

# 基于 Fluent 与高速摄影的玉米种子定向吸附研究\*

赵学观 徐丽明 王应彪 李超

(中国农业大学农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 玉米定向播种可使玉米长势一致, 增加玉米种植密度, 提高作物产量。采用真空吸口, 将玉米种子按一定方向摆放在纸带上制作成播种处理带, 是实现定向播种的方法之一。为了确保种子在吸附摆放过程中不发生方向偏转, 设计了种子吸附摆放机构, 建立了种子贴合吸附的受力模型。采用 Fluent 软件, 对吸口流场进行仿真模拟, 进行了吸口锥角、气孔间距和侧板宽度三因素仿真正交试验, 并通过高速摄像进行了试验验证。确定了实现玉米种子定向吸附摆放的最佳吸口参数为: 吸口锥角  $60^\circ$ 、气孔间距 1.5 mm、侧板与气孔板外缘距离 4 mm, 气流速度 6 ~ 8 m/s。

**关键词:** 玉米种子 定向播种 真空吸口 吸附特性 Fluent 仿真

**中图分类号:** S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0103-07

## 引言

玉米定向播种是指通过干预种胚在土壤中的空间位置, 使子叶有序伸展, 从而增强单位面积玉米叶片光合作用的能力, 提高作物的光能利用率, 达到增加产量和提高机械化收获水平的目的。玉米定向种子带是实现定向播种的方法之一, 基于电磁振动的玉米种子定向机构可实现玉米种子的定向播种。目前国内外针对气吸、气吹式玉米播种的流场分析主要是研究吸附条件以减少重播和漏播, 而对于种子在流场中定向吸附的最佳参数特性研究尚未见报道<sup>[1-2]</sup>。由于玉米种子的外形、质量的特殊性, 需要对玉米种子分选, 分选后的扁平型玉米种子满足定向播种要求, 同时需要确定真空吸口的特性参数, 以确保种子在吸附过程中, 胚乳胚根的方向不变<sup>[3-4]</sup>。

本文以此为基础, 采用真空吸口, 将定向好的玉米种子以一定的方向摆放到纸带上, 制作成种子带, 利用种子带播种装置将种子带铺放到土壤中, 完成玉米的定向播种。采用 Fluent6.3 软件, 分析种子吸附过程中在吸口气流场中的受力特性, 对吸孔气流场进行模拟试验, 分析吸口的结构参数对玉米种子定向吸附性的影响, 并在试验台架上对数值试验结果进行验证, 确定最佳的吸口参数。

## 1 种子吸附摆放机构和工作过程分析

为分析玉米种子在吸附过程中的定向效果, 观

察种子的状态变化, 设计了种子吸附摆放机构, 并对吸附过程进行分析。

### 1.1 种子吸附摆放机构

种子吸附摆放机构如图 1 所示。种子定向检测盘检测种子胚芽面及牙尖方向, 符合定向条件的种子转到吸口下方, 同时种子定向检测盘传送执行信号给摆动气缸, 其工作角度为  $180^\circ$ , 在气力作用下旋转到种子检测盘的种子供应口, 直线气缸伸出, 吸口气源打开开始吸种, 然后摆动气缸旋转  $180^\circ$ , 吸口将种子摆放到纸带上, 完成种子定向吸附摆放。

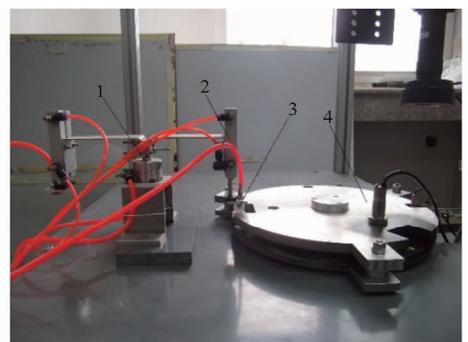


图 1 种子吸附摆放机构

Fig.1 Seeds adsorption and placement mechanism

1. 摆动气缸 2. 直线气缸 3. 吸口 4. 种子定向检测盘

### 1.2 吸附过程分析

以扁平型玉米种子为物理模型, 分析玉米种子定向吸附摆放机构的吸口及工作参数对种子定向效果的影响, 吸附种子的方式分为贴合吸附和非贴合吸附 2 种方式。

收稿日期: 2013-10-12 修回日期: 2013-11-14

\* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120008110045)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013YJ007)

作者简介: 赵学观, 博士生, 主要从事生物生产自动化技术和装备研究, E-mail: zhaoxueguan.com@163.com

通讯作者: 徐丽明, 教授, 主要从事生物生产自动化技术和装备研究, E-mail: xlmoffice@126.com

贴合吸附条件下,吸口中心点与种子形位中心在同一铅垂线的概率较小,吸口附近种子受力如图2所示<sup>[5-6]</sup>。对吸口流场的初步模拟发现,在流场中的任意点, $Y$ 轴方向的速度相对较小,可忽略不计。取吸口下表面的摩擦因数为 $\mu$ ,吸口中心点 $O$ ,种子的形位中心 $D$ ,种子的质心 $E$ 。

