

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.09.010

扁平茄果类种子导向振动供种装置设计与试验

夏红梅¹ 周士琳¹ 刘园杰¹ 赵楷东¹ 李志伟²

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 广东科贸职业学院, 广州 510640)

摘要: 针对扁平茄果类种子在供种箱振动供送下播种多粒率高的问题,设计一种带有Y型导槽的导向振动供种装置。通过分析种子在振动导向充种板上的运动特性,确定导向充种板安装角 α 为 10° 、振动方向角 β 为 25° 。在不同振动强度下,进行了导向充种板振动特性试验和朝天椒种子在导槽内流动特性试验。结果表明,随着振动器电压的增加,各检测点振动频率保持在100 Hz,沿X、Y、Z方向振动幅值增大,种子相对导槽的平均流速增大;Y向振幅在 $0.45 \sim 0.54 \mu\text{m}$ 时,种子能在导槽内形成单层、均匀的定向流动,且各导槽内种子平均流速无显著差异。供种效果验证试验表明,在生产效率为300、600、900盘/h条件下,采用导向振动供种装置的播种合格率均超过95%,空穴率均低于5%,满足辣椒育苗精量播种要求。本文设计的导向振动供种装置可显著提高扁平种子播种合格率、降低播种多粒率。

关键词: 精量播种; 气力滚筒播种机; 扁平蔬菜种子; 振动供种装置

中图分类号: S233.2; S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)09-0082-07

OSID:



Design and Test of Directional Vibrating Seed-feeding Device for Flat Solanaceous Vegetable Seeds

XIA Hongmei¹ ZHOU Shilin¹ LIU Yuanjie¹ ZHAO Kaidong¹ LI Zhiwei²

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Guangdong Polytechnic of Science and Trade, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Under vibrating action of the seed-feeding box, flat solanaceous vegetable seeds would gather with disordered position and attitude around suction holes of the pneumatic drum seeder because of their poor flowability. That would result in high multiple-seed rate during precision sowing for flat solanaceous vegetable seeds. Therefore, a directional vibrating seed-feeding device with a Y-shaped guide groove was designed. Based on theoretical motion analysis of the seed on the vibrating seed-feeding device, installation angle of the seed guide plate was designed to be 10° , and the vibration direction angle of the seed guide plate was determined to be 25° . Through vibrating test, the amplitude-frequency characteristics of the seed guide plate excited by a linear electromagnetic vibrator was obtained. By means of high-speed photograph method, the Chaotian pepper seed was tested to study influence of different vibration intensities on seed flow characteristics in the guide groove of the seed-feeding device. The results showed that with the increase of the vibrating voltage, the vibration frequency of each detection point remained at 100 Hz, the vibrating amplitude of the seed guide plate along X, Y and Z directions was increased, and flow velocity of the seed along Y direction relative to the guide groove was increased. When the vibrating amplitude of the seed guide plate along Y direction was in the range of $0.45 \sim 0.54 \mu\text{m}$, the seeds in a guide groove can form uniform single layer distribution, and the seed flow velocity of each guide groove had better consistency. In order to verify the effect of the directional vibrating seed-feeding device, a contrast sowing test was conducted. The results showed that by utilizing the directional vibrating seed-feeding device, at the efficiency of 300 tray per hour, 600 tray per hour and 900 tray per hour, the sowing qualified seed rate of Chaotian pepper was more than 95%, and the seed-missing rate was less than 5%. It showed that the designed directional vibrating seed-feeding device can

收稿日期: 2020-01-08 修回日期: 2020-04-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0701301)和广东省现代农业产业技术体系设施农业共性关键技术研发创新团队项目(2019KJ131)

作者简介: 夏红梅(1975—),女,副教授,博士,主要从事蔬菜智能生产关键技术与装备研究,E-mail: xhm_scau@scau.edu.cn

significantly improve the qualified seed rate, reduce the multi-seed rate and meet the precision seeding requirements for flat pepper seed.

Key words: precision seeding; pneumatic drum seeder; flat solanaceous vegetable seed; vibrating seed-feeding device

0 引言

在蔬菜设施育苗生产中,精量播种有利于节省种子、减轻人工劳动强度、提高生产效率、降低生产成本^[1]。气力滚筒式精量播种机作业速度快,在大型育苗场应用较为广泛^[2],但主要适于球形种子^[3-4],其播种精度受种子外形和尺寸影响显著。对于种植规模和产量仅次于叶菜的扁平茄果类蔬菜,采用气力滚筒播种机进行作业,重播和漏播严重,难以实现精量播种^[5-6]。为解决扁平类种子高速精量播种问题,国内外学者通过对种子进行丸粒化处理^[7-9]、对排种滚筒吸孔进行特殊结构设计^[10-11]、采用复杂清种结构^[12]对播种参数进行优化设计^[13-18]等方式来提高播种精度。种子丸粒化处理成本高,在我国尚难以大量推广应用^[19]。在滚筒上设计凸出吸嘴等结构或采用多路清种结构存在工艺复杂、成本高等问题。

