

基于高速摄像的气力式油菜精量排种器投种轨迹分析

余佳佳 丁幼春 廖宜涛 丛锦玲 廖庆喜

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 采用高速摄像技术, 在排种轴转速 15 r/min、负压 -1 500 Pa 工况下, 对正压 50~600 Pa 范围内观察油菜的投种轨迹, 并依据目标追踪技术方法提取连续帧图像中油菜籽的坐标位置并获得其运动轨迹曲线; 统计分析油菜籽投种轨迹的分布特征, 利用高斯函数模型对曲线拟合得到其分布规律, 并构建正压与油菜籽投种距离的关系模型; 根据油菜籽轨迹曲线获得其投种阶段瞬时速度曲线, 明确了油菜籽的运动状态。试验结果表明: 在同一工况下的油菜籽轨迹曲线均服从正态分布规律, 且正压大小与油菜籽投种距离为线性关系, 其相关系数为 0.988; 当排种器正压范围为 100~250 Pa 时, 其投种轨迹变异系数最小。

关键词 高速摄像; 油菜; 气力排种器; 投种轨迹; 运动分析

中图分类号 S233.2⁺⁵ **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0103-06

高速摄像技术作为一种集合了现代科技的先进测量方法, 通过在短暂曝光的时间内准确捕捉物体高速运动过程, 可提取画面中涵盖的时空信息, 现已广泛应用于各个领域^[1-2]。国内外学者运用高速摄像技术对排种器的性能检测、内部工作状态分析以及结构优化等方面进行了研究^[3-11]。陈进等^[3]借助高速摄像系统开展了对小颗粒种子精密排种器性能检测分析; Karayel 等^[4]利用高速摄像技术检测到种子的下落速度; 廖庆喜等^[5]提出以高速摄影技术来弥补光电传感器无法检测种子破碎而产生的误差; 刘宏新等^[6]利用高速摄像系统观察了 2B-JP-FL01 型双体立式复合圆盘重力清种排种器的各工作环节并对排种器结构参数进行了改进; 王吉奎等^[7]在高速摄像技术基础上对夹持式棉花穴播轮中排种过程环节开展运动分析并明确了穴播的工作机制; 袁月明等^[8]采用高速摄像技术观察气吸滚筒式超级稻育秧播种器的吸附过程; 金汉学^[9]通过高速摄像技术分析了种子在排种盘的运动状态并改进排种器结构; 王在满等^[10]通过高速摄像系统拍摄了型孔式水稻排种轮充种过程并分析了稻种在型孔中的状态。研究结果表明, 高速摄像技术可应用于排种器内部结构的改进和工作原理的观察分析等方

面, 且主要用于观察和分析种子的运动状态, 但结合高速摄像技术和图像处理技术对气力式排种器投种轨迹的研究较少。

气力式油菜精量排种器采用正负气压组合原理来实现油菜的单粒排种, 油菜籽投种阶段的轨迹曲线受正压和导种管结构的制约, 轨迹曲线变化直接影响排种精度, 使得排种器性能发生改变。为研究排种器正压对油菜投种轨迹的影响, 明确在不同正压下油菜籽投种轨迹的变化规律, 笔者利用高速摄像系统拍摄了气力式油菜精量排种器中油菜籽投种过程中的运动轨迹, 并依据图像目标追踪技术提取了油菜籽的实际投种轨迹曲线, 旨在确定合理的正压和导种管结构形式, 为确保油菜直播机田间工作时其排种性能的稳定和均匀性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试装置和材料

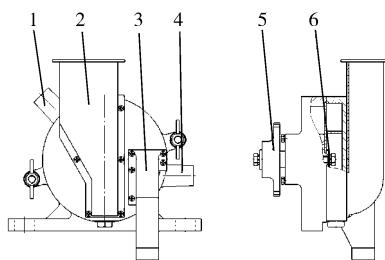
供试装置和材料包括气力式油菜精量排种器(图 1)、JPS-12 型排种器性能检测试验台(图 2)、HG-260 旋涡式风机、U 型测压计、GigaView 高速摄像机(Southern Vision Systems Lin 公司)、白色硬纸板、PC 机、华杂 4 号油菜籽等。

