

气吸式三七播种器吸孔流场仿真研究

杨航, 莫蝶, 殷春梅, 黄国贤 (云南工程职业学院, 云南昆明 650304)

摘要 吸孔是滚筒在工作过程中使滚筒内产生负压并实现精密播种的核心部件, 其在工作过程中的工作性能直接影响播种的效率和质量。为此建立3种不同的吸孔模型(直孔、T型孔、锥形孔), 不同的吸孔直径, 利用CFD理论和数值模拟方法对3种不同的结构进行数值模拟仿真, 分析不同种类吸孔的流场、相同吸孔不同直径对流场的影响以及吸孔对空心轴内的流场情况; 将影响播种效率的不同条件进行动态组合, 并分析其最优组合。得到锥形吸孔由于其独特的几何形状, 吸附性能强于其他2种吸孔类型, 吸孔之间空气流场不会产生相互干涉。实验结果表明, 当滚筒转速为10 r/min、吸孔直径为1.5 mm、压力差为5 kPa时的组合为最优组合, 此时的播种效果最好。

关键词 三七播种器吸孔; 数值模拟; 流场

中图分类号 S223.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)30-0209-04

Simulation Study on Suction Hole Flow Field of Air Suction Pseudo-ginseng Seeder

YANG Hang, MO Die, YIN Chun-mei et al (Yunnan Engineering Career Academy, Kunming, Yunnan 650304)

Abstract The suction hole is the core component of the drum which generates negative pressure in the drum during the working process and realizes precise seeding. The working performance directly affects the efficiency and quality of the seeding during the working process. To this end, three different suction hole models (straight hole, T-shaped hole, tapered hole), different suction hole diameters, and CFD theory and numerical simulation methods were used to simulate and simulate three different structures. The flow field of the type of suction hole, the influence of different diameters of the same suction hole on the flow field and the flow field of the suction hole to the hollow shaft; the different conditions affecting the seeding efficiency are dynamically combined, and the optimal combination is analyzed. Due to its unique geometry, the tapered suction hole is stronger than the other two types of suction holes, and the air flow field between the suction holes does not interfere with each other; the experimental results show that when the rotation speed of the drum is 10 r/min, the diameter of the suction hole is 1.5 mm and a pressure difference of 5 kPa is the optimal combination, and the seeding effect at this time is the best.

Key words Sanqi seeder suction hole; Numerical simulation; Flow field

云南省是全国最主要的三七生产基地, 截至2016年, 云南省三七种植面积高达2.67万 hm^2 , 产量突破2500万kg, 约占全球三七产量的97%^[1]。国外的小麦和蔬菜等精密种植仪器都已经成熟^[2], 但是目前没有出现成熟的三七种子精密播种器。精密播种器按照其类型分为机械式和气力式2种。气力式精密播种器又分为气吸式、气吹式、气压式播种器, 而气吸式播种器具有通用性强、使用可靠、结构简单等特点。史嵩等^[3]通过研究气压式精量播种器的气压与导槽之间的参数关系以减小对种子的重播、漏播的指数。刘月琴等^[4]利用离散元的方法对种子的离散度、作用力和速度进行分析, 得到转速和振动频率使吸种性能提高的参数范围。杨丽等^[5]针对气吸式播种器漏播率较高和地头漏的问题, 分析了工作区域和托盘的主要结构, 得到最佳的速度和真空范围, 以降低漏播率等问题。高筱钧等^[6]从三七播种器的工作原理出发研究了机器的前进速度和吸孔角度对播种器性能的影响, 得到播种器的前进速度和播种角度的最佳范围。任永飞等^[7]根据气吸式播种器原理, 分析真空室内的速度与负压的影响因素, 并进行排种器吸孔与轴心的夹角在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 播种器的播种效果最好。

笔者主要研究气吸式播种器的吸孔流场的流动特性。滚筒是吸气式三七种子播种器的主要部件之一, 其内部为全真空室。吸孔附在外滚筒表面并且与滚筒内部的真空压室相连接。在播种器工作过程中, 滚筒内部的空气通过空心轴被排到外部进而形成负压腔, 从而使滚筒上的吸孔两端形成