现有气力滚筒式播种机普遍采用供种箱振动供种方式。扁平类种子流动性差,在种箱振动作用下,会在排种器吸种孔口处呈姿态各异堆积,被吸附的初始位置和姿态难以控制,导致一个吸种孔容易吸附多粒种子。由于一孔吸附多粒种子数量与位姿随机性强,故难以通过常规清种方法清除^[20]。杨文伟^[21]为将扁平番茄种子控制在最佳状态,提出一种气吹悬浮供种方法,播种效果较好,该装置需要持续为悬浮供种室提供分布均匀、最佳种层高度的种子。文献[22-25]研究表明,振动供种板具有很好的匀种效果,可形成均匀连续的种子流。本文在现有振动供种板均匀连续供种理论的基础上,设计一种带有Y型导槽的导向振动供种装置,借助高速摄影技术研究导向供种板上种子的运动规律,并通过试验验证该供种装置的有效性 with 实用性。

1 导向振动供种装置原理与结构

导向振动供种装置结构简图如图1所示,由支撑底座、电磁振动器、振动连接板、导向充种板、种箱、型孔轮和导种管组成。导向充种板上开设有与滚筒上吸孔排数相同数量的Y型导槽,Y型导槽前段为V型区域,后段为直槽区域。如图1b所示,依据预试验结果,V型区域两侧夹角过大难以对种子形成有效导向约束,夹角过小会使种堆不能及时散

开,造成V型区域和直槽过渡处出现种子堆积,考虑受沿滚筒母线方向吸种孔间距尺寸限制,设计V型区域两侧夹角为 40° 。为使种子在直槽内不堆积,形成单层种子流,直槽宽度应为种子直径的 $2\sim 3$ 倍,按扁平辣椒种子平均三轴尺寸,设计直槽宽度为 8 mm ,长度为 30 mm 。调整振动连接板与导向充种板安装夹角,可调节导向充种板的振动方向角 β 。调节支撑底座与水平面夹角,可调节充种板相对水平面的安装夹角 α ,以及相对于滚筒的充种位置。通过调整导向充种板的安装夹角 α 及其振动方向角 β ,可使种子在导向充种板上稳定滑动而不产生跳动,并使送到吸种孔中心附近种子的姿态保持一致^[26]。

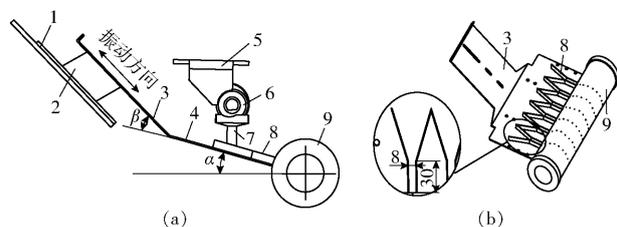


图1 导向振动供种装置工作原理图

Fig. 1 Working principle diagrams of precision directional vibration seed feeding device

1. 支撑底座 2. 电磁振动器 3. 振动连接板 4. 导向充种板
5. 种箱 6. 型孔轮 7. 导向管 8. Y型导槽 9. 滚筒

播种过程中,通过型孔轮向Y型导槽的V型区域持续定量供种,在电磁振动器作用下,种子在V型区域内壁导向作用下,逐步在后段直槽内形成无堆叠的单层滑动种子流。种子流沿直槽向滚筒各排吸种孔中心匀速滑动,受直槽宽度约束,最先到达吸种孔中心附近的种子数量被控制在 $2\sim 3$ 粒,且各种子的姿态保持一致,以降低一孔吸附多粒种子概率。

2 种子振动供送运动特性分析

供种装置采用直线电磁振动器作为振动源,驱动充种板往复振动。俞守新^[26]研究表明,直线电磁振动器除提供沿电磁激振力方向的线性振动外,还会使充种板绕其板面纵向和横向摆振。为简化种子在振动板上的运动分析,现有振动供种理论模型中均只考虑了沿电磁激振力方向的线性振动对供种板运动特性的影响。假设充种板上种子受到的力作用于种子质心,以种子质心为原点建立坐标系。种子在充种板上主要受到重力 G 、充种板给予的支

撑力 F_N 、摩擦力 F_f ，在种子相对充种板静止时，按照达朗贝尔原理，种子受到与振动器激振力相同方向的惯性力 F_g ，种子在导向充种板上受力分析如图2所示。

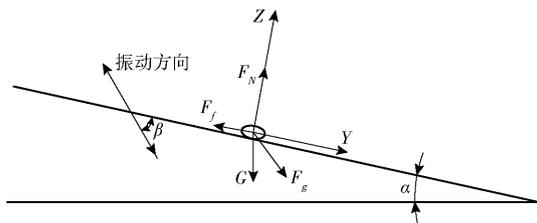


图2 种子在充种板上的受力分析

Fig.2 Force analysis of seeds on base plate

种子沿导种板 Y 轴方向开始滑动瞬间满足

$$G \sin \alpha - F_g \cos \beta \pm F_f = 0 \quad (1)$$

$$F_N - F_g \sin \beta - G \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

