

条带对行主动式玉米免耕播种防堵装置设计与试验

姚文燕 赵殿报 徐广飞 陈美舟 苗河泉 刁培松
(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

摘要: 针对我国黄淮海地区小麦秸秆覆盖地玉米免耕播种机高速作业时开沟器易堵塞、播种质量差等问题, 基于旋耕防堵理论设计一种浅旋条带对行主动式防堵装置。根据黄淮海地区小麦玉米种植模式中小麦苗带状况, 对防堵装置的刀型排布结构和刀轴转速进行设计; 从秸秆流动、抛撒轨迹和受力角度进行分析, 确定防堵装置结构参数设计的合理性, 并对影响其性能的关键因素进行土槽试验; 选取刀轴间距、刀轴转速和机具前进速度为影响因素, 以秸秆清秸率和动土率为性能评价指标, 进行离散元模拟仿真和多因素正交试验, 对影响作业性能刀轴间距和防堵装置工作参数进行优化。仿真试验结果表明, 在刀轴转速为 800 r/min、刀轴间距为 70 mm、机具前进速度为 7 km/h 时, 综合作业质量最优; 对优化结果进行玉米播种田间试验, 在秸秆覆盖量为 1.02 kg/m², 前进速度为 8 km/h 时, 秸秆清秸率为 91.85%, 沟深稳定性为 86.67%, 动土率为 26.47%, 可满足高速作业要求。

关键词: 玉米免耕播种机; 主动式; 防堵装置; 仿真分析

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2020)S2-0055-08

Design and Experiment of Anti-blocking Device for Strip to Row Active Corn No-tillage Seeding

YAO Wenyan ZHAO Dianbao XU Guangfei CHEN Meizhou MIAO Hequan DIAO Peisong
(College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: In view of the problems such as easy blockage of opener and poor sowing quality when corn no tillage planter works at high speed in Huang – Huai – Hai region of China, an active anti blocking device with shallow rotating strip was designed based on the anti blocking theory of rotary tillage. According to the situation of wheat seedling belt in wheat and corn planting mode in Huang – Huai – Hai region, the knife layout structure and cutter shaft speed of the anti blocking device were designed; the rationality of the structural parameter design of the anti blocking device was determined by analyzing the straw flow, throwing track and force, and the key factors affecting its performance were tested in soil bin; the discrete element simulation and multi factor orthogonal test were carried out selecting the cutter shaft spacing, cutter shaft speed and forward speed as the influencing factors, taking the straw cleaning rate and soil breaking rate as the performance evaluation indexes, the cutter shaft spacing and working parameters of anti blocking device were optimized. The results of simulation test showed that the comprehensive operation quality was the best when the rotation speed of cutter shaft was 800 r/min, the distance between cutter shafts was 70 mm, and the forward speed was 7 km/h. The field experiment of corn sowing was carried out on the optimized results. Under the operation conditions of straw mulching amount of 1.02 kg/m² and forward speed was 8 km/h, the rate of removing straw was 91.85%, the stability of ditch depth was 86.67%, and the rate of excavation was 26.47%, which could meet the requirements of high-speed operation.

Key words: corn no-tillage seeding; active; anti-blocking mechanism; simulation analysis

收稿日期: 2020 – 08 – 12 修回日期: 2020 – 09 – 18
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700703 – 03)、山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020615)和山东省现代农业产业体系玉米创新团队机械加工岗位专家项目(2016 – 2020)
作者简介: 姚文燕(1990—),女,博士生,主要从事旱作农业机械化体系及装备研究,E-mail: 1938191541@qq.com
通信作者: 刁培松(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事旱作农业机械化体系及装备研究,E-mail: dps2003@163.com

0 引言

黄淮海地区夏玉米主要以机械直播为主,由于小麦收获时,多以高留茬、粉碎还田为主,而现有的小麦收获机秸秆处理装置作业不理想,造成田间小麦根茬较多、秸秆覆盖量大,给玉米播种带来较多问题^[1]。过量的残茬导致玉米免耕播种机播种时开沟器堵塞,造成开沟器作业不稳定,严重影响播种质量^[2]。为解决上述问题,国内外对免耕作业进行大量研究。