一定的压强差; 种子依靠压强差依附在滚筒口的吸孔上, 并随着滚筒转动; 当滚筒转动到隔气板形成正压腔, 种子在重力的作用下脱落到种植装置内。由于目前的气吸式三七种子播种器的播种精准度和播种效率还不太理想, 因此需要对其进一步研究。笔者设计3种滚筒上的吸孔, 利用CFD理论和数值模拟方法对3种不同类型的吸孔进行数值模拟, 为三七种子播种器吸孔在设计 and 优化上提供参考。

1 材料与方法

1.1 种子在种植过程中的受力分析 假设在整个种植过程中各个气孔之间不相互影响并且气孔周围的气流是稳定的, 将种子看作刚性球研究吸孔对一颗种子的作用力情况。根据流体力学理论, 种子在流场中受到流体的阻力, 阻力对种子产生吸附作用。设气体的密度为 ρ , 阻力位 F_d , 对种子所产生的吸附力如下:

$$F_d = C_d A \frac{\rho v_0^2}{2}$$

式中, C_d 为种子的阻尼系数, 大小和种子的形态有关, 由于三七种子形状接近球状, 所以其约为0.4; A 为种子的面积; v_0 为气体在吸孔处的流速; d 为种子的直径。

1.2 吸孔模型的建立 吸孔作为精准吸取种子的关键, 其精度是播种效率的关键所在。为了确定吸孔直径的范围, 在设计过程中需要对三七种子的尺寸范围进行分析。根据实际过程中的测量确定三七种子的平均直径为5 mm左右。根据三七种子的物理特性, 并结合实际的播种情况, 确定3种吸孔类型分别为直孔、T型孔和锥形孔(图1)。

1.3 气吸式吸孔的数值模拟

1.3.1 流体控制方程。 气吸式吸孔气流在流动过程中需要

基金项目 云南省教育厅科学研究基金项目(2017ZZX331)。

作者简介 杨航(1987—), 男, 四川宜宾人, 助教, 硕士, 从事机械工作研究。

收稿日期 2018-08-16

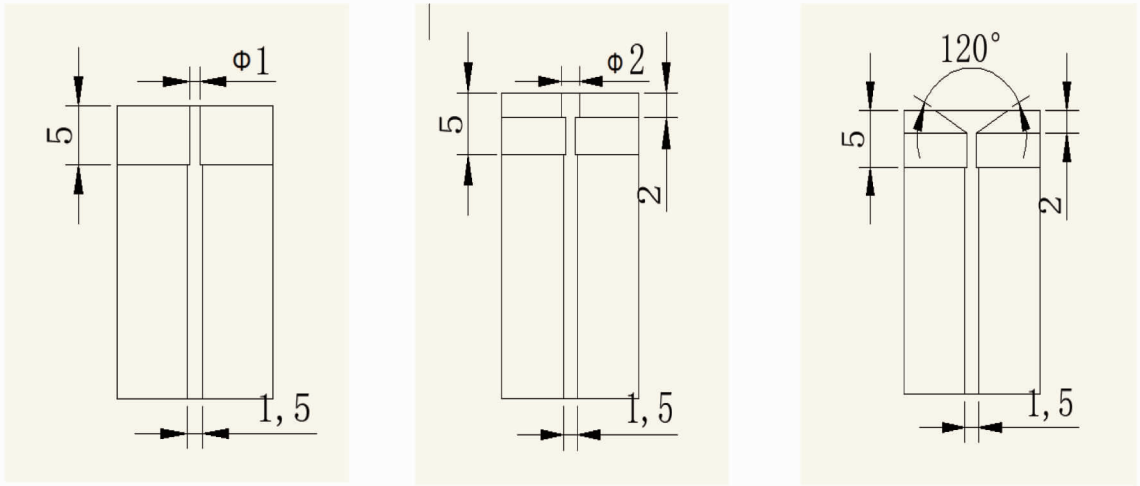


图1 3种不同的吸孔结构

Fig.1 Three kinds of different suction structures

遵循流体力学基本方程,分别为连续方程、动量方程和能量方程。根据公式 $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$ 可以判断流体在吸孔处于湍流状态,因此在此系统还应该添加湍流运输方程^[8-9]。

$$\text{连续方程: } \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

$$\text{Navier-Stokes 方程: } \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} +$$

$$\frac{\partial(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - u_i u_j)}{\partial x_i} + S_i$$

$$\text{湍流方程: } \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \frac{u_i}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \frac{u_i}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}] + G_{1\varepsilon} \varepsilon k (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) + G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