当种子沿 Y 轴正向滑动时，式(1)中取“-”，当种子沿 Y 轴反向滑动时，式(1)中取“+”，其中

$$F_f = F_N \tan \mu \quad (3)$$

$$F_g = ma \quad (4)$$

式中 μ ——种子相对导向充种板面静滑动摩擦角，($^\circ$)

a ——充种板运动加速度， mm/s^2

m ——种子质量

导种板在电磁振动器作用下做间歇运动，满足

$$S = A \sin(\omega t) \quad (5)$$

式中 S ——充种板位移， mm

A ——振动器振幅， mm

ω ——振动器角频率， rad/s

则 Y 向和 Z 向加速度为

$$a_y = -A\omega^2 \sin(\omega t) \cos \beta \quad (6)$$

$$a_z = -A\omega^2 \sin(\omega t) \sin \beta \quad (7)$$

式(6)、(7)代入式(1)中可得，当种子沿导种板正向滑动时满足

$$\frac{A\omega^2}{g} \sin(\omega t) = \frac{\cos \alpha \sin \mu - \sin \alpha \cos \mu}{\cos \mu \cos \beta + \sin \beta \sin \mu} \quad (8)$$

正向滑行指数为

$$D_k = k \frac{\cos(\mu - \beta)}{\sin(\mu - \alpha)} \quad (9)$$

其中 $k = \frac{A\omega^2}{g} \quad (10)$

式中 g ——重力加速度， mm/s^2

种子沿图1中导向充种板正向滑动起始角为

$$\phi_{k_0} = \arcsin \frac{1}{D_k} \quad (11)$$

反向滑动起始角

$$\phi_{q_0} = \arcsin \left(-\frac{1}{D_q} \right) \quad (12)$$

其中反向滑行指数

$$D_q = k \frac{\cos(\mu + \beta)}{\sin(\mu + \alpha)} \quad (13)$$

振动方向角满足

$$\beta = \arctan \frac{1 - C}{(1 + C) \tan \mu} \quad (14)$$

其中

$$C = \frac{D_k \sin(\mu + \alpha)}{D_q \cos(\mu - \alpha)} \quad (15)$$

种子被抛掷瞬间相位角

$$\phi_d = \arcsin \frac{1}{D} \quad (16)$$

其中抛掷指数

$$D = k \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} < 1 \quad (17)$$

因此，种子不被抛掷的条件为

$$\frac{A\omega^2}{g} \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} < 1 \quad (18)$$

为使种子相对导种板有较大正向滑动，达到均匀流动的效果，通常正向滑行指数 D_k 取值范围为2~3，反向滑行指数 D_q 取1。由式(14)、(15)可以确定振动方向角 β 。式(9)、(10)、(13)表明，在 μ 、 α 、 β 一定条件下， D_k 和 D_q 与振动角频率 ω 、振幅 A 有关， D_k 和 D_q 随 ω 、 A 的增加而增大，当 D_k 和 D_q 确定时 ω 和 A 也随之确定。增大 ω 和 A 可使种子相对有较好的正面滑动，但过大的 ω 和 A 会导致种子相对导种板跳动。

3 振动特性试验

为使种子能相对导向充种板形成持续稳定的正向滑动，应合理设定电磁振动器的角频率 ω 和振幅 A 。为此，采用振动检测系统对导向供种板在不同振动强度下的振动特性进行采集分析，借助高速摄像机研究不同振动强度下种子在导向充种板上导槽内的流动特性，为合理确定供种装置的工作参数范围提供依据。

3.1 试验材料与方法

导向振动供种装置安装在2BS-6型精密播种试验台上，排种器吸孔直径为0.8 mm，适用于72孔穴盘，如图3所示。选用天恩自动机械公司的140#直线电磁振动器，其工作电压为0~220 V。考虑种子尺寸与吸种孔直径的适应性^[27]，选取朝天椒种子作为播种对象，其千粒质量为6.157 g，平均三轴尺寸为4.33 mm × 3.40 mm × 0.80 mm，泊松比为0.25，与不锈钢板之间静摩擦因数为0.59，动摩擦因数为0.53，碰撞恢复系数为0.40。为保证种群初始相对导种板处于稳定静止状态，依据摩擦角和预试验结果取导种板安装角 α 为 10° ，依据式(9)、