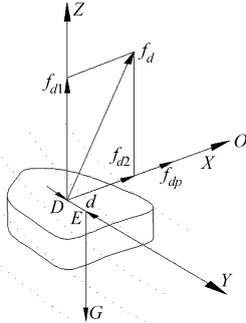


图2 贴合吸附过程中种子的受力示意图

Fig. 2 Force diagram of seeds in contact suction process

设玉米种子的密度为 $\rho_s$ ,其在气流中除了受到重力和浮力作用,种子在气流中运动时,如果与气流有相对运动将会受到气动阻力的作用,可表示为

$$f_d = c_d \frac{\pi d_s^2 (v - v_p)^2}{8} \quad (1)$$

式中  $c_d$ ——阻尼系数  $v$ ——气流速度  
 $d_s$ ——玉米种子当量直径  
 $v_p$ ——玉米种子的速度

在气流的流动方向如果存在压力梯度,则作用在固体上的压力梯度力为

$$f_p = -v_p \frac{\partial p}{\partial l} \quad (2)$$

式中  $\frac{\partial p}{\partial l}$ ——压力梯度

考虑到种子受到的浮力相对较小可忽略不计,在竖直方向上的合力为

$$f_c = f_d \sin \alpha - G - ma \quad (3)$$

式中  $\alpha$ ——气动阻力与压力梯度力之间的夹角  
 $a$ ——种子上升的加速度  
 $m$ ——种子质量

在水平方向上的合力为

$$f_i = f_p + f_d \cos \alpha - f_c \mu \quad (4)$$

由于种子的形心和中心不重合,故在水平方向上会产生力矩,即

$$M = f_i d = \left\{ -v_p \frac{\partial p}{\partial l} + c_d \frac{\pi d_s^2 (v - v_p)^2}{8} \right. \\ \left. [\cos \alpha - \sin(\alpha \mu)] + m(g + a)\mu \right\} d \quad (5)$$

式中  $d$ ——种子的形心与重心的距离

由式(5)可知,当吸口开始上移时,即种子离开工作平面时,种子受重力和加速度作用,与吸口下表

面摩擦力减小,在 $M$ 的作用下种子会水平方向的旋转,不能达到定向吸附的效果。若要减小种子旋转力矩 $M$ ,就要减小流场的任一水平面内压力梯度 $\frac{\partial p}{\partial l}$ ,且 $\alpha$ 尽可能大,即 $f_{d1}/f_{d2}$ 尽可能大。

非贴合吸附条件下,吸口可吸附距离较小,吸口和种子所在平面距离在较小范围内。若该距离小于种子宽度,种子将不会发生轴向为水平方向的翻转。但根据流场中气流速度监测曲线发现,气流在吸附开始时极不稳定,速度出现极值,不能保证种子的定向。且此速度以水平速度为主,种子在水平方向上仍会因为受到气动阻力和压力梯度力发生以竖直方向为轴向的旋转。

## 2 吸附特性仿真分析

### 2.1 单因素仿真试验

种子所受吸附力与气孔参数、内外压力差及其相对于吸口中心的位置有关,同时多气孔吸口的气分布也会对流场产生影响。以吸口锥角、侧板与气孔板外缘距离和气孔间距为因素,在相对压力 $-8$  kPa条件下,以吸口下平面为 $Z=0$ 基准面,选取基准面以下 $3$  mm,即 $Z=-3$  mm截面为观察面,以侧板与气孔板外缘距离 $4$  mm、气孔间距 $1$  mm、吸口锥角 $30^\circ$ 为参照条件,分别进行单因素对比试验<sup>[7-8]</sup>。

$Z=-3$  mm截面速度云图如图3所示。由图可知,吸口流场的气流速度中心处低,外侧高,这主要是由于气流在水平方向上由外侧向中心集聚。由图3b可知,吸口锥角为 $60^\circ$ 时气流速度较 $30^\circ$ 时大,根据式(5)受到力矩 $M$ 小。吸口锥角为 $60^\circ$ 时气流速度较 $30^\circ$ 时相对均匀,压力梯度小,根据式(5)可知,受到的力矩 $M$ 小,种子不易发生水平旋转;当气孔间距为 $2$  mm时气流速度明显减小,均匀性也降低,但进一步分析发现,均匀性降低主要由 $Z$ 方向速度引起。同上分析,种子受到的力矩 $M$ 大,种子易于发生水平旋转。由图3d可知,侧板与气孔板外缘距离为零,气流速度有所增加,但流场外侧气流速度不均匀。可见气孔间距越小,吸口锥角越大气流速度越高,种子容易发生偏转。气孔间距越大,气流水平速度越均匀,吸口锥角越大气流速度越均匀,种子不易发生偏转。吸口锥角影响流场的均匀性,侧板与气孔板外缘距离影响流场最外侧气流速度的均匀性。