目前,国外免耕播种机防堵技术偏重被动式防堵,主要以圆盘开沟器和爪式拨草轮为主^[3-4],不适用于黄淮海地区小型、轻型播种机组。国内免耕播种机防堵技术分为主动式和被动式,被动式以导草辊^[2]、爪式拨草轮^[5-7]为主,秸秆覆盖量大时防堵效果不显著。主动式以旋耕刀、灭茬刀、粉碎刀、立式驱动耙安装在播种机开沟器前端进行二次粉碎小麦播种作业,而对于麦秸地玉米播种作业的处理常以旋耕防堵技术为主^[8],现有的免耕播种机多以旋耕装置挂接,存在土壤扰动量大、功耗高、造成资源浪费等问题。国内外学者对带装旋耕多以深旋为主,将土壤沟型^[9-10]、秸秆土壤混埋效果^[11]、功耗^[12]等作为评价指标进行研究,鲜少进行浅旋旋耕运用到玉米免耕播种机进行高速作业。此外,新型防堵装置^[13-16]虽在一定程度上解决了秸秆堵塞问题,但是由于存在某种局限性,并没有在市场上量产,但为研究高速防堵装置提供较好的理论依据。

本文以基于旋耕刀为主的免耕播种机为设计基础,以减少土壤扰动量、降低动力消耗,从耕刀的排列分布、转速以及耕刀与开沟器防护装置三者的位置关系出发,设计一种适用于两熟区小麦秸秆覆盖条件下的免耕条带浅旋对行主动式防堵装置,并进行浅旋防堵性能试验,以期确定合理的机构设计参数。

1 总体结构与工作原理

1.1 总体结构

对行主动式玉米免耕播种机整机结构如图1所示,主要由机架、风压系统、防堵装置、播种单体等组成。主要适用于黄淮海两熟区小麦秸秆覆盖地的玉米免耕播种机,播种机为6行,对应6组旋耕防堵装置单体,行距600 mm,幅宽3 600 mm,对行主动防堵装置通过刀轴固定在机架上,每个开沟器对应一组主动防堵单体。主动防堵单体由旋耕刀、刀轴、刀座组成,与开沟器、导流板、传动装置等部件共同组成对行主动防堵装置。

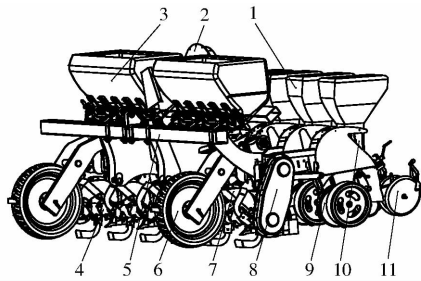


图1 玉米精量免耕播种机整机结构图

Fig.1 Structural diagram of corn precision no-tillage planter

1. 种箱 2. 风机 3. 肥箱 4. 防堵装置 5. 机架 6. 地轮 7. 导流板 8. 传动装置 9. 圆盘开沟器 10. 播种单体 11. 覆土镇压轮

1.2 工作原理

防堵装置位于机具前部,通过刀轴固定在机架上,每组开沟器对应一组主动防堵单体。作业时,拖拉机动力通过变速箱经齿轮传动装置传递给刀轴,刀轴以一定转速带动对行主动防堵装置转动,刀轴与开沟器的相对位置使耕刀作业时回转半径覆盖开沟器两侧,每组防堵单元耕刀作业间距为150 mm,可将开沟器两侧小麦秸秆切断、抛起,减少了秸秆在苗带间的积聚,创造了良好的种床环境。另外,拖拉机动力输出轴的动力由万向节传递给风压系统的风机,驱动风机作业为气吸式排种器提供负压,施肥开沟器后侧采用圆盘式开沟器可有效地保证播种作业效率。

2 关键部件设计

2.1 防堵结构刀型设计

黄淮海地区小麦常规条播方式为苗带宽为30~40 mm,三行为一幅,行距为150 mm,幅间预留300 mm玉米播种行,因此选取相邻两刀中心轴向间距为70 mm,两刀外侧面间距为150 mm,以机组前方向为正方向,中心轴左侧安装左弯刀、右侧安装右弯刀;相邻两组耕刀的轴向中心间距为600 mm,每组耕刀位于施肥开沟器正前方,即满足播种时小麦秸秆的最佳清理范围,又保证开沟器前方秸秆的清理,实现对行清理减少土壤扰动量;同一刀盘上为相同旋向的耕刀,且按照相位角180°排列,一组防堵单元耕刀正切刀方向指向开沟器,同一螺旋线上相邻两把刀的相位角为15°,刀型及排布结构如图2、3所示,按上述排列即可满足耕刀耕作过程中开沟器两侧的秸秆在耕刀的作用下往两侧侧向抛出,也避免刀轴在旋转过程中附加动载荷和作业中的脉冲振动^[17]。