(10),为使种子在导向充种板上有较好的正向滑动,取 D_i 为 3, D_q 为 1,计算取振动方向角 β 为 25° 。

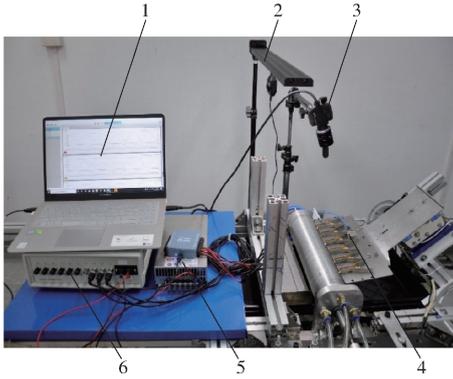


图 3 导向振动供送试验装置实物图

Fig. 3 Guided vibration feeding test device

- 1. 便携式计算机 2. 光源 3. 高速摄像机 4. 振动传感器 5. 稳压电源 6. 恒流适配器

导向充种板振动特性试验选用海橙科公司的多通道振动检测系统,由 CT1010SLFP 型振动传感器、CT5210 型恒流适配器、SE-600-12 型稳压电源及检测数据分析处理软件 DAQami 组成。振动传感器灵敏度为 $98.4 \sim 100.5 \text{ mV/g}$,频率范围为 $0.5 \sim 5000 \text{ Hz}$ 。考虑导向充种板结构对称性,在充种板一侧 3 个 Y 型导槽的 V 型区域中心布局振动检测点,如图 4 所示。依据预试验结果,在 $36 \sim 55 \text{ V}$ 间调整振动器电压,采集 1 min 内各检测点的三轴加速度。

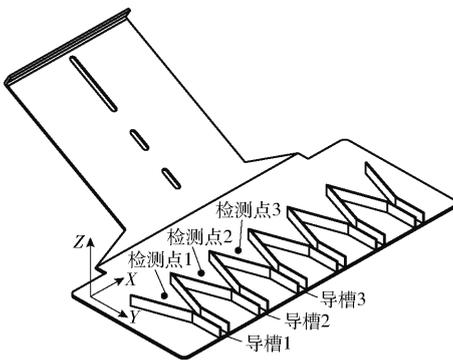


图 4 振动检测点布局示意图

Fig. 4 Schematic of vibration detection point

选取海恩威视 MV-CA016-10UC 型彩色工业摄像机和沃乐斯 WL1408-5MP 型镜头,对种子在 Y 型导向槽内运动过程进行拍摄。摄像机传感器为

IMX273,靶面尺寸 $1/2.9''$,像元尺寸为 $3.45 \mu\text{m}$,分辨率为 $1440 \text{ 像素} \times 1080 \text{ 像素}$,最大帧率为 166 f/s ,曝光时间范围为 $16 \mu\text{s} \sim 10 \text{ s}$ 。拍摄时保持镜头与充种板所在平面平行,拍摄焦距为 8 mm 。考虑导向充种板结构对称性,取其一侧 3 个 Y 型导槽为拍摄范围。对朝天椒种子进行筛选清除杂余,在 1~3 号槽体 V 型区域一次性放置 0.3 g 辣椒种子,在 $36 \sim 55 \text{ V}$ 间调整电磁振动器电压。将拍摄视频导入速度分析软件 Molysis 中,对种子在导槽内沿 Y 方向流速进行分析。以槽体宽度为标定尺,设置为 8 mm ,取每个导槽中一颗种子为目标创建质点,沿 Y 方向向前方搜索目标质点,当目标种子运动至滚筒附近后停止搜索,导出种子运动速度随时间变化值。

3.2 试验结果与分析

3.2.1 导向充种板振动特性

以 3 号槽内振动检测点采集结果为例,在 $36, 45, 55 \text{ V}$ 振动电压条件下,检测点沿 X、Y、Z 方向的加速度变化曲线如图 5 所示。加速度曲线表明,直线电磁振动器的振动频率为 100 Hz ,调整振动电压使振动频率保持不变。在直线电磁振动器的激励作用下,导向充种板沿 X、Y、Z 方向形成正弦规律运动。导向充种板沿 X、Y、Z 方向的振动幅度随着电压的增加而增大。

依据 Y 型导槽振动加速度采集结果,分析各导槽振幅与振动电压关系,如图 6 所示。随着振动电压的增大,各导槽检测点沿 X、Y、Z 方向的振动幅值逐渐增强。1 号槽内检测点 X 方向的振幅范围为 $0.05 \sim 0.19 \mu\text{m}$,Y 方向的振幅范围为 $0.15 \sim 0.56 \mu\text{m}$,Z 方向的振幅范围为 $0.12 \sim 0.34 \mu\text{m}$ 。2 号槽内检测点 X 方向的振幅范围为 $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$,Y 方向的振幅范围为 $0.08 \sim 0.57 \mu\text{m}$,Z 方向的振幅范围为 $0.21 \sim 0.56 \mu\text{m}$ 。3 号槽内检测点 X 方向的振幅范围为 $0.03 \sim 0.09 \mu\text{m}$,Y 方向的振幅范围为 $0.12 \sim 0.66 \mu\text{m}$,Z 方向的振幅范围为 $0.14 \sim 0.57 \mu\text{m}$ 。各导槽内沿 X 方向的振幅最小,其次为 Z 方向,沿 Y 方向振幅最大。沿 X 方向振幅大,易使种子沿滚筒母线方向运动;沿 Y 方向振幅