### 2.2 多因素仿真试验

由单因素试验确定了吸口锥角、侧板与气孔板外缘距离、气孔间距3个因素对气流场的影响,为了进一步获得各因素的最佳值,设计了三因素三水平

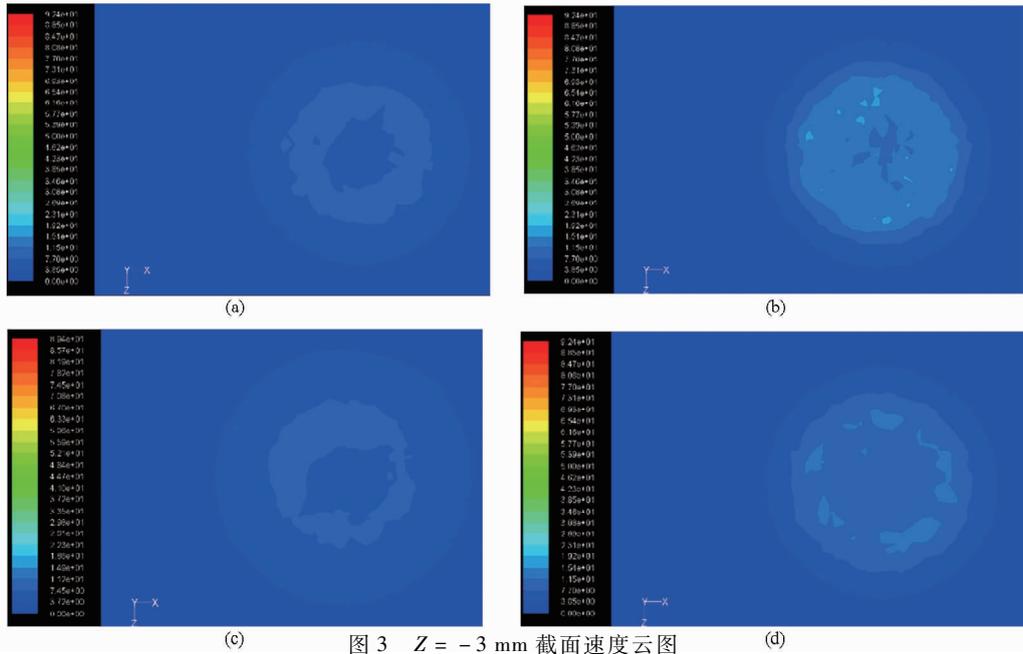


图 3  $Z = -3$  mm 截面速度云图

Fig. 3 Velocity contours of cross section when  $Z = -3$  mm

(a) 参照组 (b) 吸口锥角  $60^\circ$  (c) 气孔间距 2 mm (d) 侧板与气孔板外缘距离 0 mm

正交试验(表 1)。

### 2.2.1 模型的建立

在相同参数条件下,流场中各点  $f_{d1}/f_{d2}$  比值不同,不同参数条件下相同点的  $f_{d1}/f_{d2}$  也不同,吸口气压决定了气流速度,气流速度决定了吸口的吸种性能,为此以吸口下平面中心为原点,在吸口流场  $Z = -3$  mm 截面  $X$  轴正向设置 4 个监测点,并确定以 4 个监测点的水平速度与垂直速度比值的平均值及平均速度为评价指标。在 SolidWorks 中建立吸口模型及压力场边界如图 4 所示,气孔采用填充阵列,保存为 IGS 格式,导入到前处理软件 Gambit 中首先实体化,进行网格划分,再对近吸口区域进行网格加密,导入到 Fluent<sup>[9-11]</sup>。

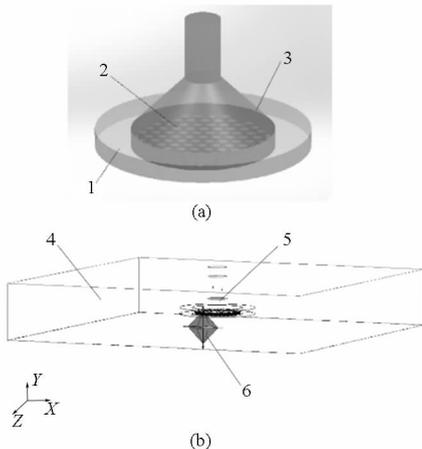


图 4 吸口及其流场模型

Fig. 4 Model of suction and its flow field

(a) 吸口结构图 (b) 监测点位置示意图

1. 侧板 2. 气孔 3. 吸口锥角 4. 吸口流场 5. 吸口 6. 监测点

### 2.2.2 模型边界条件

仿真模拟时对吸口模型作如下假设:①空气为不可压缩理想气体。②室温为恒定  $25^\circ\text{C}$ 。③吸孔壁面施加无滑移边界条件。

设模型的入口边界条件为压力入口边界条件,相对压力等于  $-8$  kPa。设模型出口边界条件为压力出口边界条件。为有效模拟压力远场边界条件,边界条件施加于距吸孔 10 倍直径的距离处。求解时,采用压力基求解器,湍流模型选择  $k-\varepsilon$  模型,压力修正方法采用 PISO 算法<sup>[12-14]</sup>。

表 1 仿真试验因素水平

Tab. 1 Simulation factors and levels

水平	因素		
	气孔 间距 $A/\text{mm}$	侧板与气孔板外缘 距离 $B/\text{mm}$	锥角 $C/(\circ)$
1	1.0	0	30
2	1.5	4	45
3	2.0	8	60