收稿日期: 2013-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275197)、“十二五”国家科技支撑计划项目(013BAD08B02)、国家油菜产业技术体系专项(CARS-13)、中央高校基本科研业务费专项(2014PY033)和武汉市高新技术产业科技创新团队项目(2014070504020240)

余佳佳, 博士研究生。研究方向: 油菜精量播种。E-mail: aiyejingling@163.com

通信作者: 廖庆喜, 博士, 教授。研究方向: 机械化生产技术与装备。E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn



1. 负压出气孔 Outlet of negative pressure; 2. 种箱 Seed box; 3. 导种管 Seed spout; 4. 正压进气孔 Inlet of positive pressure; 5. 链轮 Sprocket; 6. 排种盘 Seed plate.

图 1 气力式油菜精量排种器的结构

Fig. 1 Structure of pneumatic precision metering device



1. PC 机 Computer; 2. JPS-12 型排种器性能测试试验台 JPS-12 system; 3. 气力式油菜精量排种器 Pneumatic precision metering device; 4. Nikon 摄像头 Camera; 5. GigaView 高速摄像机 High-speed camera.

图 2 高速摄像的试验装置

Fig. 2 Experimental device of high-speed camera

1.2 试验方法

气力式油菜精量排种器是采用正负气压组合原理来实现油菜单粒排种, 主要为排种轴转动时, 油菜

籽受排种盘上型孔的负压作用吸附在型孔表面(排种盘型孔数为 35), 随着排种盘的转动, 种子从气室负压区进入正压区, 在正压区受到气流的作用, 油菜籽脱离型孔进入导种管中, 完成投种过程。

设定排种器负压 -1 500 Pa 、排种轴转速 15 r/min , 通过观察记录在 $50\text{~}600\text{ Pa}$ 正压范围内排种器内油菜籽的投种轨迹, 分析种子投种过程的运动状态, 试验中选取正压的调节增量为 50 Pa 。为便于观察油菜籽的图像, 选择白色硬纸板作为高速摄像系统的拍摄背景, 并标定 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的方格阵列作为参照尺寸。设置高速摄像系统拍摄速度为 500 fps 、像素分辨率为 720×576 , 调节光源位置, 直至能观察到运动的油菜籽。

调节排种轴转速、负压、正压到指定值并开始试验, 启动并设置录制时间, 待试验结束后保存为视频文件。试验完成后, 利用图像目标追踪技术软件来提取图像中油菜籽的像素坐标, 提取数据的时间间隔为 0.002 s , 并绘制出油菜籽在不同正压下的投种轨迹曲线, 分析其投种过程的运动状态。

2 结果与分析

2.1 油菜籽投种过程分析

为观察分析油菜籽在投种过程中的运动轨迹, 每隔 1 帧提取油菜籽的瞬时高速摄像运动图像, 即时间间隔为 0.004 s 。根据连续画图像面可观察到油菜籽在投种阶段掉落形成的轨迹曲线(图 3)。