式中, ρ 为流体的密度; μ 为动力黏度; k 为湍流动能; μ_t 为湍流黏度; u 为气体流速; P 为静压; ε 为湍流耗散率; G_k 为平均速度梯度湍流动能项; G_b 为浮力湍流动能项; Y_M 为可压缩湍流脉动扩张; $G_{1\varepsilon}$ 、 $G_{2\varepsilon}$ 、 $G_{3\varepsilon}$ 分别为经验系数; σ_k 、 σ_ε 为湍流动能和湍流耗散率相对用的普朗特常数; S_k 、 S_ε 为源项。

1.3.2 利用 Gambit 流场的前处理。Gambit 软件是一款针对与 CFD 高质量的前处理器,具有强大的几何建模和网格划分的能力。由于其具有强大的布尔运算,使之可以建立各种复杂的几何模型;又可以智能化地生成非结构化网格,当需要对某几何区域进行网格加密时,直接选中需要加密的区域设定加密的精度范围,Gambit 智能运算出适合需要的网格质量。

该研究直接在 Gambit 中建立 3 种吸孔模型,对需要计算的几何区域进行离散化处理,生成四边形网格,然后对模型进行命名并输出 mesh 文件。

1.3.3 Fluent 条件的设置。将 mesh 文件导入到 fluent 中,并设置为二维单精度求解器;检查网格质量是否存在负体积的情况。根据流体力学方程选择求解方式为基于压力基、定常流,选择 k-双方程模型运用有限体积法对微分方程进行离散化处理;在操作条件为标准大气压下,设置流体介质为空气并将其作为不可压缩流体,并且忽略重力的影响;在近壁面处采用标准壁面函数处理并设置为无滑移边界条件。入口条件为速度入口,空气流动速度为 20 m/s,湍流强度和水利直径分别为 8%和 1 mm。出口条件为压力出口,设定压力为 0。采用 SIMPLE 二阶算法^[10-13],将残差收敛结果设置为 10^6 ,并实时监控残差变化曲线,最后求解计算步为 1 000,计算并求解。