### 2.2.3 正交试验结果与分析

在吸口平面以下玉米颗粒厚度 ( $4.5$  mm) 一半的平面上取 4 监测点  $a(1, 2.25)$ 、 $b(3, -2.25)$ 、 $c(5, -2.25)$ 、 $d(7, -2.25)$ , 分别记录各监测点水平  $X$  方向的速度和垂直  $Z$  方向的速度<sup>[15-16]</sup>。

由表 2 可知,吸口锥角  $C$  和气孔间距  $A$  对  $K$  值及气流速度均值的影响显著,随着吸口锥角、气孔间距的增大,  $K$  值越大。分析认为,吸口锥角越大,吸口锥形腔越长,气流在吸口锥形腔内的气压分布越均匀,各气孔的压力相对均匀,减弱了气流向中心处

汇聚的强度,即  $X$  方向速度变小,种子不易产生水平旋转;气孔间距越小,即气孔越密,气孔板对气流的分散作用越弱,气流更易于在中心处进入,增大了  $X$  方向的速度,种子易于发生水平旋转。气孔间距对速度均值的影响高度显著,气孔越密,气流速度越大。侧板与气孔板外缘距离  $B$  对  $K$  值影响不显著,但经监测点及速度云图发现,侧板与气孔板外缘距离  $B$  对最外侧点的  $K$  值影响显著,且无侧板吸口流场的外侧气流不稳定,又因为侧板与气孔板外缘距离对速度均值影响不显著,故考虑采用  $B$  为 4 mm 宽度侧板以减小外侧气流扰动。

表 2 因素的  $F$  检验值Tab.2 Result of  $F$  test of factors

项目	A	B	C
$K$	21.25	1.258	25.5
显著性	0.05		0.05
速度平均值/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	110.98	3.175	43.58
显著性	0.01		0.05

注:  $F_{0.01}(2,2) = 99, F_{0.05}(2,2) = 19$ , 记  $v_z/v_x$  平均值为  $K$ 。

### 3 高速摄像试验验证

为了进一步探究各因素对定向吸种性能的影响,并对正交试验结果进行验证,在种子吸附摆放试验台上进行高速摄影试验。设定试验因素及水平与仿真试验相同,种子随机放到吸口下方透明 PVC 板上,每次试验吸种运动 100 次,观察玉米种子在吸附摆放过程中的运动情况。

#### 3.1 高速摄影系统

高速摄影系统主要由高速摄像机 Phantom V9.1、图像采集卡、光源、计算机和摄像机控制软件

PCC 1.3 等组成。高速摄影系统应用于玉米种子定向吸附摆放机构试验系统(图 5)。试验在玉米种子吸附摆放机构试验台上进行,采用高强度无频闪光源,图像采样频率设置为 300 帧/s,高速摄影机可通过三脚架变换方位,在吸口正下方和吸口侧向可直接拍摄工作区域。气缸速度、真空泵负压和空压机正压均可调,本文调节真空泵相对压力为  $-8$  kPa。

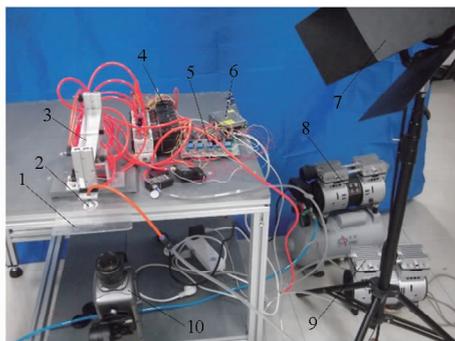


图 5 高速摄影试验系统

Fig.5 High-speed imaging photography experiment system

1.透明 PVC 板 2.多孔吸口 3. 吸附摆放机构 4.电磁阀  
5.单片机 6.电源 7.光源 8.空压机 9.真空泵 10.高速摄影机

#### 3.2 试验结果与分析

为真实反映玉米种子定向吸附过程中运动状态的变化,在图像中建立坐标系(图 6),设定参考点,在吸口上升瞬间开始,每隔 5 帧截取一张图像,通过图像参考点的速度可以计算加速度。

##### 3.2.1 侧板与气孔板外缘距离对定向效果的影响

图 6 是在气孔间距 1.5 mm 和吸口锥角  $45^\circ$  条件下的种子吸附过程。图 6a 是侧板与气孔板外缘距离为 8 mm 的吸口,种子先是沿径向朝大端方向,即吸口的中心平移,然后小端顺时针方向旋转。

