm。
Note: h is width of negative flow-path, mm; d is thickness of negative flow-path, mm.

图3 负压流道结构模型

Fig.3 Structure model of negative pressure flow-path

表1 仿真试验因素水平

Table 1 Factors and levels in simulation experiments

水平 Levels	因素 Factors		
	负压接口位置 Negative pressure interface location $a/^\circ$	流道厚度 Thickness of flow-path b/mm	流道宽度 Width of flow-path c/mm
1	25	10	14
2	65	15	18
3	105	20	22

仿真试验结果如图4a所示,其变异系数如图4b所示,由试验结果可知:1 负压接口位置越接近中间,负压越大,变异系数越小,但整体相差不大。9组吸孔之间的变异系数呈减小趋势,但均远小于 5% ,比较稳定;2 随负压流道厚度的增加负压随之增加,变异系数随着减小,主要原因为,负压流道的厚度增加,增大了流体的流动空间,由流体力学可知,流体在较小的空间内流动损失较大,故增大流道的厚度有利于减小负压的损失,且更能稳定的分配负压,但由于本身流道结构尺寸较小,故负压增大的效果不明显;3 流道宽度对负压损失的影响较小,没有明显的变化规律,主要原因为:流道宽度均远大于吸孔之间的间距,有利于气流流动,故在这一范围内流道的宽度对吸孔负压的影响较小。

通过以上仿真结果可知,负压结构越接近中间位置,流道结构尺寸越大有利于减小气压的损失与更均匀的分配气压,但由于吸孔距离有限,当尺寸大于一定值时,对吸孔负压影响较小,同时由于排种器的结构空间限制,以及装配工艺限制,不能无限的增大排种器结构,故需要根据实际情况进行排种器的设计与优化。故将流道厚度设定为 20 mm ,宽度设定在 14 mm ,即可以保证气压的分布,又可以满足排种器空间结构要求。

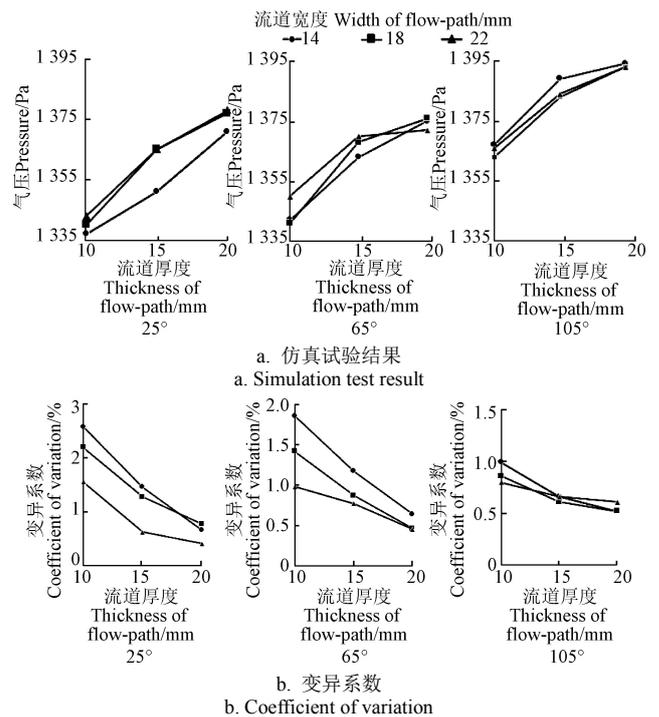


图4 不同负压接口位置下的仿真试验结果和变异系数

Fig.4 Simulation test result and coefficient of variation of different negative pressure interface locations

2.2 排种盘结构设计

排种盘与气压流道相互配合,形成腔体结构,在排种盘吸孔上产生压差,对种子进行吸附。如图2b所示,排种盘的外径与气吸壳体内槽直径相等,保证气流的密闭性,排种盘外径为: 210 mm 。为了配合三排流道结构,在排种盘上开设了3排吸孔,为了满足播量调节的要求,将3排吸孔数量分别设置为:1, 2, 2, 由于流

道的宽度为 14 mm, 由流体力学可知, 流道边界的气流稳定性差, 故将吸孔位置设置在流道的中心位置, 由文献[21]可知, 吸孔之间需要安装搅种装置, 搅种装置的宽度为 5 mm, 故 2 吸孔中心之间的间距为 5 mm。由于两流道之间相互独立, 故流道之间通过流道壁相互隔开, 流道壁厚度为 5 mm, 故两排吸孔之间的距离为 12.5 mm。为了保证投种的同步性, 故排种盘上的吸孔按线性分布。