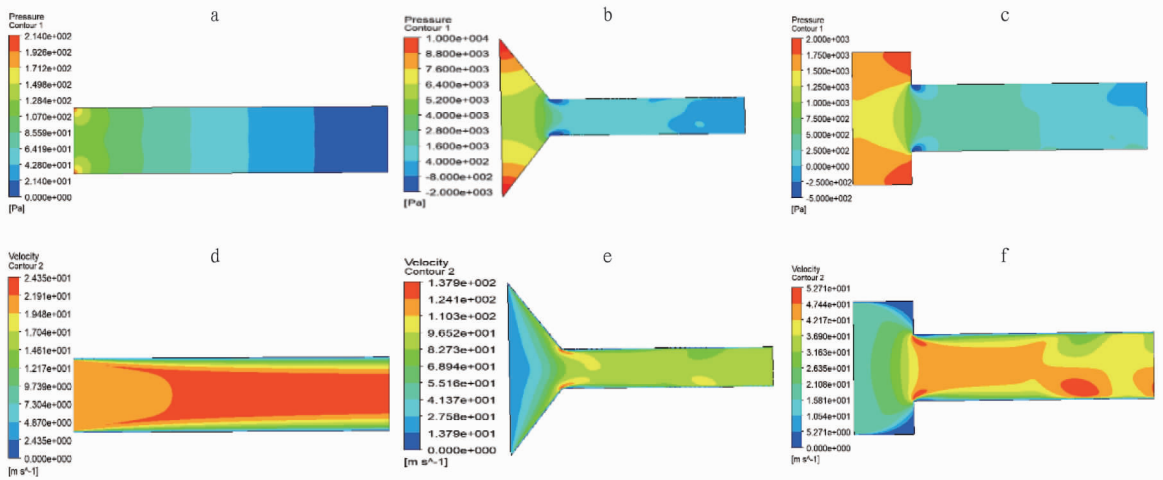
2 数值模拟结果与分析

2.1 不同吸孔形状的数值模拟 比较 3 种不同的孔型压力图(图 2),可以得到 3 种不同的孔型压力分布有着很大的差异。模型 1 直孔的压力最大处分布在边缘处且面积较小,其中压力最大为 2 140 Pa 左右;模型 3 T 型孔的压力最大处靠近边缘处,而在中心孔处较小,最大压力达到 2 000 Pa 左右;而锥形孔压力分布明显趋于中心线处且最大压力达到 10 000 Pa。

比较 3 种孔型的速度云图:由流体力学理论可知当流量一定时,流道横截面面积越大其流速越小。通过流体仿真分析可以看到直线型的管道速度变化不大,平均速度在 19.5~25.0 m/s,近壁面处的速度随着距离的减小而逐渐减小;锥形孔由收缩管道和直管两部分组成,在锥形孔形状突变处速度达到 137.0 m/s,但是在锥形管的入口中心处的速度在 80.0~90.0 m/s,在入口的收缩管边缘处的速度锐减到 40.0~50.0 m/s。T 型入口中心的速度在 38.0~42.0 m/s,其速度分布方式呈椭圆形在入口边缘的速度为 0~5.0 m/s。相比较 3 种的流速得到锥形孔的速度较大,速度降也比较大,对种子的吸附力较大,所以锥形孔的吸附性能好。

2.2 吸孔直径对吸附性能的影响 选取锥形孔为研究对象并且设计 1.0、1.5、2.0 mm 3 种不同锥形孔的直径,在使用相

同的边界条件下,分别对 3 种不同孔径的数值模拟(图 3)。



注:a.模型 1 压力云图;b.模型 2 压力云图;c.模型 3 压力云图;d.模型 1 速度云图;e.模型 2 速度云图;f.模型 3 速度云图

Note:a.Model 1 pressure nephogram;b.Model 2 pressure nephogram;c.Model 3 pressure nephogram;d.Model 1 velocity nephogram;e.Model 2 velocity nephogram;f.Model 3 velocity nephogram