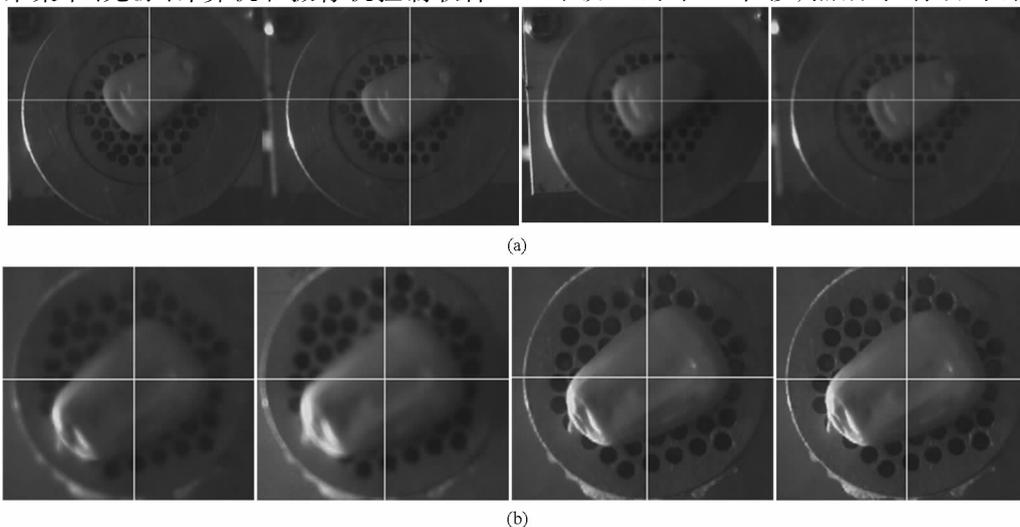


图 6 不同侧板与气孔板外缘距离的定向效果图像

Fig.6 Directional effect image of different lateral plate width

(a)  $B = 8$  mm (b)  $B = 0$  mm

图 6b 是侧板与气孔板外缘距离为 0 mm 的吸口, 种子在径向产生微小平移。经分析可知, 侧板与气孔板外缘距离 8 mm 的吸口最外侧气流在水平方向上较大, 并向中心方向汇集, 使种子的形心向吸口中心移动, 然后在力矩  $M$  作用下种子发生偏转。侧板与气孔板外缘距离为 0 mm 时吸口最外侧径向气流较小, 种子形心和吸口中心重合, 只产生微小平移, 不发生水平旋转。

### 3.2.2 气孔间距对定向效果的影响

图 7 是在侧板与气孔板外缘距离 4 mm 和吸口锥角  $45^\circ$  条件下的种子吸附过程。图 7a 是气孔间距为 1 mm 的吸口, 种子先是平移并伴随着旋转, 然后停止平移只产生旋转。图 7b 是气孔间距为 2 mm

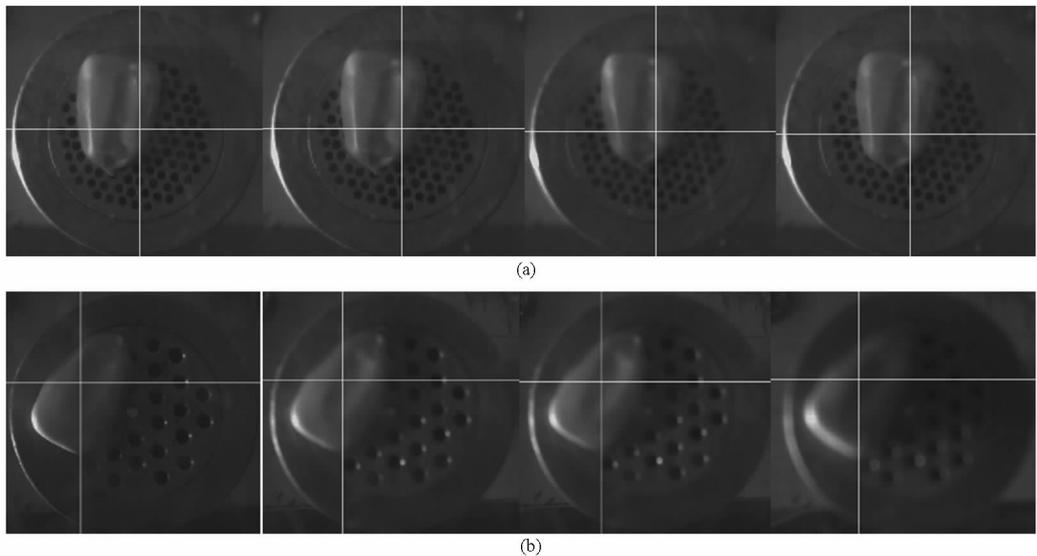


图 7 不同气孔间距的定向效果图像

Fig. 7 Directional effect image of different hole spacing

(a)  $A = 1 \text{ mm}$  (b)  $A = 2 \text{ mm}$

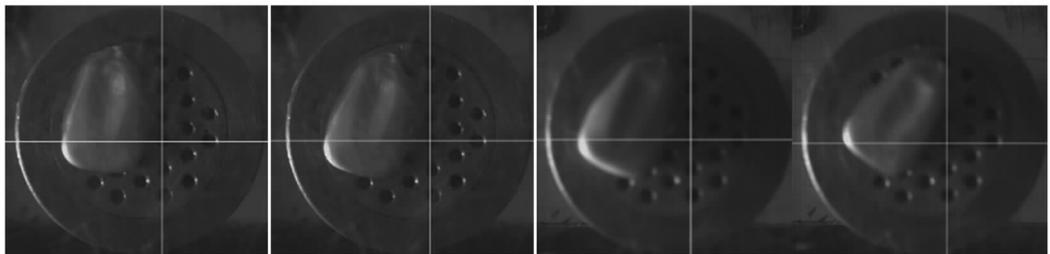


图 8  $30^\circ$  吸口锥角的定向效果图

Fig. 8 Directional effect image of suction cone angle

### 3.2.4 气孔间距对气流速度的影响

种子被吸附后吸口以一定的加速度上升, 种子在上升的过程中会发生旋转和平移, 如果吸口上移的加速度过大, 种子还会从吸口脱落。定义吸口所具有的保证种子不脱落的最大加速度为极限加速度。由此可见, 极限加速度同样决定着吸口的吸附性能。