根据水稻种子的参数特征可知, 水稻种子类似于椭球体, 长轴较长, 宽度与厚度尺寸比较接近, 本文采用的稻种为杂交稻, 长度约为 9 mm, 宽度与厚度约为 2 mm, 气吸式排种器吸孔尺寸如式 (1) 所示^[29], 按照宽度计算可得, 吸孔直径为 1.28~1.32 mm 之间, 但由于水稻圆球度较低, 长度较长, 因此为了减小空穴率, 将吸孔直径设置在 1.5 mm。且通过前期试验可知^[20], 当吸孔直径为 1.5 mm 时, 播种效果较好。

$$d_1=(0.64\sim 0.66)b \quad (1)$$

式中 d_1 为吸孔直径, mm; b 为种子平均宽度, mm。

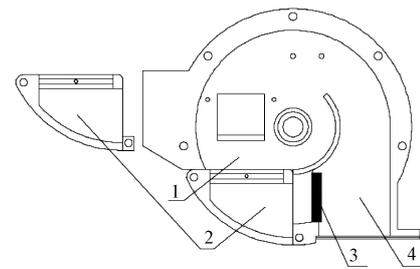
2.3 正压投种区结构设计

水稻种子被吸种孔吸附, 经过携种区到达投种区后受到正压作用离开排种盘, 完成投种。正压投种区的结构将会影响稻种的投种效果, 由于负压流道末端位置位移排种盘中线的水平位置, 因此, 正压投种区需要与负压流道相互靠近, 采用流道壁将正压投种区与负压流道相互隔开, 防止负压气流进入正压投种区, 影响投种。随排种盘转动的稻种离开负压流道区域后, 将不再受到吸种负压作用, 此时稻种仅受重力作用, 但由于吸附姿态的不同, 稻种与吸孔之间的配合也不同, 将会影响投种的同步性, 因此, 正压投种区与负压流道之间的间距不易过大, 间距为 5 mm, 稻种刚离开负压区域后, 立即进入正压投种区, 受正压作用, 离开排种盘, 由于采用正压吹送稻种, 增加了稻种的投种同步性, 提升了投种效果。由文献[22]可知, 由于稻种随排种盘转动, 当离开排种盘时, 会具有离开点位置相应的初速度 V_r , 初速度的方向为离开点的切线方向, 如图 6b 所示, 将初速度 V_r 分解为水平与竖直 2 个方向的速度 V_x 与 V_y , 因此正压投种点越接近水平位置, 水平分量就越小, 即稻种的水平位移也越小, 可提高稻种的成穴性。因此, 正压投种区为水平位置 $0\sim 20^\circ$ 。

2.4 清种毛刷与卸种装置设计

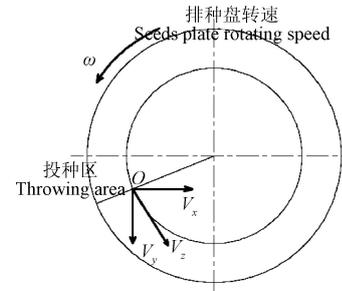
水稻种子中含有较多的杂质, 排种器长时间工作后会对吸孔造成堵塞。为了防止吸孔堵塞, 如图 2 与图 5a 所示, 在气吸壳体内安装了 2 个清种毛刷, 在排种壳体内安装了 1 个清种毛刷, 通过 3 个毛刷对排种盘的两面清洁, 可清除吸孔内部的杂质, 保证排种器的正常工作。

排种器完成播种作业后, 需要将排种器内剩余的稻种清除, 如图 5a 所示, 卸种装置 2 安装在充种区域下面。由于稻种堆积在排种壳体的充种区域 1 中, 待排种器完成播种作业后, 打开卸种装置, 稻种将流出排种器, 完成卸种。



a. 清种毛刷与卸种装置结构示意图

a. Schematic diagram of seed brush and seed unloading device



b. 投种区域

b. Seed throwing area

1. 充种区域 2. 卸种装置 3. 清种毛刷 4. 排种壳体
1. Seed filling area 2. Seed unloading device 3. Seed brush 4. Seed chamber shell

注: O 为投种点, V_r 为离开排种盘的初速度, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; V_x 为初速度的水平分量, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; V_y 为初速度的竖直分量, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

Note: O is the seed-throwing point, V_r is the initial velocity of leaving the seed plate, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; V_x is the horizontal component of initial velocity, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; V_y is the vertical component of initial velocity, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

图 5 清种毛刷、卸种装置和投种区域示意图

Fig.5 Schematic diagram of seed brush, seed unloading device and seed throwing area

3 材料与方法

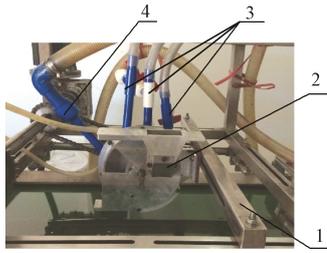
3.1 试验材料

为了确定水稻播量可调气力式排种器的播种精度, 对该排种器进行了台架播种精度试验。

选取超级杂交稻“Y-2 优”为试验对象, 种子的平均外形尺寸 (长度×宽度×厚度) 为 $8.90\text{ mm}\times 2.20\text{ mm}\times 1.84\text{ mm}$; 每千粒质量为 23.8 g。种子经清水清洗, 滤除杂质与秕谷, 浸泡 24 h 晾干后使用, 试验前测定平均含水率为 24.3%。