图 2 3 种不同吸孔形状的数值模拟

Fig.2 Numerical simulation of three different kind of suction holes

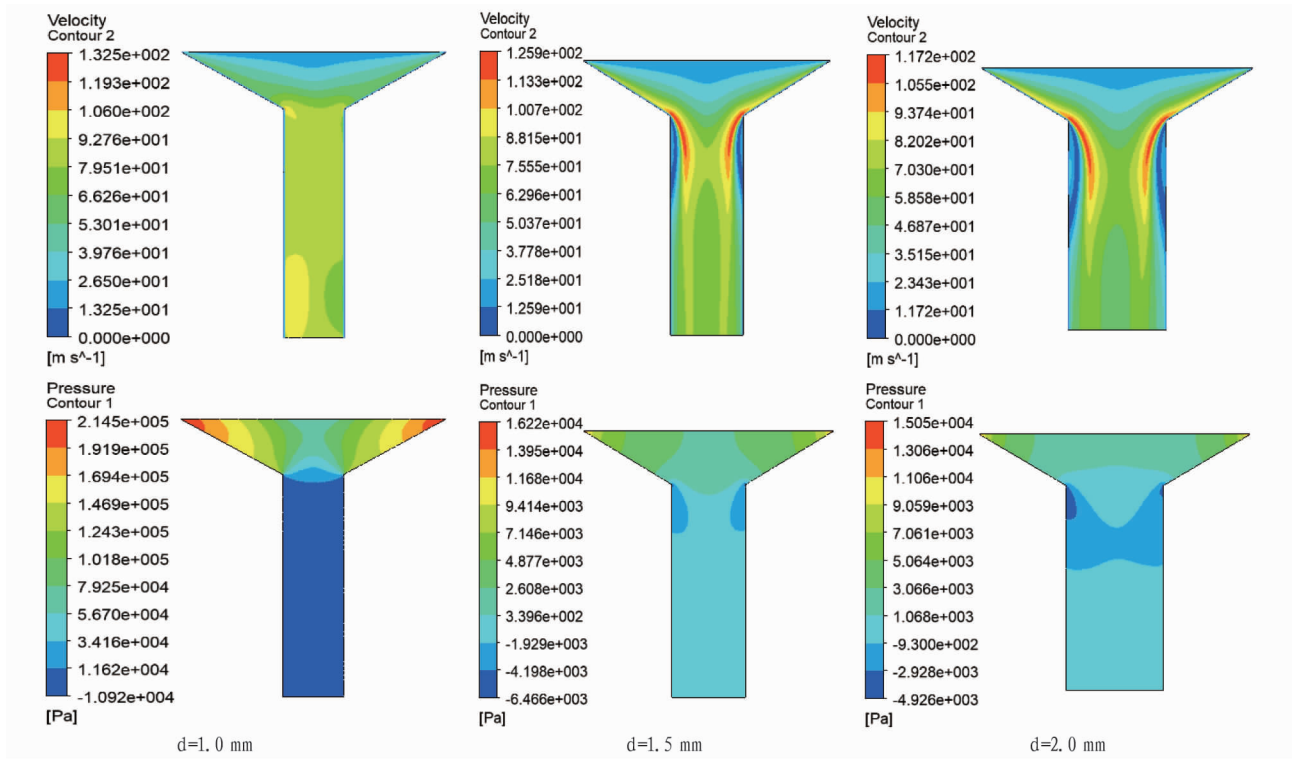


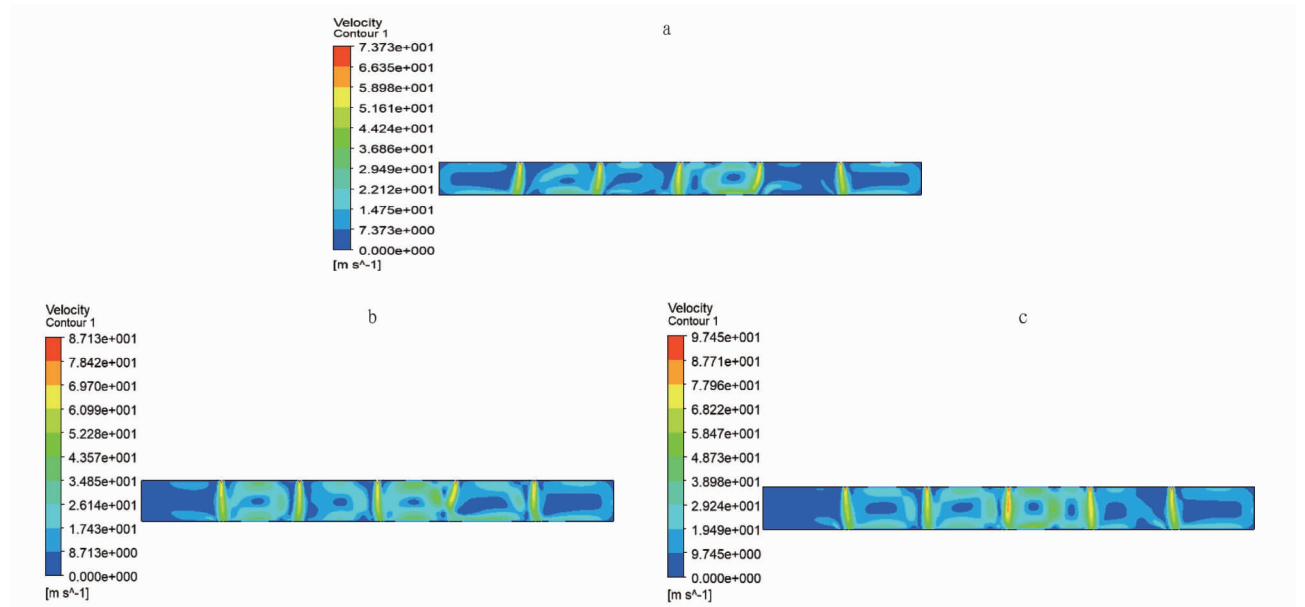
图 3 3 种不同吸孔直径的数值模拟

Fig.3 Numerical simulation of three different kind of suction hole diameters

通过对 3 种不同吸孔直径的数值仿真分析可以得到随着吸孔直径的增大,吸孔入口处的速度和压力在不断减小,通过速度分析可以得到当吸孔直径不断增大时,在进口的两侧喉管处接近壁面出现高速区域,并且此区域随着吸孔的增大而增大。通过吸孔的压力分布图可以得到随着吸孔直径的不断增大,吸孔处的压力在不断减小,吸孔直径喉管部位处的压力不断上升,导致吸孔处的压差减小,从而导致吸孔对种子的吸引力减小,这种现象不利于吸孔对种子的吸附

作用。

2.3 不同负压下滚筒内部流场分析 滚筒的二维结构是对称的,为了方便计算取滚筒的一半作为流场的计算域,作为流场的边界条件设定吸空气为进气孔,空心轴的孔为出口,并将进(出)气孔设定为压力式。其结果是稳健收敛的,选取进出气孔之间的压力差分别为 3、4、5 kPa,分别对其进行流场仿真分析。仿真分析结果如图 4 所示。



注:a、b、c 分别为压差 3、4、5 kPa 的流场分布

Note:a, b and c are flow fields of pressure difference of 3, 4 and 5 kPa respectively

图 4 滚筒内不同压差的流场分布

Fig.4 Distribution of flow field in different pressure differential in drum