2.2 防堵刀轴转速设计

对行主动防堵装置采用国标IT245旋耕刀,其

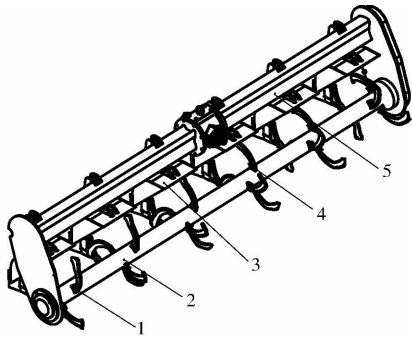


图 2 防堵装置结构示意图

Fig. 2 Structural diagram of anti blocking device

1. 犁刀 2. 刀轴 3. 导流板 4. 刀座 5. 机架

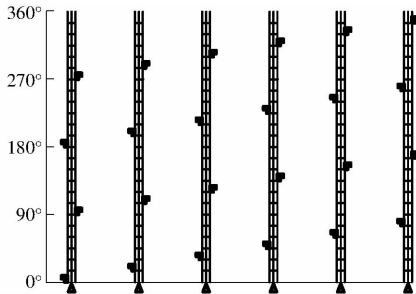


图 3 犁刀轴向排布示意图

Fig. 3 Schematic of axial arrangement of tiller

转速影响作业效果,转速过低,不能充分将小麦秸秆切断、剥离,达不到作业效果,转速过高动力消耗较大。以对行主动防堵装置刀轴为坐标系原点, x 轴正向为机具前进方向, y 轴正向垂直向下,犁刀端点运动轨迹方程^[18]为

$$\begin{cases} x = R\cos(\omega t) + vt \\ y = R\sin(\omega t) \\ \lambda = R\omega/v \end{cases} \quad (1)$$

式中 R ——犁刀回转半径, m

ω ——旋耕刀的角速度, rad/s

v ——机具前进速度, m/s

t ——机具前进时间, s

λ ——犁刀速比

犁刀刀轴转速为

$$n \geq 30(v_c + v)/[\pi(R - h)] \quad (2)$$

式中 n ——犁刀转速, r/min

v_c ——除茬速度, m/s

h ——耕深, mm

对行主动防堵装置的犁刀速比 λ 能较好反映作业效果, $\lambda > 1$ 时,犁刀的运动轨迹为余摆线,犁刀能够将秸秆与土壤向后抛起, λ 越大,作业效果越好,但功耗越大。因本研究中机组前进速度 $v \geq 2.22$ m/s,考虑到犁刀耕深与速比的关系,耕深 50 mm,常用速比 λ 为 4 ~ 10,取除茬速度 $v_c = 5.5$ m/s^[17],将上述数据代入式(1)、(2),可得犁刀转速 $n \geq$

378 r/min,速比为 4.36,可满足作业需求。

2.3 防堵犁刀对秸秆抛撒效果的影响

在耕作的过程中犁刀将小麦秸秆切断并拨离开沟器两侧,形成秸秆相对较少的苗带,便于开沟器作业。在运动过程中秸秆受到自身重力、空气阻力和小麦根茬的影响^[19-20],考虑到小麦秸秆与根茬之间相互作用比较复杂,为简化模型,忽略空气阻力以及根茬和秸秆的相互作用,对秸秆运动瞬时进行运动学分析,如图 4 所示。

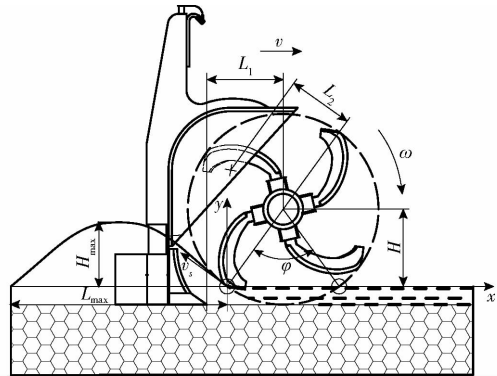


图 4 犁刀、开沟器、导流板三者相对位置和工作原理示意图

原理示意图

Fig. 4 Schematic of relative position and working principle of tiller, furrow opener and guide plate