图 9 是在侧板与气孔板外缘距离 4 mm 和吸口

的吸口, 种子没有发生旋转, 只产生了微小角度的平移。经分析知, 气孔间距 1 mm 时, 气孔板对气流的分散作用越弱, 吸口更接近于单孔吸口进气形式, 增大了水平方向的速度, 种子易发生水平旋转, 这与仿真结果是一致的。

### 3.2.3 吸口锥角对定向效果的影响

图 8 是在侧板与气孔板外缘距离 4 mm, 气孔间距 2 mm, 吸口锥角  $30^\circ$  条件下的种子吸附过程。与图 7b(吸口锥角  $45^\circ$ ) 相比, 种子在  $30^\circ$  吸口锥角时偏转角度明显变大。经分析知, 吸口锥角  $30^\circ$ , 吸口锥形腔较短, 气流在吸口锥形腔内的气压分布相对不均匀, 吸口平面压力梯度较大, 气流径向汇聚的强度高, 种子容易产生水平旋转, 故确定吸口锥角为  $60^\circ$ 。

锥角  $60^\circ$  条件下的种子吸附过程。图 9a 为气孔间距 2 mm 吸口, 与气孔间距 1 mm 吸口(图 9b)相比, 玉米种子受到的气流作用明显较小, 在更短的时间内落下, 而气孔间距 1 mm 时种子离开了工作台平面。分析认为, 同一气压条件下气孔间距越大, 气孔之间的孔板对气流的阻碍作用越强, 气流平均速度越小, 这与仿真结果中气孔间距对气流平均速度影响显著性一致。由式(3)可知, 当气流作用力小于

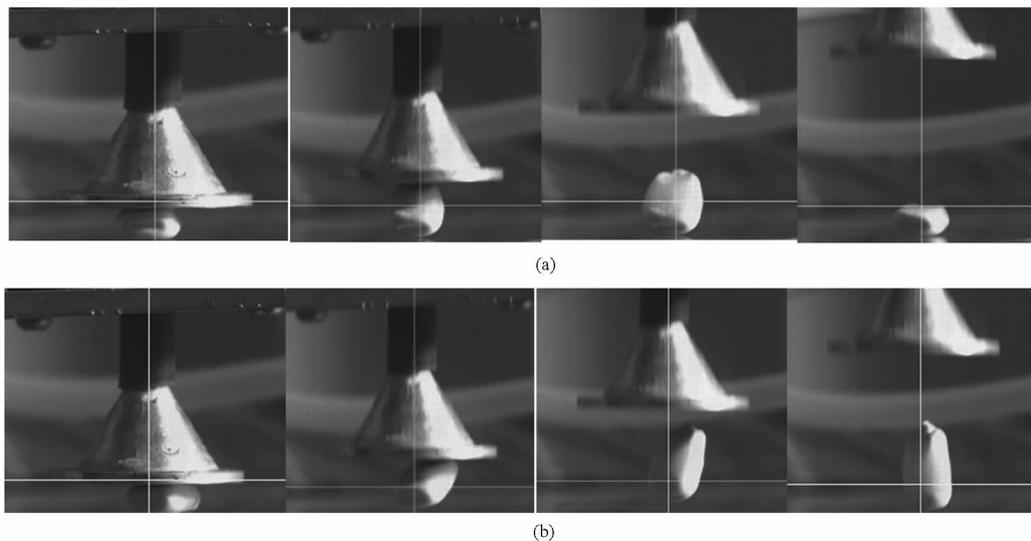


图9 不同气孔间距的气流速度对比图像

Fig.9 Directional effect image of different hole spacing

(a)  $A = 1 \text{ mm}$  (b)  $A = 2 \text{ mm}$ 

种子的重力及加速度之和,种子将落下,当种子的形心和质心不重合时,种子会发生一侧掉落(图8),而不是水平落下。综合考虑气孔间距对2种指标的影响,选择气孔间距为1.5 mm。

### 3.2.5 气流速度和极限加速度的关系

由式(5)可知,同样的力矩  $M$  下,气流速度越大,极限加速度越大。为进一步分析气流速度和极限加速度的关系,在相对压力  $-8 \text{ kPa}$  条件下,利用热线式风速仪测定吸口气流速度。分析统计结果发现,随着气流速度的增大,极限加速度不断增大,两者呈线性关系。气流速度  $2.8 \text{ m/s}$  时为玉米种子能被贴合吸附的临界状态,此气流速度远小于玉米种子飘浮速度,主要由于种子贴合吸口下表面,在气流中不翻转,受力面积较大。考虑到吸口的工作要求,同时为