根据图 4 可以看出,滚筒内部流场分布情况为在滚筒两侧流速较小,吸气孔处的气流速度最大,在相邻的吸孔中间出现涡流的分布情况,并且随着压力的增大,涡流的区域和强度都在不断增加。吸孔之间的流场分布相对均匀,不会产生吸孔之间互相干涉的现象。由流体力学基本原理可以得到吸孔的吸附力与气流的速度呈二次关系。当压力差增长时,流场内的速度也不断增长,最大速度从 73.0 m/s 增长到 97.0 m/s。当压差在 5 kPa 时,每个吸孔的速度均能达到 90.0 m/s,符合在播种过程中吸孔对吸附力的要求。

3 实验研究

3.1 实验方法 实验过程中材料:经过筛选无杂质的三七种子;实验设备为 JSP-12 多功能排种器性能检车试验台;实验地点为云南农业大学实验室。

根据播种器的理论分析和在实际中的运用情况,将排种器播种的合格指数、漏播指数和播种过程中的重播指数作为三七种子播种器的性能指标。根据在实际运用过程中的经验分析,将滚筒的转速、吸孔的直径、滚筒压差分别进行实验研究。根据三七种子播种器在实际过程中的运行情况选择假设 3 组不同的对象进行分析,如表 1。

表 1 三七种子播种器不同条件

Table 1 Different conditions of pseudo-ginseng seed seeder

水平 Level	滚筒转速(A) Drum speed r/min	吸孔直径(B) Hole suction diameter//mm	滚筒压差(C) Roller pressure difference//kPa
1	10	1.0	3
2	15	1.5	4
3	20	2.0	5

3.2 实验结果 通过 3 种不同的参数对三七种子播种器的

影响可以得到(表 2),3 种主要因素对三七种子播种器的合格指数影响的主次顺序为滚筒压力差、滚筒的转速、吸孔的直径,所以在组合中该组的最优组合为 $A_1B_3C_3$;影响漏播指数的因素排列顺序为滚筒的转速、滚筒的压力差、吸孔的直径,在其组合之中该组的最优组合为 $A_1B_2C_3$;影响重播指数的因素为滚筒的转速、吸孔的直径、滚筒压力差。通过以上组合可以推论出,所有组合之中最优化的组合为 $A_1B_2C_3$ 。