犁刀在离开秸秆土层时秸秆被抛撒,初始点的瞬时速度 $v_s = 2\pi nR$,以犁刀离开秸秆土层时的位置为坐标原点建立坐标系,机具前进方向为 x 轴方向,秸秆抛撒出的垂直方向为 y , $H_{\max}$ 为秸秆抛出的最大高度, $L_{\max}$ 为秸秆向后抛出的最远距离,秸秆运动轨迹为

$$\begin{cases} x = -v_s \sin \frac{\varphi}{2} t \\ y = v_s \cos \frac{\varphi}{2} t + \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 φ ——犁刀耕作角

从而得秸秆在 x 轴方向上抛出距离 $L_{\max}$ 为

$$L_{\max} = v_s^2 \sin \varphi / g \quad (4)$$

秸秆被抛出时 y 轴方向上最大高度 $H_{\max}$ 为

$$H_{\max} = \frac{v_s^2 (1 + \cos \varphi)}{4g} \quad (5)$$

由式(4)、(5)可知,耕作角 φ 为 $\pi/4$ 时,满足 x 轴与 y 轴上的最远距离,当犁刀转速取最小值 378 r/min、回转半径取为 245 mm 时,将 $v_s = 9.7$ m/s 代入式(4)、(5)得到抛出距离为 6.78 m,抛出最大高度为 4.10 m。

2.4 防堵刀轴、导流板和开沟器三者的位置关系

播种机施肥方式为正位施肥,施肥开沟器采用芯铧与锄铲组合式,施肥后侧采用圆盘式开沟器可

有效保证播种播肥作业效率。导流板通过螺栓固定到开沟器的柱柄上,随着刀轴转动,防堵刀、导流板、开沟器三者的位置需保证耕刀与导流板不会产生干涉,耕刀可将开沟器两侧的秸秆分散到两侧,保证开沟器的平稳运行。如图 4 所示,耕刀刀轴与铲尖间距为 L_1 ,取值大于 200 mm,若两者相对位置较远,耕刀旋转过程中刀刃无法将开沟器两侧堆积秸秆抛出,会造成开沟器堵塞,影响播种施肥作业,由于导流板的存在,耕刀刀轴必须与铲尖的相对位置存在间隙;耕刀刀轴与导流板圆弧中心线间距为 L_2 ,取值大于 180 mm,保证耕刀旋转过程与导流板存在一定间隙,耕刀携带的土壤与秸秆不会随着耕刀的旋转堵塞导流板,刀轴与地面的间距为 H 。根据作业要求选取耕深一般为 50 mm, H 取值为 255 mm,作业幅宽为 150 mm。根据秸秆抛撒规律(式(3))选取 L_1 与 L_2 符合设计要求,可保证导流板正常工作。

2.5 防堵效果影响因素分析

以耕刀向外装与向内装两种排列方式进行土槽试验,试验过程中机具前进速度较小且相同,当耕刀转速达到要求时进行清秸试验,试验过程中秸秆覆盖量为 1.29 kg/m^2 ,耕深为 50 mm,耕刀转速分别为 300、400、500、600、700、800 r/min,试验采用高速摄像机技术(高速摄像设备为 OSC030-815UM 型工业用相机)分别从耕刀侧向与正向记录秸秆抛撒过程,同时通过 HCNJ-101 型扭矩传感器记录耕刀在不同情况下的转矩转速。

图 5 为耕刀转矩随转速变化散点图,由图 5 可知,在以一定前进速度进行土槽试验时,耕刀转矩随着转速增加而增加,当转速在一定范围内运转时,耕刀转矩变化较小,由于信号传输过程中存在误差,个别数据误差较大,但仍然可以看出耕刀向外安装更适用于浅旋播种作业,此时耕刀所受的阻力平均值相对较小。

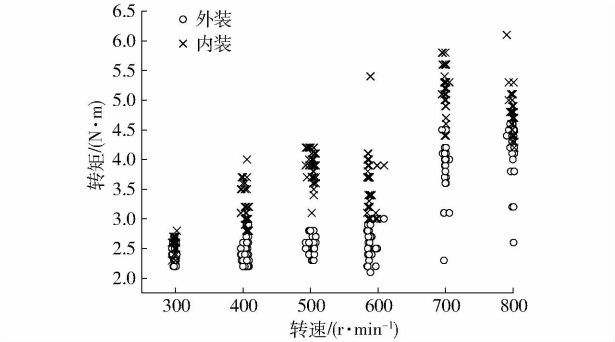


图 5 耕刀转速转矩散点图

Fig. 5 Speed and torque plot of rotary blade

图 6 为耕刀转速 500 r/min 时秸秆在耕刀作用下的运动状态,耕刀在以一定转速接触秸秆时,秸秆

层在耕刀的作用下向后抛撒,在一个耕刀旋转周期内,可完成秸秆层的部分分离。通过对土槽试验秸秆清理状况结果分析,耕刀转速在 400 r/min 时,可实现秸秆的侧向清秸,这与式(2)得出的结论相符。此外,在耕刀安装对比试验可以看出(图 7),内装耕刀向两侧清秸的能力弱于耕刀外装,综上可知耕刀外装更适用于秸秆清理。