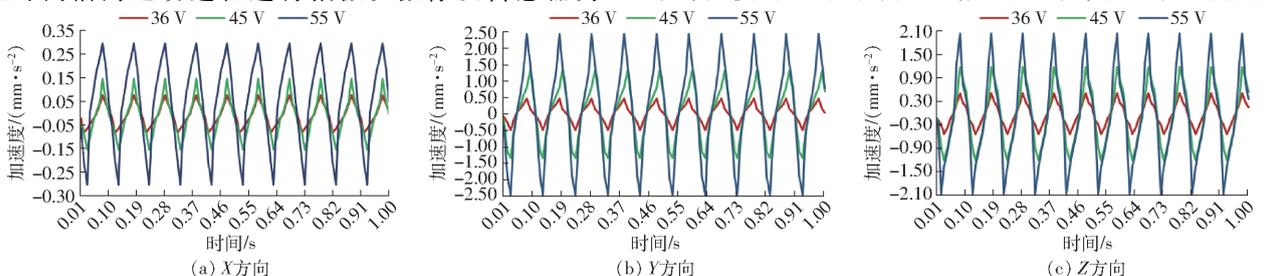


图 5 不同振动电压下检测点沿 X、Y、Z 方向加速度变化曲线

Fig. 5 Acceleration curves of detection point along X, Y and Z directions under different vibration voltages

大,有利于种子沿导槽形成稳定流动;沿 Z 方向振幅大,易使种子相对导种板跳动。试验表明,设计的导向供种板振动特性有利于使种子相对导槽沿 Y 方向形成稳定流动,实现种子定向输送目标。为使

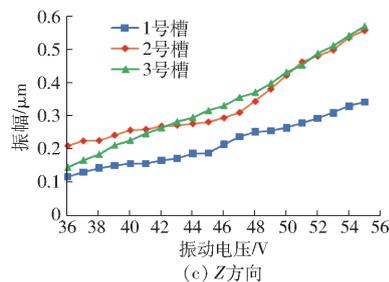
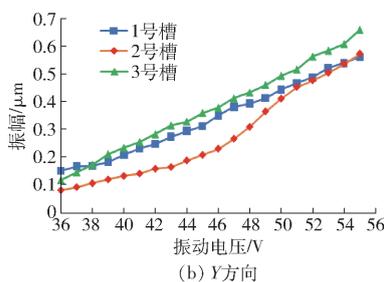
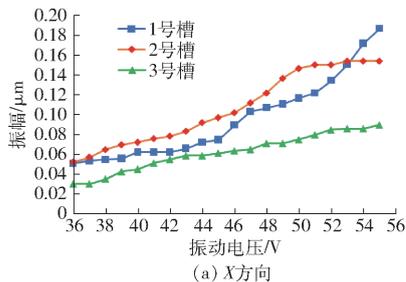


图6 振动电压与各导槽检测点 X 、 Y 、 Z 方向振幅关系曲线

Fig. 6 Relationship between vibration voltage and X , Y and Z direction amplitude of each guide groove detection point

3.2.2 种子在导向槽内流动特性

通过高速摄像机拍摄振动3 s时各个导槽内种子分布状态,结果如图7所示。分析各导槽内种子沿 Y 方向的平均运动速度与 Y 方向振幅关系,如图8所示。在不同振动强度作用下,种群在 V 型区域内散