表 2 不同动态组合下的实验结果

Table 2 Experimental results under different dynamic combinations

组合方式 Combination mode	合格指数 Qualification index	漏播指数 Leakage index	重播指数 Replay index
1 (A_1, B_1, C_1)	82.5	7.5	10.0
2 (A_1, B_2, C_2)	87.0	4.5	9.5
3 (A_1, B_3, C_3)	95.0	1.5	3.5
4 (A_2, B_1, C_1)	85.2	7.2	7.8
5 (A_2, B_2, C_2)	91.0	2.0	7.0
6 (A_2, B_3, C_3)	84.2	6.7	9.1
7 (A_3, B_1, C_1)	86.4	7.2	6.4
8 (A_3, B_2, C_2)	83.3	9.1	7.6
9 (A_3, B_3, C_3)	83.7	8.0	8.3

4 结论

(1)首先对种子的受力情况进行分析,确定吸孔为播种器在播种过程中有效播种的关键因素,并设计 3 种不同形状的吸孔,分别对影响三七精密种子播种器吸孔的形状、吸孔的直径和吸孔在不同压差下做流场的数值模拟。结果表明,锥形孔对种子的吸附作用最好;不同直径的吸孔对种子的吸附作用也不一样,随着吸孔直径的增加,吸附种子的吸附能

(下转第 230 页)

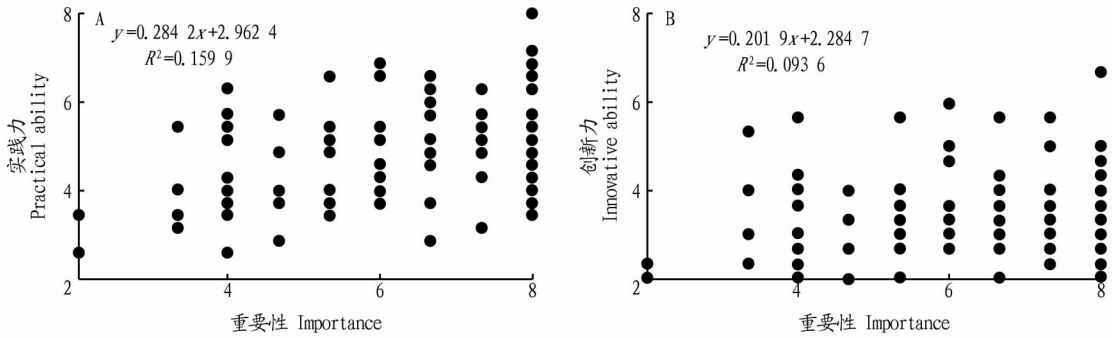


图4 重要性认识对实践力和创新力的影响

Fig.4 The influences of recognition of importance on practical and innovative abilities

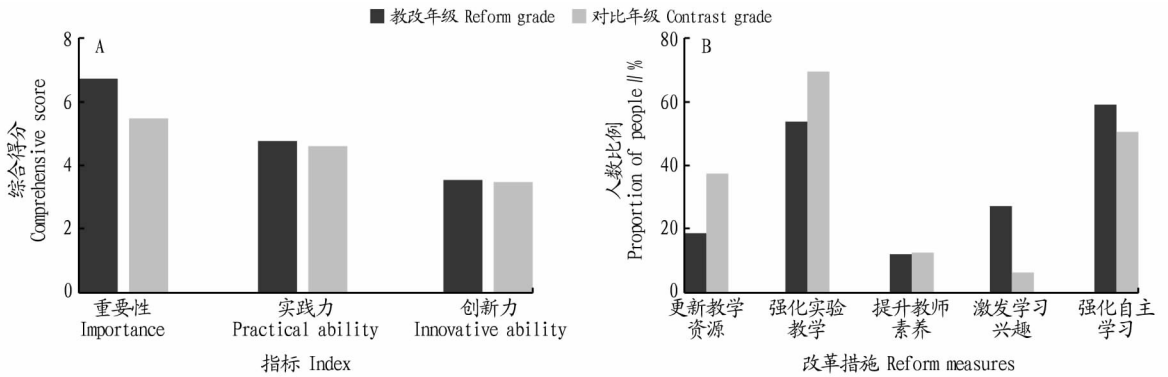


图5 教改年级与对比年级的重要指标比较

Fig.5 The comparison of important indicators between reform grade and contrast grade