3.2 试验装置

在华南农业大学南方农业机械与装备教育部重点实验室 JPS-12 播种试验台进行了试验。排种器试验时, 稻种将会下落至该试验台的种床带上, 种床带在循环工作时会铺上一层粘度较大的齿轮油, 稻种下落后与齿轮油接触, 不会发生弹跳, 从而可以准确的记录排种器的播种精度。为了准确的测量压强, 本文采用水平压力计对气压进行测量, 首先在气吸壳体上开设螺纹孔, 安装螺纹接头, 并在螺纹处缠绕上防水胶带, 防止螺纹孔处漏气, 采用橡皮胶管将接头与水平 U 型压力计连接, 测量气压。为了清楚的观察排种器在播量调节时的稻种吸附状态, 以及观察关闭负压接口后是否仍会有稻种被吸附, 将排种壳体开设一窗口, 以观察吸种情况, 试验装置如图 6 所示。



1.播种试验台 2.排种器 3.负压管路 4.正压管路
1.Seeding test-bed 2.Seed metering device 3.Negative pressure pipeline 4.Positive pressure pipeline

图6 试验装置
Fig.6 Test devices

3.3 试验设计

影响气力式排种器工作的主要参数为吸种负压、排种盘转速和吸孔组数，由于3个流道之间相互独立，故测量气压时仅对工作流道的气压进行测量。通过前期预试验发现，当负压为0.4 kPa时，排种器吸种困难，通过排种效果观察，空穴率较高，当负压为2.0 kPa时，吸种过多，重吸附率过高，故将试验负压的水平定在0.8~1.6 kPa之间，根据田间作业效率要求，水田作业机具的行走速度一般在0.5~1 m/s，对应排种器转速在20~40 r/min之间，故排种盘转速选取20, 30, 40 r/min；原有的排种器吸孔一般均为8组，增加排种盘吸孔组数可在相同的转速下获得更高的机具作业速度，由于4组吸孔数量过小，故排种盘吸孔组数选取8, 12, 16。水稻种子为纺锤体，长轴一般为10 mm左右，当吸孔组数过多时，吸孔排布过于密集，相邻2组吸孔之间的距离将会小于10 mm，会影响吸孔正常工作。根据以上原因，采用全因素试验制定因素水平表2。

3.4 评价指标

为了验证水稻播量可调气力式排种器的工作性能，按照上述试验方法，对排种器的播种精度进行统计与分析。参照国家标准GB-T 6973-2005规定^[30]，连续记录排种器排出的每穴种子量，每250穴为1组，共计3组。

由于播量可从1孔调节至5孔，故需统计不同孔数条件下的播种精度。当仅1孔工作时，容易出现空穴，故合格率以1~2粒/穴为标准。当2孔工作时，以1~3(即2±1)粒为合格指标，其余各孔以此类推，以(n±1)为合格指标(n为孔数)。

表2 试验因素水平

水平 Levels	因素 Factors		
	吸孔组数 Group number of suction holes X_1	吸室负压 Negative pressure X_2 /kPa	排种盘转速 Rotational speed of sucking plate X_3 /(r·min ⁻¹)
1	8	0.8	20
2	12	1.2	30
3	16	1.6	40

4 结果与分析

通过排种器上的窗口观察，当调节播量时，关闭所对应的负压接口，则对应的吸种孔无稻种被吸附，可实现播量的调节。平均播种粒数试验结果如图7所示，由试验结果可知，排种盘吸孔组数对平均粒数影响不大，无明显变化趋势。由试验结果可知，随着吸种负压和排种盘转速的提升空穴率减小，主要原因为：吸种负压的增加，提升了吸孔的吸附力，增大了吸种率，因此，空穴率减小。但过大的负压会导致重吸附概率的发生，也会降低播种精度，故不宜采用过大的负压进行吸种；排种器转速的提高导致了吸孔在吸种区内经过的时间变短，吸种时间不够充分，且转速的提高会增加已吸附稻种的离心力，增加了被吸附稻种的不稳定性，故造成空穴率的增加。但由于实际应用中需要保证一定的播种效率，不能过分的降低排种盘转速，从试验结果可知，当排种盘转速提高时，可采用增加吸种负压的方式来弥补吸种时间不足与离心力增加的劣势，吸种负压的提高增大了吸孔吸力，吸力的增加可有效的提高吸种稳定性，故增加排种盘转速的同时增加吸种负压可保证播种精度。