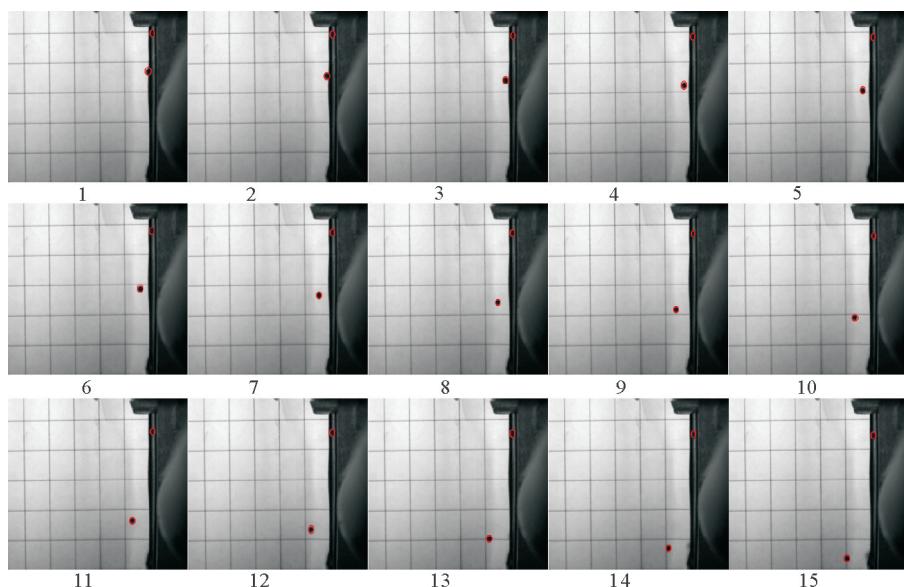


图 3 油菜籽投种过程高速摄像间隔 0.004 s 的图像

Fig. 3 Dropping trajectories of rapeseed in high-speed camera images

从图3中可知,当油菜籽被排种盘型孔吸附并进入正压投种区时,型孔上均吸附了1颗油菜籽,此时正压气流作用在其中1颗油菜籽上,油菜籽掉落投种并形成投种轨迹曲线。根据统计,每次试验记录的油菜籽数量均为35颗。