参考文献

[1] 国土资源部.关于促进国土资源大数据应用发展的实施意见[EB/OL].(2016-07-04)[2018-04-22].http://www.mlr.gov.cn/zw/gk/zytz/201607/t20160712_1411348.htm.

[2] 李德仁,张良培,夏桂松.遥感大数据自动分析与数据挖掘[J].测绘学报,2014,43(12):1211-1216.

[3] 陈瑜琦,郭旭东,蔡玉梅,等.基于国际重大研究计划的土地科学发展特点与趋势研究[J].国土资源情报,2015(3):35-40,46.

[4] 张增祥,汪潇,温庆可,等.土地资源遥感应用研究进展[J].遥感学报,

2016,20(5):1243-1258.

[5] 张大良.着力推动高校加快现代信息技术与教育教学深度融合:在基础课程教学改革研讨会上的讲话摘要[J].中国大学教学,2016(7):6-11.

[6] 唐雪海,黄庆丰.空间信息形势下的GIS课程教学改革与实验模块优化设计[J].安徽农业科学,2018,46(9):212-214.

[7] 周旭.创新型遥感应用人才培养实践[J].地理空间信息,2011,9(5):141-144.

[8] 赵可.本科生对专业课教学满意度的影响因素研究:基于华中农业大学土地管理学院的实证研究[J].安徽农业科学,2016,44(6):339-342.

(上接第212页)

力逐渐减小;在不同压差的情况下,吸孔之间的气流间的相互干涉很小,吸孔的速度也随着压力差的增大而增大。

(2)对播种器在不同条件下进行动态组合分析,并确定影响播种器播种合格指数、漏播指数以及重播指数的影响因素。在所选择的条件中播种器的最优组合为滚筒转速在10 r/min、吸孔直径在1.5 mm、滚筒的压差在5 kPa,此条件下播种器的播种性能各项指标均达到最优状态。

参考文献

[1] 崔秀明,黄璐琦,郭兰萍,等.中国三七产业现状及发展对策[J].中国中药杂志,2014,39(4):553-557.

[2] 夏红梅,李志伟,牛菊菊,等.气力滚筒式蔬菜穴盘播种机吸排种动力学模型的研究[J].农业工程学报,2008,24(1):141-146.

[3] 史嵩,张东兴,杨丽,等.气压组合孔式玉米精量排种器设计与试验[J].农业工程学报,2014,30(5):10-18.

[4] 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.

[5] 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].农业机械学报,2012,43(S1):48-53.

[6] 高筱钧,周金华,赖庆辉.中草药三七气吸滚筒式精密排种器的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(2):20-28.

[7] 任永飞,林蜀云,汤耿,等.气吸式播种器排种盘结构参数分析及优化:基于Fluent软件[J].农机化研究,2018,40(6):24-28.

[8] 廖庆喜,李继波,覃国良.气力式油菜精量排种器气流场仿真分析[J].农业机械学报,2009,40(7):78-82.

[9] 王朝辉,袁月明,董润坚,等.超级稻育种精密播种器内部流场的数值模拟[J].吉林农业大学学报,2009,31(6):781-784.

[10] 纪要.气吸滚筒式水稻精密排种器研究与设计[D].合肥:安徽农业大学,2014.

[11] 龚智强,陈进,李耀明,等.吸盘式精密排种装置吸种过程气流场中种子受力研究[J].农业机械学报,2014,45(6):92-97.

[12] 王福军.计算流体力学分析:CFD软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

[13] 高筱钧,周金华,赖庆辉.中草药三七气吸滚筒式精密排种器的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(2):20-28.