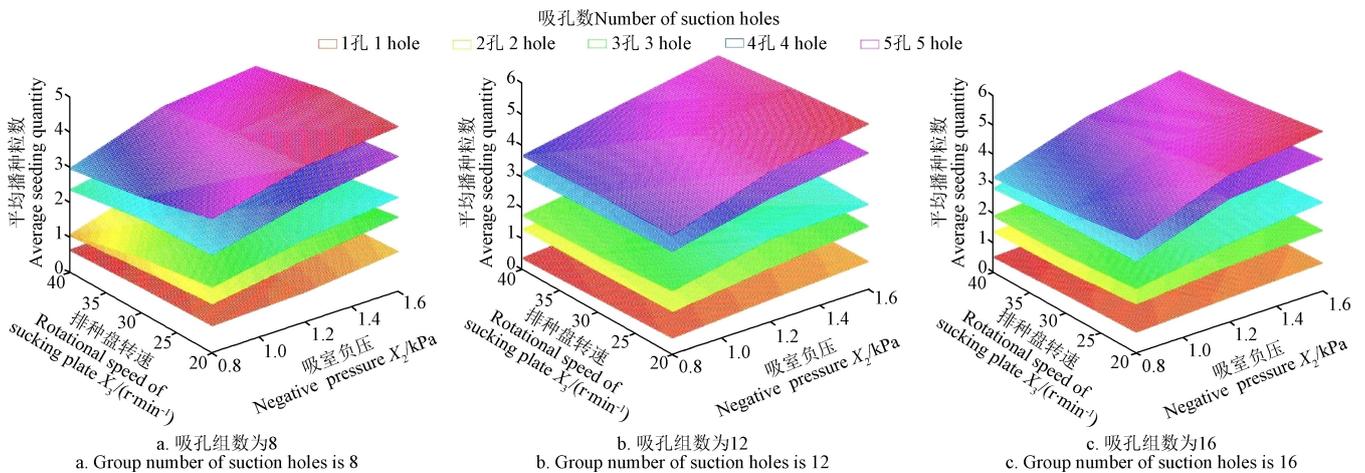


图7 不同条件下的平均粒数
Fig.7 Average seeding number under different conditions

播种合格率试验结果如表3所示，由试验结果可知，当吸孔组数为12、吸种负压为1.6 kPa和排种盘转速为

20 r/min时，1孔播种达到最佳效果，合格率为82.41%；当吸孔组数为12、吸种负压为1.6 kPa和排种盘转速为

40 r/min 时，2 孔播种达到最佳效果，合格率为 96.36%；当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时，3 孔播种达到最佳效果，合格率为 92.79%；当吸孔组数为 16、吸种负压为 1.2 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时，4 孔播种达到最佳效果，合格率为 91.93%；当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 30 r/min 时，5 孔播种达到最佳效果，合格率为 87.88%。由表 3 试验结果可知，对比 8、12、16 组吸孔的试验结果可知，当吸孔组数为 8 时，合格率最低，均要低于吸孔组数 12 与 16。在 2 孔与 3 孔工作时，吸孔组数 12 与吸孔组数 16 合格率较为接近，但在 1 孔、4 孔和 5 孔工作时，12 组吸孔的合格率要高于 16 组吸孔的合格率，故在实际生产中应选取吸孔组数为 12。

由 1 孔试验结果可知，空穴率均大于 17%，呈现了较高的空穴率，主要原因为：水稻种子由于表面带芒、圆球度不高，单个吸孔吸种时，会出现较多的不能吸附状态。但根据水稻农艺要求，以及水稻的田间发芽率，一般情况下不宜采用单粒播种。

由 2 孔试验结果可知，相比于 1 孔试验结果，空穴率大幅度减小，主要原因为：同时存在 2 个吸孔工作，且 2 个吸孔同时不吸种的概率较低，故大幅度的降低了空穴率。

由 3、4、5 孔试验结果可知，空穴率进一步减小，

播种量也随之增加，但总体播种合格率相比于 2 孔有所下降，主要原因为：每一穴的吸种精度由吸孔个数所决定，当吸孔个数增加时，对于每一个吸孔的吸种精度都存在一定的范围，吸孔精度范围的叠加，导致了精度变化的可能性增加，从而降低了吸种合格率。

对上述试验结果进行方差分析，结果如表 4 所示。由 1 孔的方差结果可知，负压与排种盘转速对空穴率与 1~2 粒/穴率均产生了极显著影响 ($P<0.01$)；吸孔组数对空穴率与 1~2 粒/穴率均产生了显著影响 ($P<0.05$)。

由 2 孔方差分析结果可知，吸孔组数、负压与排种盘转速对空穴率、1~3 粒/穴率均产生了极显著影响 ($P<0.01$)。

由 3 孔方差分析结果可知，吸孔组数与负压对空穴率与 2~4 粒/穴率均产生了极显著影响 ($P<0.01$)；排种盘转速对空穴率产生了显著影响，对 2~4 粒/穴率均产生了极显著影响 ($P<0.05$)。

由 4 孔方差分析结果可知，吸孔组数与负压对 ≤ 1 粒/穴率、3~5 粒/穴率均产生了极显著影响影响 ($P<0.01$)；排种盘转速对 3~5 粒/穴率产生了极显著影响 ($P<0.01$)。

由 5 孔方差分析结果可知，吸孔组数对 4~6 粒/穴率产生了极显著影响影响，对 ≤ 2 粒/穴率产生显著影响 ($P<0.05$)；负压与排种盘转速对 ≤ 2 粒/穴率与 4~6 粒/穴率均产生了极显著影响 ($P<0.01$)。