利用图像目标追踪技术来提取油菜籽的完整运动曲线并对其进行分析,再根据不同时间下油菜籽的空间位置像素坐标,可绘制出不同正压下的油菜籽投种轨迹曲线(图4)。

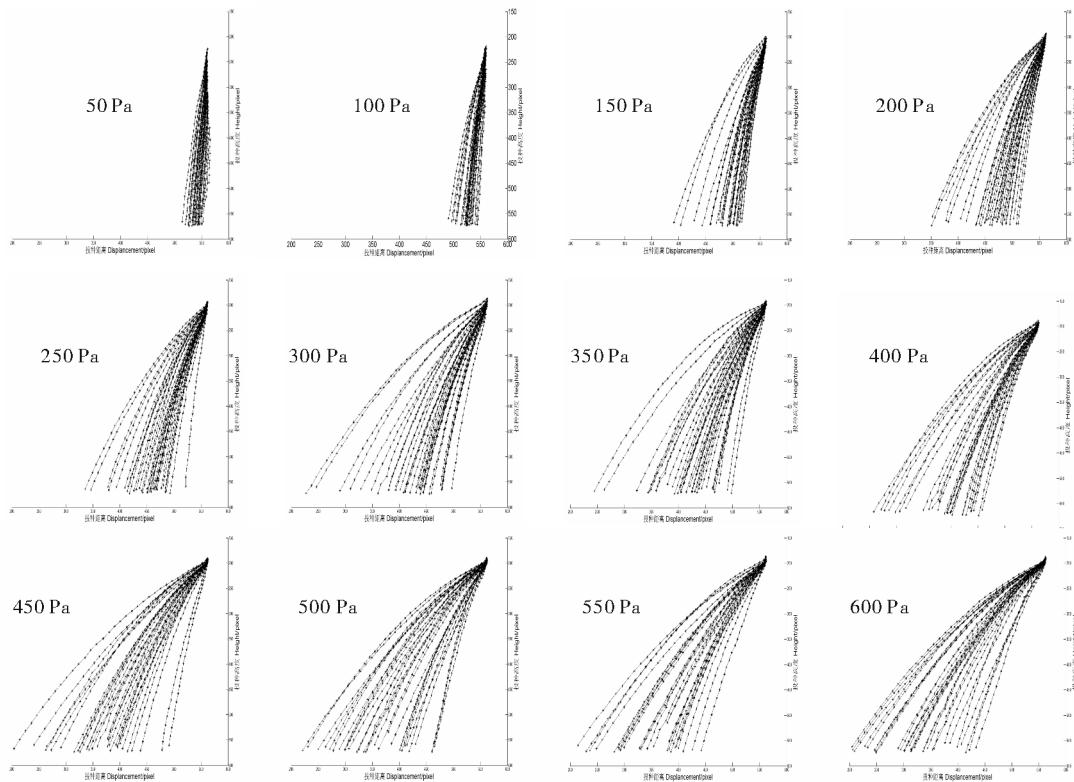


图4 不同正压下油菜籽投种的轨迹曲线

Fig. 4 Trajectories of rapeseed in different positive pressures

从图4可知:油菜籽的投种轨迹曲线为抛物线,在图中X方向上的位移即为油菜籽的投种距离,且随着排种器正压增大,其投种距离也随之增大;在同一正压下,因油菜籽质量和体积的差异、排种器加工和安装误差、风压等因素的影响,其投种轨迹曲线呈现出在一定范围内波动的规律。

根据排种器工作原理可知,当排种器在理想正压工作条件下,油菜籽的投种轨迹应为确定的轨迹曲线。但在实际投种过程中,排种器受到各种因素的综合作用,油菜籽的投种轨迹曲线存在波动。为研究在同一正压下油菜籽投种轨迹曲线的分布规律,将同一正压条件下的油菜籽投种轨迹曲线,按照其投种距离等距离划分区间并统计分析,则可得到油菜籽投种轨迹的分布规律。

假设投种轨迹分布曲线符合正态分布规律,对其投种距离的统计结果进行 χ^2 检验,结果表明油菜籽投种轨迹曲线均服从正态分布。分析不同正压下油菜籽的正态分布曲线,依据方程(1)可得到其参数

的期望值,并对其频率密度曲线进行高斯函数曲线拟合,得到正态分布参数(表1)。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

式中x为油菜籽的投种距离,m。

表1 各正压下的正态分布参数

Table 1 Fitted parameter of normal distribution in different positive pressures

压强/Pa	Pressure	μ	σ
50		2.00	1.05
100		3.62	1.36
150		7.67	3.16
200		10.87	4.44
250		12.07	4.44
300		15.13	6.55
350		15.42	5.76
400		18.47	5.83
450		20.62	6.61
500		21.36	6.98
550		22.46	6.29
600		24.82	6.68

从表1可知:同一正压下,油菜籽投种轨迹曲线均为正态分布;随着正压的增大,正态分布函数 μ 值增大,即油菜籽的平均投种距离随之增大;油菜籽的投种距离方差大小随着正压的增大而增大。为明确油菜籽的投种距离与排种器正压之间的变化规律,进行数学模型的拟合分析,得到