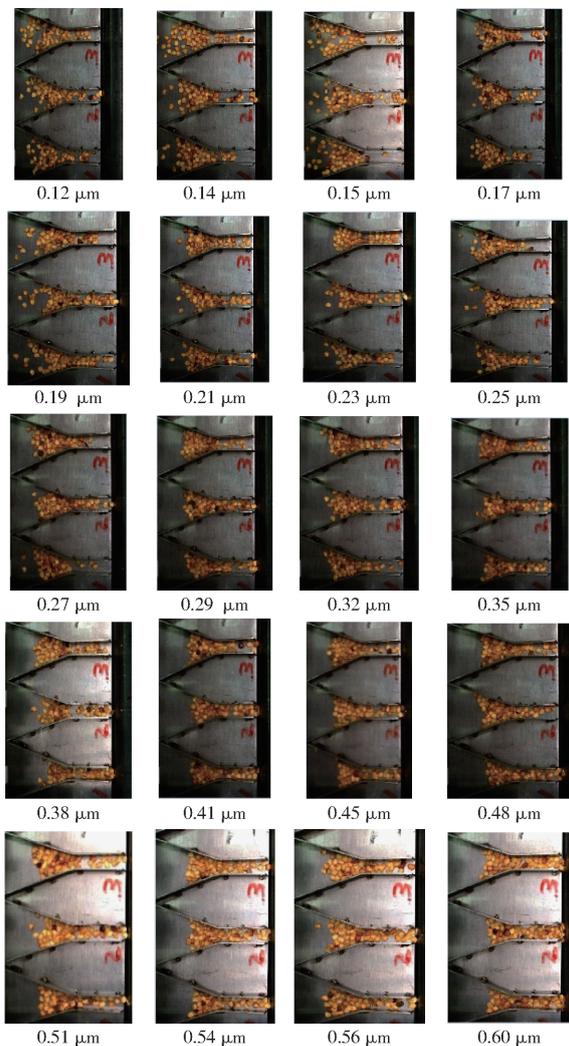


图7 Y 方向不同振幅下导槽内种子分布状态

Fig. 7 Seed distribution in three guide under different vibration amplitudes (Y direction)

各导槽内沿 Y 方向种子流动速度均匀一致,应使各导槽沿 Y 方向的振幅大小相近。图6表明,当振动电压为50~55 V,各导槽沿 Y 轴方向振幅差值较小。

开,沿 Y 方向朝滚筒吸孔处扩散流动,在3 s时均已有种子运动到排种器孔口处。随着 Y 方向振幅增加,种子沿 Y 轴方向相对导槽的流速增大,种子相对导槽的扩散和流动性增强。当 Y 方向振幅小于 $0.41 \mu\text{m}$ 时,种群流速过慢,种群在 V 型区域散开后流入 V 型区域与直槽过渡区域时会出现堆积拥堵现象,只有少量种子流入直槽,导致直槽内种量不足,出现种子断流情况。当 Y 方向振幅达到 $0.45 \mu\text{m}$ 及以上时,种子平均流速随振幅增加速度明显加大,各直槽内种子分布趋于连续、均匀,能在直槽内形成单层、定向的种子流。当 Y 方向振幅大于等于 $0.54 \mu\text{m}$ 时,直槽内种子流速快,如吸种孔处的种子未被及时吸附走,种子会逐步在吸种孔口堆积,出现充种层过厚的问题,增加一孔吸附多粒的概率。

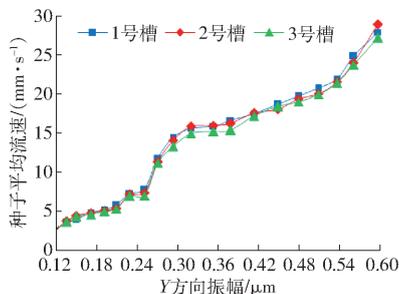


图8 Y 方向不同振幅下种子运动速度变化曲线

Fig. 8 Variation curves of seed movement speed under different Y -direction amplitudes

如图8所示,在相同 Y 方向振幅条件下,3个导槽内种子平均流速无明显差异。为使种子能在导槽内形成单层、连续、均匀的供种层,同时使各导槽内的种子流动速度接近一致,依据图7和图8的试验结果,确定 Y 方向振幅在 $0.45 \sim 0.54 \mu\text{m}$ 之间。

4 供种效果验证试验

4.1 试验装置与方法

在图3试验装置上安装由种箱、型孔轮和导种

管组成的定量补种机构,构建有导向振动供种试验装置,如图9a所示。在振动连接板上安装无导向的充种板,以无导向充种板为振动种箱,构建无导向振动供种试验装置,如图9b所示。以第2节所述朝天椒种子作为播种对象,试验吸种压力为 -7.8 kPa ,清种压力为 1.6 kPa ,播种生产效率取300、600、900盘/h。图8表明,振幅取 $0.45\sim 0.54\ \mu\text{m}$ 内,3个导槽内种子平均流速为 $18.4\sim 21.7\text{ mm/s}$,在该范围内变化振幅对种子流量影响并不明显,为此设定电磁振动器Y方向振幅为 $0.48\ \mu\text{m}$ 。不同生产效率条件下,在有导向振动供种试验装置上调整型孔轮驱动电机转速,使导向充种板内能及时定量补充种子,在直槽内形成持续、均匀的单层种子流。

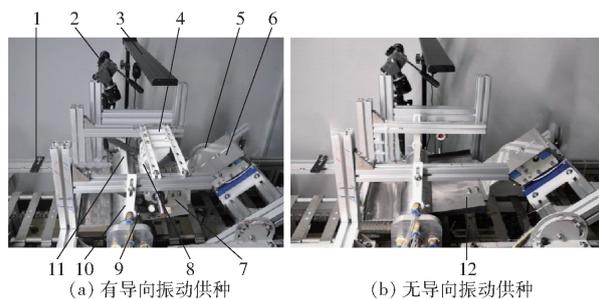


图9 供种效果验证试验装置

Fig. 9 Seeding effect verification test device

1. 2BS-6型播种试验台 2. 高速摄像机 3. 光源 4. 种箱 5. 振动连接板 6. 电磁振动器 7. 导向充种板 8. 型孔轮 9. 导种管 10. 滚筒 11. 清种装置 12. 普通充种板