表 3 试验结果
Table 3 Test results

序号 No.	因素水平 Level of factor			1 孔 1 hole		2 孔 2 holes		3 孔 3 holes		4 孔 4 holes		5 孔 5 holes		%
	x_1	x_2	x_3	空穴率	合格率	空穴率	合格率	空穴率	合格率	≤ 1 粒/穴率	合格率	≤ 2 粒/穴率	合格率	
				Missed seed per hill	Qualified rate	Missed seed per hill	Qualified rate	Missed seed per hill	Qualified rate	≤ 1 Sucked seed per hill	Qualified rate	≤ 2 Sucked seed per hill	Qualified rate	
1	1	1	1	36.97	61.21	10.15	89.25	7.94	64.41	10.03	59.88	13.00	59.75	
2	1	1	2	37.01	62.39	18.13	81.57	15.60	55.35	11.45	54.52	25.47	40.99	
3	1	1	3	41.72	57.99	23.24	76.76	26.05	29.94	18.32	42.94	34.49	30.70	
4	1	2	1	27.67	71.38	5.87	90.91	2.09	84.48	3.64	81.21	4.67	85.98	
5	1	2	2	33.82	65.60	7.87	91.84	4.66	76.09	5.88	73.53	4.27	78.05	
6	1	2	3	35.63	63.79	9.82	88.99	8.31	63.20	8.63	59.52	10.84	65.94	
7	1	3	1	17.34	80.19	2.20	94.65	0.92	88.07	0.31	85.89	2.48	82.61	
8	1	3	2	23.24	75.54	5.59	93.82	4.01	81.79	0.63	86.88	2.80	83.54	
9	1	3	3	35.15	64.24	7.90	91.49	6.96	71.30	2.48	76.16	6.91	69.37	
10	2	1	1	49.20	50.80	11.00	88.03	6.91	74.01	4.00	76.33	11.64	61.19	
11	2	1	2	58.20	41.80	15.16	84.52	7.26	67.00	5.67	72.67	12.23	60.55	
12	2	1	3	64.42	35.58	17.70	82.30	8.54	64.56	2.91	74.11	18.52	54.94	
13	2	2	1	31.63	68.37	4.25	94.44	0.65	92.53	0.00	90.33	0.95	89.91	
14	2	2	2	37.90	62.10	4.33	95.67	2.24	83.33	0.33	89.70	2.40	81.74	
15	2	2	3	42.95	57.05	10.49	89.51	2.86	80.32	1.00	89.37	6.63	75.00	
16	2	3	1	17.59	82.41	1.00	95.67	0.00	92.79	0.00	90.49	0.63	83.44	
17	2	3	2	22.08	77.92	1.84	96.01	0.00	92.11	0.00	91.00	0.00	87.88	
18	2	3	3	25.23	74.77	2.65	96.36	1.63	91.18	0.33	90.40	2.37	86.69	
19	3	1	1	34.88	65.12	5.36	94.01	3.88	76.12	5.74	71.60	14.11	61.26	
20	3	1	2	38.99	61.01	10.51	88.89	4.55	70.30	8.28	69.11	20.94	52.19	
21	3	1	3	50.15	49.85	13.50	86.20	5.26	62.87	8.15	62.07	26.92	41.99	
22	3	2	1	24.42	75.58	2.20	94.97	0.61	91.44	0.00	91.93	1.22	82.98	
23	3	2	2	34.52	65.48	5.19	93.08	0.96	84.94	0.32	86.73	3.80	78.95	
24	3	2	3	39.66	60.34	6.61	92.49	2.17	76.47	3.38	83.08	5.45	76.97	
25	3	3	1	18.67	81.33	0.57	96.26	0.00	92.75	0.00	81.88	0.61	84.15	
26	3	3	2	24.71	75.29	2.08	95.85	0.32	91.32	0.30	90.27	0.60	87.65	
27	3	3	3	29.34	70.66	2.37	96.14	0.91	91.46	1.27	89.84	2.42	82.12	