$$x=0.004\ 088\ p+0.125\ 7 \quad (2)$$

式中 p 为排种器的正压,Pa; x 为油菜籽投种距离,

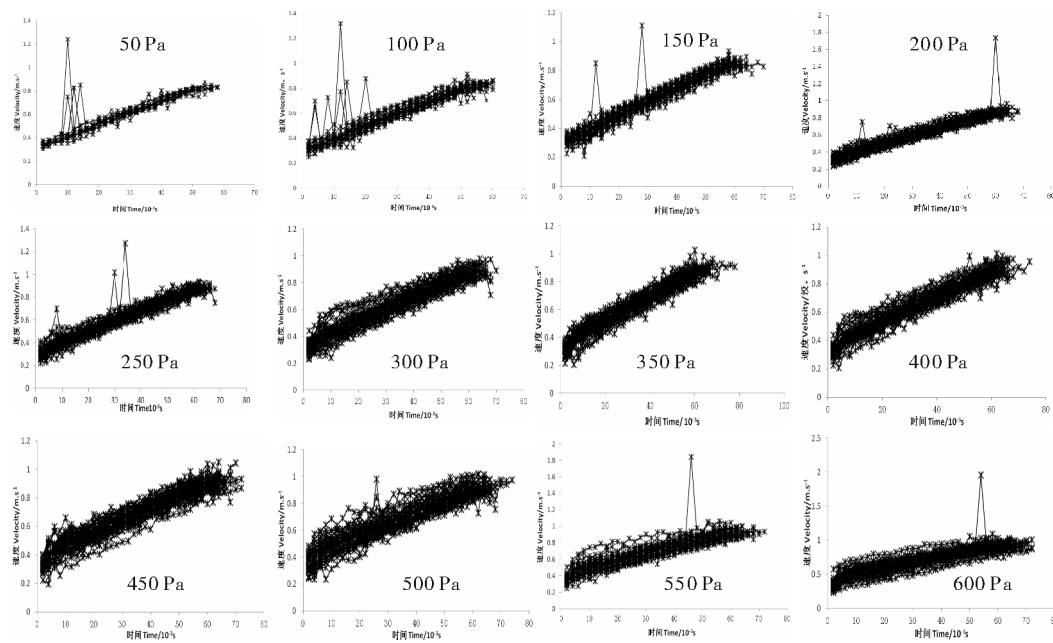


图5 不同正压下油菜籽下落过程的瞬时速度变化曲线

Fig. 5 Velocity of rapeseed in different positive pressures

根据油菜籽投种过程的速度变化可知,油菜籽在投种过程中速度随时间变化逐渐增大,且速度变化的趋势较平稳。由于受系统误差影响,油菜籽的速度曲线呈现一定的波动性,但曲线的离散程度均较小。根据油菜籽的投种轨迹曲线和投种过程的瞬时速度变化曲线,统计分析可得到正压50~600 Pa油菜籽的平均速度和加速度(表2)。

由表2可知,油菜籽的平均速度随着排种器正压增大而增大,且油菜籽的平均加速度小于9.8 m/s²,表明油菜籽在投种阶段受到空气阻力的影响,且在投种阶段的运动方式已为变加速运动。

油菜籽投种轨迹变异系数是衡量其运动轨迹曲线波动的变异程度,其数值越小表明其投种轨迹较集中稳定,从而导致油菜排种粒距稳定,获得最优的排种性能。因此,根据高速摄像中得到不同正压下油菜籽的投种轨迹曲线,可得到其投种位移变异系数与正压的关系曲线(图6)。

mm;相关系数 $R=0.988$ 。从拟合结果可看出,气力式油菜精量排种器的正压大小与油菜籽的投种距离之间呈线性函数关系。

2.2 油菜籽投种轨迹运动分析

根据油菜籽的投种位置像素坐标和时间间隔,计算得出图像的像素尺寸与空间尺寸的比例,确定其大小为10:1,则可获得不同正压下油菜籽的投种速度变化曲线(图5)。

由图6可知,当排种器的正压为100~250 Pa时,油菜籽投种轨迹变异系数最小,此时油菜籽粒距的均匀性效果最佳。

表2 不同正压下油菜籽下落的平均速度和加速度

Table 2 Dropping velocity and acceleration of rapeseed in different positive pressures

压强/Pa Pressure	平均速度/(m/s) Average velocity	平均加速度/(m/s ²) Average acceleration
50	0.604	8.753
100	0.597	9.235
150	0.596	8.988
200	0.610	8.567
250	0.613	9.378
300	0.629	8.970
350	0.646	9.286
400	0.650	9.440
450	0.665	9.381
500	0.676	9.132
550	0.694	9.415
600	0.703	9.406

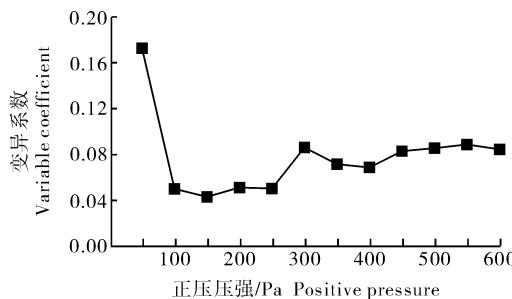
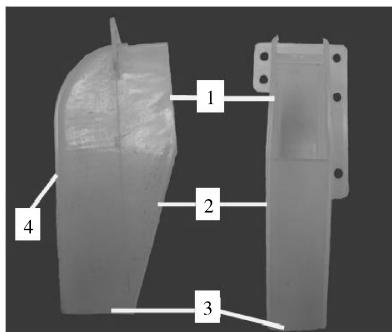