保证玉米种子在被吸附后上升过程中的稳定性,以及真空泵的工作效率,故选择气流速度为  $6 \sim 8 \text{ m/s}$ 。

### 3.2.6 种子空间运动轨迹变化的分析

为进一步观察种子空间运动轨迹,设定吸口加速度  $10 \text{ m/s}^2$ ,吸口气流速度  $8 \text{ m/s}$ ,在侧板与气孔板外缘距离  $4 \text{ mm}$ 、气孔间距  $1 \text{ mm}$ 、吸口锥角  $30^\circ$  条件下,进行高速摄影试验,对高速摄影结果间隔5帧取一张图像,利用 Matlab 图形图像工具箱实现对玉米种子识别,通过玉米籽粒的形态特征寻找其尖端点及大端中心点坐标,以该两点坐标来表示种子的运动轨迹变化,取种子大端中心为原点,其运动轨迹为曲线  $H$ ,种子尖端点初始坐标  $(12, 0, 0)$ ,其运动轨迹为  $J$ 。根据图像可知加速过程为  $0.3 \text{ s}$ ,种子的空间运动轨迹如图10所示。

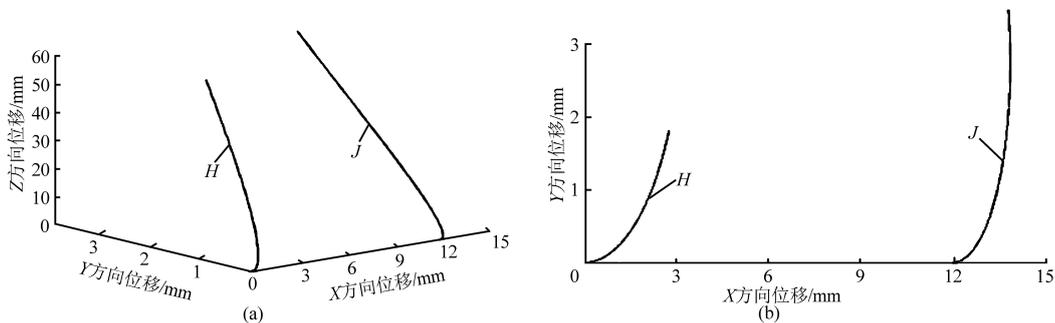


图10 种子空间运动轨迹

Fig.10 Seed space trajectory

(a) 三维图 (b) 上视图

由图10可知,种子的运动轨迹可看作在上升的同时在  $XY$  平面内有平行移动和旋转的叠加,整个加速过程中种子尖端比种子大端中心位移大。分析认为,吸口在加速上升开始后,种子受到力矩  $M$  作用,随着吸口上升的同时种子作水平旋转,由于种子

的质心靠近大端,且种子形心与重心不重合,整个种子基本会以种子重心为原点旋转。通过试验发现,在一定的条件下存在玉米种子只产生平移(图7b),或只产生旋转(图8)的情况。采用真空多孔吸口,种子平移的距离在  $0 \sim 3 \text{ mm}$ ,旋转角度在  $0 \sim 15^\circ$ ,满

足定向要求。

## 4 结论

(1) 构建了玉米种子吸附摆放试验台, 通过玉米种子吸附受力分析, 建立了种子在吸口流场中的受力模型, 为种子定向吸附特性试验提供理论依据。对玉米种子定向吸附过程的正交仿真试验发现, 气孔间距和吸口锥角对流场气流在垂直和水平方向的速度之比  $K$  的均值影响显著, 吸口锥角对气流速度的影响显著, 气孔间距对气流速度均值的影响极显

著。

(2) 高速摄影与仿真分析结果一致, 锥角越大流场压力梯度越小,  $K$  均值越小, 种子不易发生偏转。气孔间距越大,  $K$  均值越大, 气流速度越小, 选择最佳的吸口参数为吸口锥角  $60^\circ$ 、气孔间距  $1.5 \text{ mm}$ 、侧板与气孔板外缘距离  $4 \text{ mm}$ 。

(3) 气流速度与极限加速度线性相关, 极限加速度随着气流速度的增大而增大。综合考虑工作要求和吸口加速上升过程中种子稳定性, 选择气流速度为  $6 \sim 8 \text{ m/s}$ 。