表4 方差分析
Table 4 Variance analysis

吸孔数 Number of suction holes	指标与试验因素 Indicators and test factors		SS	df	MS	F	Sig	显著性 Significance
1孔 1hole	空穴率 Missed seed per hill	x_1	0.025	2	0.012	4.548	0.024	*
		x_2	0.218	2	0.109	40.467	0	**
		x_3	0.062	2	0.031	11.544	0	**
	1~2粒/穴率 1-2 Sucked seeds per hill	x_1	0.021	2	0.01	3.695	0.043	*
		x_2	0.215	2	0.107	38.558	0	**
		x_3	0.058	2	0.029	10.396	0.001	**
2孔 2holes	空穴率 Missed seed per hill%	x_1	0.01	2	0.005	12.139	0	**
		x_2	0.057	2	0.028	68.773	0	**
		x_3	0.015	2	0.007	18.079	0	**
	1~3粒/穴率 1-3 Sucked seed per hill	x_1	0.008	2	0.004	7.761	0.003	**
		x_2	0.042	2	0.021	39.078	0	**
		x_3	0.008	2	0.004	7.424	0.004	**
3孔 3holes	空穴率 Missed seed per hill	x_1	0.021	2	0.01	10.672	0.001	**
		x_2	0.033	2	0.017	16.932	0	**
		x_3	0.009	2	0.004	4.512	0.024	*
	2~4粒/穴率 2-4 Sucked seed per hill	x_1	0.112	2	0.056	19.84	0	**
		x_2	0.311	2	0.156	54.957	0	**
		x_3	0.088	2	0.044	15.501	0	**
4孔 4holes	≤ 1 粒/穴率 ≤ 1 Sucked seed per hill	x_1	0.013	2	0.007	13.914	0	**
		x_2	0.029	2	0.014	30.405	0	**
		x_3	0.003	2	0.001	3.085	0.068	*
	3~5粒/穴率 3-5 Sucked seed per hill	x_1	0.124	2	0.062	21.551	0	**
		x_2	0.25	2	0.125	43.619	0	**
		x_3	0.023	2	0.012	4.057	0.033	**
5孔 5holes	≤ 2 粒/穴率 ≤ 2 Sucked seed per hill	x_1	0.014	2	0.007	5.929	0.01	*
		x_2	0.164	2	0.082	70.769	0	**
		x_3	0.024	2	0.012	10.465	0.001	**
	4~6粒/穴率 4-6 Sucked seed per hill	x_1	0.04	2	0.02	7.26	0.004	**
		x_2	0.537	2	0.269	97.056	0	**
		x_3	0.066	2	0.033	11.87	0	**

注: **表示影响极显著 ($P<0.01$); *表示影响显著 ($P<0.05$)。

Note: ** is important significant ($P<0.01$); * is significant ($P<0.05$).

5 讨论

本文主要针对水稻播量可调气力式排种器进行了研究, 相比于原有的水稻气力式排种器, 该排种器可以对播种量进行调节, 且调节方式方便快捷, 可同时满足杂交稻不同品种之间不同播量的要求。同时该排种器在进行2孔播种时, 播种精度与原水稻气力式排种器的播种精度基本相同, 不影响超级杂交稻的播种。

由仿真结果可知, 负压流道接口处于中间位置较好, 但由于该排种器流道较多, 且为了与外部管路等结构相互配合, 故将中间流道与外侧流道的负压结构设定在离端线 65° 处, 从仿真结果可知, 当处于 65° 时与中间位置, 吸孔负压均值相差不大, 故本文在设计排种器时, 将中间流道与外侧流道设定在偏离中心的位置。

本文在进行仿真时仅采用在静态的条件下, 试验条件较为理想化, 故各组试验结果相近, 却变异系数均较小, 但实际工作中排种盘处于旋转状态, 故本文对动态的仿真分析缺乏研究, 需要进一步深入的研究动态的排种盘对负压分布与流动的影响。

通过上述仿真分析可知, 当负压接口位置处于中间, 有利于减小气压的损失, 但由于排种器结构位置有限, 负压结构不仅需要连接内部流道, 同时需要连接外部管路, 故各个负压结构之间需要一定的空间位置, 故在不影响排种器装配工艺的条件下, 尽可能的把负压结构位置设计于中间位置, 故负压流道接口没有在同一位置分布, 且吸孔的位置不会影响流道的长度。流道的长度主要是由于排种器流道成圆周分布, 故随着流道半径的增

加, 流道长度也随着增加, 为了使排种器实现同步吸种与同步投种, 故需要将排种器的吸种与投种位置保持在同一直线上, 故流道长度不一致。但吸孔的结构相同, 且各个流道相互独立, 从试验结果可知, 对多排吸孔的合格率影响不大。

本文采用相互独立的负压流道对播种量进行控制, 理论上流道之间气流相互不流通, 但实际由于排种盘与气吸壳体之间存在相互转动, 故不能实现完全的绝对相互独立不流通。由于采用较高的加工精度, 使排种盘与气吸壳体之间的缝隙极小, 气流流入流道后, 主要从吸孔处吸取空气, 经过缝隙流入其他流道内的气流极小, 且采用的负压较低, 故流入其他流道的气流不足以吸附水稻种子, 因此对水稻播量可调气力式排种器的工作不产生影响。但目前需要通过手动调节阀门的开闭进行流道气流的控制, 没有实现自动化调整播种量, 可针对该方面进行进一步的优化设计, 加入电控阀门等对流道内的气流进行控制, 即控制播种量, 提高自动化播种技术。

根据水稻播种农艺要求, 播种穴径为 50 mm , 但目前所采用的排种盘吸孔沿半径方向呈线性分布, 如果下落时不受任何干扰, 各个吸孔上的种子会保留吸孔之间原有的距离, 即各个种子由于不在同一点下落, 导致下落后会出现距离差, 影响落种的成穴性, 但由于下落时会受到碰撞等干扰因素, 使本身就有一定距离差的稻种之间的距离变得更大, 破坏了落种的成穴性, 故吸孔分布的位置之间的间距过大, 会影响稻种的成穴性, 同时由于流道厚度以及吸孔之间的距离所限, 故吸孔不