图 6 不同正压下油菜籽投种轨迹的变异系数

Fig. 6 Coefficient variance of rapeseed trajectories in different positive pressures

2.3 导种管结构的测试

油菜籽投种后进入导种管结构中,故导种管结构会对油菜籽的投种轨迹产生影响,进而影响排种器的排种性能(图 7)。



1. 投种口 Dropping area; 2. 倾斜内壁 Inner wall; 3. 输种口 Transportation hole; 4. 外侧壁面 Outer wall.

图 7 导种管的结构

Fig. 7 Structure of seed spout

在正压气流作用下,种子从投种口进入导种管后,在倾斜内壁和外侧壁面的约束下顺利进入输种管中。当排种器正压较小时,油菜籽在垂直于排种盘平面内产生的投种距离也较小,掉落过程中会碰撞导种管的倾斜内壁,发生弹跳现象,使得排种性能降低;当正压较大时,其投种距离随之增大,此时油菜籽与导种管外侧壁面碰撞,增大了油菜籽的投种行程,排种均匀性受到影响;当排种器正压在合理的范围时,油菜籽能实现准确投种,与导种管无碰撞且恰好进入输种口,此时为油菜籽最佳投种轨迹,且能保证排种性能良好。因此,合理的正压和导种管结构能保证排种器稳定的排种性能。

为研究正压和导种管结构形式对油菜籽投种轨迹的影响,明确导种管结构和正压的匹配关系,利用 JPS-12 型排种器性能测试试验台进行导种管结构的验证试验。试验结果以 GB/T 6973—2005《单粒

(精密)播种机试验方法》^[12]为参照,确定排种器的合格指数、漏播指数和变异系数为试验指标。将带有导种管的排种器安装在试验台上,其试验条件与高速摄像试验保持一致,正压调节增量为 50 Pa,试验重复 3 次。试验结果如图 8 所示。

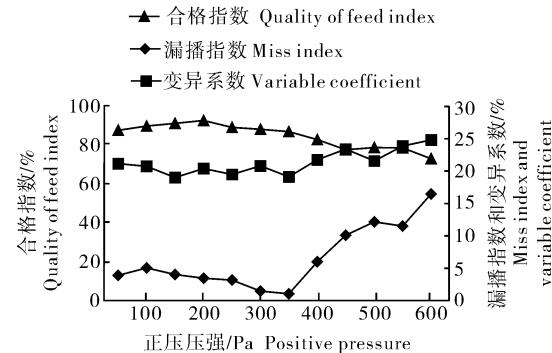


图 8 排种器性能随正压的变化曲线

Fig. 8 Performance of metering device in different positive pressures

从图 8 可知:当正压为 50 Pa 时,排种器合格指数达到 87.717%,此时漏播指数为 4.0%;当排种器正压从 100 Pa 增大至 250 Pa 时,合格指数性能曲线趋势先上升后下降,且合格指数大小均在 90% 左右,而漏播指数均为下降趋势;当排种器正压从 300 Pa 增大至 600 Pa 时,排种器合格指数曲线处于下降趋势,漏播指数曲线呈现增大趋势。排种器在正压为 100~250 Pa 范围内时,油菜株距的变异系数处于最低水平;当排种器正压为 300~600 Pa 时,其变异系数逐渐增大,表明油菜的株距变异程度较显著。

综合分析可知,油菜籽的实际投种轨迹受到各种因素的综合影响,与导种管结构匹配的排种器正压范围为 100~250 Pa。此时,排种器的合格指数均保持在稳定高效的工况下,试验结果与高速摄像中的排种器投种轨迹变异系数分析结果基本一致。

油菜直播机在田间播种时,其负载大小是由工况决定的。当直播机的田间工况发生变化时,会引起风压的不稳定,从而使得油菜籽的投种轨迹产生波动,且导种管的结构形式也会影响油菜籽的轨迹曲线,因此,合理的正压和导种管结构能使得油菜籽投种轨迹满足精量排种要求。为保证直播机的播种性能,导种管结构参数和正压均应保证在排种器性能指数较高的范围内。