依据精密排种器性能指标(GB/T 6973—2005)、温室蔬菜穴盘精密播种机技术条件(NY/T 1823—2009)和精密穴播机适用性评价(DGT 007—2019),对于非球形的蔬菜小粒种子以每穴1~2粒为合格。本试验以合格率(每穴1~2粒)、空穴率和多粒率(每穴大于2粒)为供种效果评价指标。采用图9所示两种供种装置开展对比试验,通过高速摄像机拍摄排种器上对应1~3号导种槽的排种器吸孔吸附种子情况,取1 min内连续播种视频,通过视频回放统计种子被吸附的合格率、多粒率和空穴率,每组试验重复5次。

4.2 试验结果

不同供种方式和播种速度下的播种精度统计结果如表1所示。无导向振动供种方式下,播种合格率在65%~70%范围,多粒率在35%左右,空穴率为0。采用有导向振动供种方式,播种合格率在95%~99%之间,多粒率在0.5%左右,空穴率为2%~3%。供种方式对播种效果具有极显著影响

($P < 0.001$)。采用无导向或有导向供种方式,在不同播种生产效率条件下,播种合格率、多粒率和空穴率均无明显差异($P = 0.236$)。

表1 供种效果验证试验结果

Tab. 1 Test results of seed feeding effect verification

供种方式	生产效率/ (盘·h ⁻¹)	合格率/ %	多粒率/ %	空穴率/ %
无导向振 动供种	300	64.81 ± 2.60	35.19 ± 2.62	0
	600	65.74 ± 4.72	34.26 ± 4.70	0
	900	67.59 ± 3.46	32.41 ± 3.47	0
有导向振 动供种	300	97.33 ± 1.24	0.44 ± 0.65	2.22 ± 0.79
	600	97.67 ± 0.57	0.22 ± 0.27	2.11 ± 0.52
	900	98.41 ± 0.60	0.33 ± 0.25	1.26 ± 0.79

采用有导向振动供种方式,在不同生产效率条件下,播种合格率均高于95%,空穴率均低于5%。表明设计的导向振动供种装置能达到连续、少粒、定量、定向供送目标,可显著提高扁平辣椒种子播种合格率,降低播种多粒率,满足辣椒育苗精量播种的技术要求。

5 结论

(1)设计了一种针对扁平茄果类种子的导向振动供种装置。通过分析种子在振动导向充种板上运动特性,确定导向充种板安装角 α 为 10° 、振动方向角 β 为 25° 。供种装置振动试验结果表明,随着振动电压增加,各导槽振动频率保持在100 Hz,沿X、Y、Z方向振幅逐渐增大,种子相对导槽的扩散和流动性增强;当导向充种板的Y方向振幅在 $0.45\sim 0.54\ \mu\text{m}$ 时,种子能在导槽内形成单层、均匀的定向流动,各导槽间振幅差异最小,能使各导槽内种子流动速度保持较好的一致性。

(2)针对朝天椒种子进行了有导向振动供种与无导向振动供种的播种效果对比试验,结果表明,两种供种方式播种效果差异极显著,在生产效率为300、600、900盘/h的条件下,无导向振动供种方式的播种合格率仅为65%~70%,多粒率高达35%;有导向振动供种方式的播种合格率均达到95%以上,空穴率均低于5%。

(3)受排种器吸种孔尺寸限制,本文仅对扁平辣椒种子导向振动供送效果进行了验证试验。后续还将探讨导向振动供种装置对番茄等其他扁平种子的适应性,研究不同播种对象和生产效率条件下,型孔轮的结构及工作参数与导向振动供送效果的关系,以实现导向振动供种装置持续、稳定、均匀的定向供种目标。

参 考 文 献

[1] 赵郑斌,王俊友,刘立晶,等. 穴盘育苗精密播种机的研究现状分析[J]. 农机化研究,2015,37(8):1-5.