能分布太近, 以免影响播种精度。目前所采用的排种盘最内侧吸孔与最外侧吸孔中心距为 38 mm, 采用正压同步投种, 理论上穴径应小于 50 mm, 但由于吸附姿态的变化, 以及下落时与排种器之间的碰撞, 可能会造成穴径的变化, 导致穴径大于 50 mm, 影响播种的成穴性。为了改善这一现象, 日后仍需进行投种过程的研究, 分析正压对成穴性的影响, 优化吸孔空间分布等结构, 提高播种成穴性。

6 结 论

针对杂交水稻品种的多样性, 本文设计了一种水稻播量可调气力式排种器, 对关键部件的参数进行了设计, 采用 ANSYS-FLUENT 仿真软件对流道结构进行了分析, 确定了最佳流道结构, 分析了流道结构与吸孔压强的关系; 阐明了水稻播量可调气力式排种器的工作原理, 分析了多个负压流道对吸种精度的控制过程。

选取超级杂交稻 Y-2 优 900 为试验材料, 对不同播量下的播种精度进行试验研究, 试验结果表明: 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 1 孔播种达到最佳效果, 合格率为 82.41%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 40 r/min 时, 2 孔播种达到最佳效果, 合格率为 96.36%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 3 孔播种达到最佳效果, 合格率为 92.79%; 当吸孔组数为 16、吸种负压为 1.2 kPa 和排种盘转速为 20 r/min 时, 4 孔播种达到最佳效果, 合格率为 91.93%; 当吸孔组数为 12、吸种负压为 1.6 kPa 和排种盘转速为 30 r/min 时, 5 孔播种达到最佳效果, 合格率为 87.88%。满足了杂交水稻播量变化的要求, 为水稻播量可调气力式排种器的田间播种应用提供了参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] Zhang M H, Wang Z M, Luo X W, et al. Review of precision rice hill-drop drilling technology and machine for paddy[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2018, 11(3): 1—11.
- [2] 汪懋华. 中国农业机械化年鉴[EB/OL]. (2016-12-02) [2018-07-11]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexch.htm>.
- [3] 张洪程, 龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(7): 1273—1289. Zhang Hongcheng, Gong Jinlong. Research status and development discussion on high-yielding agronomy of mechanized planting rice in China[J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2014, 47(7): 1273—1289. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郑天翔, 唐湘如, 罗锡文, 等. 不同灌溉方式对精量穴直播超级稻产生的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 52—55. Zheng Tianxiang, Tang Xiangru, Luo Xiwen, et al. Effects of different irrigation methods on production of precision hill-direct-seeding super rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(8): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [5] Farooq M, Siddique K H M, Rehman H, et al. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities[J]. *Soil & Tillage Research*, 2011, 111: 87—98.
- [6] Chauhan B S, Awan T H, Abugho S B, et al. Effect of crop establishment methods and weed control treatments on weed management, and rice yield[J]. *Field Crops Research*, 2015, 172: 72—84.
- [7] Wu Z G, Tang D, Liu K, et al. Characterization of a new semi-dominant dwarf allele of SLR1 and its potential application in hybrid rice breeding[J]. *Journal of experimental botany*, 2018, 6(28): 1—11.
- [8] Wang X B, Wang S Q, Chen J H, et al. Simulating potential yields of Chinese super hybrid rice in Bangladesh, India and Myanmar with EPIC mode[J]. *Journal of Geographical Sciences*. 2018, 28(7): 1020—1036.
- [9] Liao Y T, Wang L, Liao Q X. Design and test of an inside-filling pneumatic precision centralized seed-metering device for rapeseed[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017, 10(2): 56—62.
- [10] Ismet O, Degirmencioglu A, Yazgi A. An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2012, 36: 133—144.
- [11] Gaikwad B B, Sirohi N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays[J]. *Biosystems Engineering*, 2008, 99(10): 322—329.
- [12] Yasir S H. Design and Test of a Pneumatic Precision Metering Device For Wheat[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [13] Yazgi A, 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(6): 128—135.
- [14] Yazgi A, Degirmencioglu A, Onal I, et al. Mathematical modeling and optimization of the performance of a metering unit for precision corn seeding[J]. *Journal of Agricultural Machine Science*, 2010, 6(2): 107—113.
- [15] Jack D S, Hesterman D C, Guzzomi A. Precision metering of Santalum spicatum (Australian Sandalwood) seeds[J]. *Biosystems Engineering*, 2013, 115(3): 171—183.
- [16] Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104(2): 121—125.
- [17] Karayel D, Barut Z B, Ozmerzi A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. *Biosystems Engineering*, 2004, 87(4): 437—444.
- [18] Karayel D, Wiesehoff M, Zmerz A O, et al. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 50(2): 89—96.
- [19] Xing H, Luo X W, Zang Y, et al. General structure design and field experiment of pneumatic rice direct-seeder[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017, 10(6): 31—42.
- [20] 邢赫, 臧英, 王在满, 等. 水稻气力式排种器分层充种室的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(4): 42—48. Xing He, Zang Ying, Wang Zaiman, et al. Design and experiment of filling seed stratified room on rice pneumatic metering device[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(4): 42—48. (in Chinese with English abstract)
- [21] 臧英, 邢赫, 王在满, 等. 水稻气力式排种器挡种装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(5): 33—38. Zang Ying, Xing He, Wang Zaiman, et al. Design and experiment of shield device on rice pneumatic metering device[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(5): 33—38. (In Chinese with English abstract)
- [22] 邢赫, 臧英, 曹晓曼, 等. 水稻气力式排种器投种轨迹试验与分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(12): 23—30. Xing He, Zang Ying, Cao Xiaoman, et al. Experiment and