3 讨 论

本试验基于高速摄像技术和图像目标追踪技术对气力式油菜精量排种器油菜籽投种的轨迹进行分析,观察了正压50~600 Pa范围内的油菜籽投种轨迹曲线,每隔0.002 s提取油菜籽位置坐标并获得其实际投种轨迹曲线。根据油菜籽的投种轨迹曲线得到其投种速度曲线,并统计分析其平均下落速度和加速度。试验结果表明:油菜籽投种轨迹曲线为抛物线,投种位移和投种速度随着正压增大而增大;其轨迹曲线分布满足正态分布,拟合分析油菜籽投种距离与正压的线性关系曲线,相关系数达到0.988。经过导种管结构试验,确定与导种管结构匹配的正压范围为100~250 Pa,试验结果与高速摄像结果基本一致。

参 考 文 献

- [1] 王静,廖庆喜,田波平,等.高速摄像技术在我国农业机械领域的应用[J].农机化研究,2007(1):184-186.
- [2] 王金峰,王金武,何剑南.深施型液态施肥装置施肥过程高速摄

- 像分析[J].农业机械学报,2012,43(4):55-59.
- [3] 陈进,边疆,李耀明,等.基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J].农业工程学报,2009,25(9):90-95.
- [4] KARAYEL D, WIESEHOFF M, ZMERZI 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: 89-96.
- [5] 廖庆喜,邓在京,黄海东.高速摄影在精密排种器性能检测中的应用[J].华中农业大学学报,2004,23(5):570-573.
- [6] 刘宏新,王福林.立式圆盘排种器工作过程的高速影像分析[J].农业机械学报,2008,39(4):60-64.
- [7] 王吉奎,郭康权,吕新民,等.改进型夹持式棉花穴播轮排种过程高速摄像分析[J].农业机械学报,2011,42(10):74-78.
- [8] 袁月明,马旭,朱艳华,等.基于高速摄像技术的气吸式排种器投种过程的分析[J].吉林农业大学学报,2008,30(4):617-620.
- [9] 金汉学.基于高速摄像技术的水稻芽播精密排种器研究[D].长春:吉林大学图书馆,2004.
- [10] 王在满,罗锡文,黄世醒,等.型孔式水稻排种轮充种过程的高速摄像分析[J].农业机械学报,2009,40(12):56-61.
- [11] 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.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S].北京:中国标准出版社,2005.

High-speed photography analysis of dropping trajectory on pneumatic metering device for rapeseed

YU Jia-jia DING You-chun LIAO Yi-tao CONG Jin-ling LIAO Qing-xi

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In pneumatic precision metering device, positive and negative pressures are used to plant rapeseeds, but the trajectories of the seeds and the device's performance are affected by the positive pressure. A high-speed photography technology was introduced to investigate the trajectories of rapeseeds with the rotating speed of 15 r/min and negative pressure of -1 500 Pa, and the positive pressures were set up from 50 to 600 Pa in the experiments. Target tracing technology was applied to capture the image of the rapeseed every 0.002 s in the dropping process and then a curve of the rapeseeds' movement is formed on that base. The histogram of the rapeseeds' trajectories was analyzed and their distribution law was found through fitting Gaussian model. The relationship model between positive pressures and the dropping distances was developed. The velocities of rapeseed in the dropping process were introduced to analyze the motion states. The influence of seed spout was verified in the experiments. The results showed the trajectories were in norm distribution in every positive pressure, and the fitting curve between positive pressure and dropping distance was linear, and the correlation coefficient was 0.988, the average acceleration of rapeseed in different positive pressures were less than 9.8 m/s^2 with the influence of air resistance; and it proved that the coefficient variance of trajectories was minimum during the positive pressures of 100-250 Pa.

Key words high-speed photography; rapeseed; pneumatic metering device; dropping trajectory; motion analysis

(责任编辑:陈红叶)