- ZHAO Zhengbin, WANG Junyou, LIU Lijing, et al. Advance research of tray precision sowing equipment [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(8): 1-5. (in Chinese)
- [2] MURRAY J R, TULLBERG J N, BASNET B B. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description [M]. Australia: Canberra ACIAR, 2006.
- [3] 王宏宇, 黄文忠, 张玉娟. 温室园艺精量播种机械发展现状概述 [J]. 农业科技与装备, 2008(2): 111-112. WANG Hongyu, HUANG Wenzhong, ZHANG Yujuan. Overview of developing status of garden precision seeder [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008(2): 111-112. (in Chinese)
- [4] KARAYEL D, BARUT Z B, ÖZMERZI A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437-444.
- [5] PARISH R L, BRACY R P. Metering nonuniform vegetable seed [J]. Hort Technology, 1998, 8(1): 69-71.
- [6] 陈永, 王科杰, 罗昕, 等. 气吹悬浮供种滚筒式播种机吸附取种理论分析 [J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 21-26. CHEN Yong, WANG Kejie, LUO Xi, et al. Theoretical analysis of cylinder seed-metering device and adsorption species based on the pneumatic suspension seed supply [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(4): 21-26. (in Chinese)
- [7] 陈凯, 韩柏和, 陆岱鹏, 等. 甘蓝种子丸粒化包衣加工工艺及其对品质的影响 [J]. 中国农机化学报, 2019, 40(8): 82-88. CHEN Kai, HAN Baihe, LU Daipeng, et al. Effect of pelleting processing technology on the quality of cabbage seeds [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(8): 82-88. (in Chinese)
- [8] SHARMA P, AUNNIL A, ASHOK K T, et al. Seed pelleting: a technique of seed quality enhancement [J]. Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika, 2019, 34(2): 142-144.
- [9] BRACY R P, PARISH R L. Seeding uniformity of precision seeders [J]. Hort Technology, 1998, 8(2): 182-185.
- [10] 浙江博仁工贸有限公司. 播种机滚筒镶嵌式凸型吸嘴: 201310295914.0 [P]. 2013-10-23.
- [11] 浙江博仁工贸有限公司. 带吸嘴的播种机滚筒: 201210325070.5 [P]. 2013-03-20.
- [12] 华南农业大学. 一种刮碰气流式播种机的清种装置: 201510657195.1 [P]. 2016-01-06.
- [13] 李林. 气吸式排种器理论及试验的初步研究 [J]. 农业机械学报, 1979, 10(3): 56-63. LI Lin. A preliminary study on the theory and experimentation of the suction-type metering device for precision drill [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1979, 10(3): 56-63. (in Chinese)
- [14] RATHNAKUMARI A C, KUMARAN G S, MANDHAR S C. Design and development of tray type vacuum seeder and tray type dibbler for vegetable nursery [J]. Journal of Applied Horticulture, 2005, 7(1): 49-51.
- [15] GAIKWAD B B, SIROHI N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays [J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 322-329.
- [16] LEEMANS V, DESTAIN M F. A computer-vision based precision seed drill guidance assistance [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 59(1-2): 1-12.
- [17] YAZHI 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: 128-135.
- [18] ZHAO Zhan, LI Yaoming, CHEN Jin, et al. Numerical analysis and laboratory testing of seed spacing uniformity performance for vacuum-cylinder precision seeder [J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(4): 344-351.
- [19] 刘云强, 刘立晶, 赵郑斌, 等. 蔬菜育苗播种机清种装置设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 83-91. LIU Yunqiang, LIU Lijing, ZHAO Zhengbin, et al. Design and experiment on plant seedling device for vegetable seedling seeder [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 83-91. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2018s012&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.012. (in Chinese)
- [20] 张静. 气吸滚筒式的小粒扁平种子精量播种机理研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017. ZHANG Jing. Theoretical study of the pneumatic roller-type seeder for flat vegetable seed [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [21] 杨文伟. 气吹供种的滚筒式番茄育苗播种器的研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2014. YANG Wenwei. Research on cylinder precision tomato seeder based on the pneumatic suspension seed supply [D]. Shihezi: Shihezi University, 2014. (in Chinese)
- [22] 李志伟, 邵耀坚. 电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2000, 31(5): 32-34. LI Zhiwei, SHAO Yaojian. Study and test of electromagnetic vibrating type rice seeder for hill seedling nursery box [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(5): 32-34. (in Chinese)
- [23] 鹿芳媛, 马旭, 齐龙, 等. 振动式水稻精密播种装置机理分析与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 119-128. LU Fangyuan, MA Xu, QI Long, et al. Theory and experiment on vibrating small-amount rice sowing device [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6): 119-128. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20180614&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.014. (in Chinese)
- [24] 齐龙, 谭祖庭, 马旭, 等. 气动振动式匀种装置工作参数的优化及试验 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(6): 1684-1691. QI Long, TAN Zutong, MA Xu, et al. Optimization and test of operational parameters of pneumatic vibration uniform-seeds device [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2014, 44(6): 1684-1691. (in Chinese)
- [25] 赖庆辉, 高筱钧, 张智泓. 三七气吸滚筒式排种器充种性能模拟与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 27-37. LAI Qinghui, GAO Xiaojun, ZHANG Zhihong. Simulation and experiment of seed-filling performance of pneumatic cylinder seed-metering device for *Panax notoginseng* [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 27-37. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160505&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.005. (in Chinese)
- [26] 俞守新. 直线振动供料器的动态特性分析及控制 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 1999(6): 1-3. YU Shouxin. Analysis and control of dynamic characteristics of linear vibration feeder [J]. Combined Machine Tool and Automatic Machining Technology, 1999(6): 1-3. (in Chinese)
- [27] 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. XIA Hongmei, LI Zhiwei, NIU Juju, et al. Dynamic model for metering process for pneumatic roller-type vegetable seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 141-146. (in Chinese)