## 参 考 文 献

- 1 陈立东, 何堤. 论精密排种器的现状及发展方向[J]. 农机化研究, 2006(4): 16-18.
- 2 刘佳, 崔涛, 张东兴, 等. 机械气力组合式玉米精密排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 43-47.  
Liu Jia, Cui Tao, Zhang Dongxing, et al. Mechanical-pneumatic combined corn precision seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 43-47. (in Chinese)
- 3 贺俊林, 裘祖荣. 新型气压式精密排种器的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 80-83.
- 4 段宏兵, 李长友, 王旭东. 精密排种器研究现状[C]//李长友. 农业工程科技创新与建设现代农业: 2005 年中国农业工程学会学术年会论文集第一分册, 2005: 160-162.
- 5 赵湛, 李耀明, 陈进, 等. 气吸滚筒式排种器吸种过程的动力学分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 112-116.  
Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin, et al. Dynamic analysis of seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 112-116. (in Chinese)
- 6 Karayel D, Barut Z B, Ozmerzi A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437-444.
- 7 韩占忠, 王敬, 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- 8 于勇, 张俊明, 姜连田. Fluent 入门与进阶教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008.
- 9 刘彩玲, 宋建农, 王继承, 等. 吸盘式精密播种装置气力吸种部件流场仿真分析[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(1): 116-120.  
Liu Cailing, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Analysis of flow field simulation on vacuum seed-metering components of precision metering device with sucker[J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(1): 116-120. (in Chinese)
- 10 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.  
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Simulation analysis on air current field of pneumatic precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 78-82. (in Chinese)
- 11 陈进, 李耀明, 王希强, 等. 气吸式排种器吸孔气流场的有限元分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 59-62.  
Chen Jin, Li Yaoming, Wang Xiqiang, et al. Finite element analysis for the sucking nozzle air field of air-suction seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 59-62. (in Chinese)
- 12 董润坚, 袁月明. 气吸式水稻芽种排种器充种过程的模拟仿真[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(6): 701-704.  
Dong Runjian, Yuan Yueming. Simulation of seed-filling process on seed-metering device of air suction with rice bud-sowing[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2010, 32(6): 701-704. (in Chinese)
- 13 庄森, 田盈辉, 蒋晶, 等. 真空气吸式播种器吸嘴流场的研究[J]. 农机化研究, 2007(11): 83-86.  
Zhuang Sen, Tian Yinghui, Jiang Jing, et al. Study on suction nozzle of vacuum suction seeding-machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(11): 83-86. (in Chinese)
- 14 孙裕晶, 马成林, 李萌. 加压条件下气力轮式精密排种器性能分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 72-77.  
Sun Yujing, Ma Chenglin, Li Meng. Analysis on performance of an air-blowing vertical-rotor type precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 72-77. (in Chinese)
- 15 王延耀, 李建东, 王东伟, 等. 气吸式精密排种器正交试验优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 54-58.  
Wang Yanyao, Li Jiandong, Wang Dongwei, et al. Orthogonal experiment optimization on air-suction precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 54-58. (in Chinese)
- 16 张敏, 吴崇友, 张文毅. 吸盘式水稻育秧播种器吸孔气流场仿真分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 162-167.  
Zhang Min, Wu Chongyou, Zhang Wenyi. Airflow field simulation on suction nozzle of cupule-type disseminator for rice seedling [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 162-167. (in Chinese)

- 18 Julier S J, Uhlmann J K. Unscented filtering and nonlinear estimation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(3): 401–422.
- 19 曹洁, 李伟. 基于多特征融合的目标跟踪算法[J]. 兰州理工大学学报, 2011, 37(2): 80–84.  
Cao Jie, Li Wei. Object tracking algorithm based on multi-feature fusion[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2011, 37(2): 80–84. (in Chinese)
- 20 Yoon Changyong, Cheon Minkyu, Mignon Park. Object tracking from image sequences using adaptive models in fuzzy particle filter[J]. Information Sciences, 2013, 253: 74–99.

## Estimation of Vehicle States Based on Adaptive Model Particle Filter

Qin Lufang<sup>1,2</sup> Li Wei<sup>1,2</sup> Li Jun<sup>2</sup> Cao Jie<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Large Engineering Equipment Detection and Control, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221000, China

2. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In order to get the accurate and real-time vehicle state variables in running, a new kind of model adaptive update particle filter method is proposed. The non-Gaussian and non-linear tire noise vehicle dynamics model is established. High frequency sub-band is used to estimate real-time measurement noise variance of sensors based on the wavelet transform. The real fitting degree of observation likelihood function is improved and the degradation phenomenon of particle weight is improved to a certain extent by the combination of the adaptive auto regression model of the whole vehicle system state. Virtual experiment based on ADAMS/Car and real vehicle experiment verify the validity of the proposed method. Experiment results show that the estimation precision and anti-noise performance of the proposed method are superior to those of the commonly used method, and can satisfy the requirements of vehicle state estimation.

**Key words:** Vehicle dynamics State estimation Model adaptive Particle filter

(上接第 109 页)

## Directional Adsorption Characteristics of Corn Seed Based on Fluent and High-speed Photography

Zhao Xueguan Xu Liming Wang Yingbiao Li Chao

(Key Laboratory of Soil-Machine-Plant System Technology, MOA, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Directed sowing corn can make the corn growth consistent, increasing core planting density and yield of crops. Corn directional sowing tapes was one of the methods to realize the directional seeding. In order to ensure that seed direction deflection did not occur in the process of adsorption, we designed the seed adsorption arranging mechanism, and established the mechanical model of joint adsorption of seed. Software Fluent was used to make simulated analysis of the seed suction airflow field. Taking suction cone angle, hole spacing, and lateral plate width as three factors, an orthogonal experiment was carried out, and the directional absorption-arranging of corn seeds was determined. The best suction model parameters were as following, suction cone angle was 60°, hole spacing was 1.5 mm, lateral plate width was 4 mm, and air velocity was 6~8 m/s.

**Key words:** Corn seed Directional sowing Vacuum suction Absorption property Fluent Simulation