- analysis of dropping trajectory on rice pneumatic metering device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(12): 23–30. (in Chinese with English abstract)
- [23] 邢赫, 王在满, 罗锡文, 等. 气力式水稻穴播机播种精度与田间成苗率关系的试验研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 42–48.
Xing He, Wang Zaiman, Luo Xiwen, et al. Experimental study of seeding precision and germination rate in the field of pneumatic rice seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(9): 42–48. (in Chinese with English abstract)
- [24] 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.
- [25] 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 Agricultural Machinery(Transactions of the CSAM), 2016, 47(5): 46–52. (in Chinese with English abstract)
- [26] 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]. 农业机械学报, 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 Chinese Society Agricultural Machinery (Transactions of the CSAM), 2016, 47(9): 29–36. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张明华, 王在满, 罗锡文, 等. 水稻精量穴直播机开沟装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 10–15.
Zhang Minghua, Wang Zaiman, Luo Xiwen, et al. Design and experiment of furrowing device of precision hill-drop drilling machine for rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(5): 10–15. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王在满, 邢赫, 臧英, 等. 一种播量可调的气力式排种器: 107318318A[P]. 2017-11-07.
- [29] 张德文. 精密播种机械[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [30] 全国农业机械标准化技术委员会. 单粒(精密)播种机试验方法: GB-T 6973-2005[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2005.

Design and parameter optimization of rice pneumatic seeding metering device with adjustable seeding rate

Xing He, Zang Ying^{*}, Wang Zaiman, Luo Xiwen, Pei Juan, He Siyu, Xu Peng, Liu Shuncai

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The rice mechanized planting level is low in China. The ordinary hybrid rice and the super hybrid rice of high yield population structure can be formed with only 3-5 and 1-3 seeds per hill, respectively. The pneumatic rice precision direct seeding technique is a combination of machinery and air flow. To meet the cultivation requirements of different varieties and seeding rate of hybrid rice, a rice pneumatic seeding metering device with adjustable seeding rate was designed in this study. The working principle of seed metering device was analyzed. This seed metering device adopted multiple independent negative pressure flow-path to control the accuracy of seed suction. The influence of independent negative pressure flow-path structure on suction hole negative pressure was analyzed by ANSYS-FLUENT software. The key components of seed metering device with adjustable seeding rate were designed. The method of adjusting seeding rate was explained. The super hybrid rice Y-2 You 900 was selected as the test object. The average size of the seed was 8.90 mm× 2.20 mm×1.84 mm (length × width × thickness), and the weight of 1 000 grains was 23.8 g. The seeds were washed by water to remove impurities and blighted grain. The dry seeds were soaked in clear water for 24 h. Then, they were moistened, filtered out and dried. The average moisture content was 24.3% (wet basis) before the test. The whole factor experiments were carried out under different negative pressures, rotational speeds of the suction plates, and group number of suction holes. The results showed that when the negative pressure was 1.6 kPa, the optimal group number of suction holes was 12, and rotational speed of the sucking plate was 20 r/min, the optimal qualified rate of 1 hole was 82.41%; when the negative pressure was 1.6 kPa, the optimal group number of suction holes was 12, and rotational speed of the sucking plate was 40 r/min, the optimal qualified rate of 2 holes was 96.36%; when the negative pressure was 1.6 kPa, the optimal group number of suction holes was 12, and rotational speed of the sucking plate was 20 r/min, the optimal qualified rate of 3 holes was 92.79%; when the negative pressure was 1.2 kPa, the optimal group number of suction holes was 16, and rotational speed of the sucking plate was 20 r/min, the optimal qualified rate of 4 holes was 91.93%; when the negative pressure was 1.6 kPa, the optimal group number of suction holes was 12, and rotational speed of the sucking plate was 30 r/min, the optimal qualified rate of 5 holes was 87.88%. It also showed that a rice pneumatic seeding metering device with adjustable seeding rate could meet the requirements of different seeding rate for hybrid rice in direct seeding. Compared with the original seed metering device, this seeding metering device is more suitable to rice diversity, which provides a certain reference for rice mechanized direct seeding technology.

Keywords: mechanization; design; optimization; precision seeding; adjustable seeding rate; rice; pneumatic; seed metering device