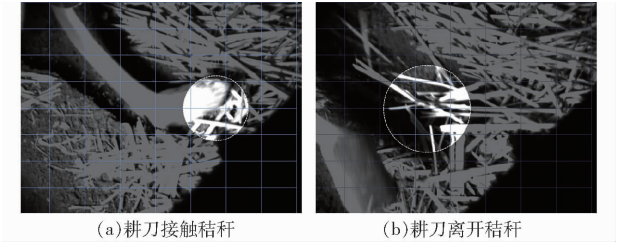


图 6 秸秆层运动状态

Fig. 6 Movement state of straw layer

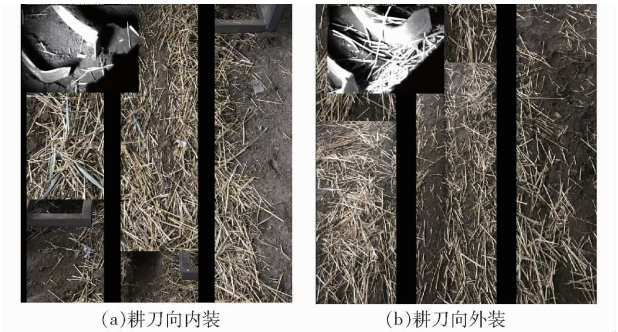


图 7 土槽试验秸秆清理情况

Fig. 7 Straw cleaning in soil tank test

3 离散元仿真分析

3.1 仿真模型建立

通过模拟条带对行主动式防堵装置在田间作业环境,建立以秸秆清秸率和动土率为主的评价指标,对影响作业性能的主要因素进行分析,确定最优的参数组合。运用离散元仿真软件 EDEM 建立防堵装置与秸秆、土壤间相互作用模型,可有效地确定防堵刀、导流板与开沟器三者的位置关系合理性以及秸秆的运动特性;在秸秆量一定的情况下分析刀轴间距、刀轴转速、前进速度三者的关系,可有效确定装置运动参数设计的合理性。

为提高计算机软件处理效率,在进行模型构建时简化模型。根据仿真试验要求建立土槽简化模型,土槽尺寸为 4 400 mm(长) × 600 mm(宽) × 100 mm(高),其中秸秆、土壤覆盖整个土槽模型,土壤颗粒直径设置为 8 mm,由于秸秆粉碎结果不同,根据小麦收获机秸秆粉碎的长度要求小于等于 150 mm^[21],为简化模型采用直径为 10 mm、球心间距为 5 mm 的球体组合成总长为 100 mm 的长线型模型作为粉碎秸秆模型。材料间、材料与几何体之

间的力学接触模型采用 Hertz - Mindlin (no slip) 模型, 秸秆颗粒、装置、土壤的相关材料与接触参数, 如表 1 所示^[9, 12, 22]。

表 1 材料参数和材料间接触参数

Tab.1 Material parameters and contact parameters between materials

参数	数值
土壤颗粒半径 R_1/mm	4
土壤密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	1 850
土壤泊松比 μ	0.38
土壤剪切模量 G/Pa	1.0×10^6
秸秆颗粒半径 R_2/mm	5
秸秆密度 $\rho_1/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	241
秸秆泊松比 μ_1	0.4
秸秆剪切模量 G_1/Pa	1.0×10^6
装置密度 $\rho_2/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	7 865
装置泊松比 μ_2	0.3
装置剪切模量 G_2/Pa	7.9×10^{10}
土壤-土壤恢复系数 e	0.6
土壤-装置恢复系数 e_1	0.6
土壤-秸秆恢复系数 e_2	0.5
装置-秸秆恢复系数 e_3	0.6
秸秆-秸秆恢复系数 e_4	0.3
土壤-土壤静摩擦因数 f_s	0.6
土壤-装置静摩擦因数 f_{s1}	0.6
土壤-秸秆静摩擦因数 f_{s2}	0.5
装置-秸秆静摩擦因数 f_{s3}	0.3
秸秆-秸秆静摩擦因数 f_{s4}	0.3
土壤-土壤滚动摩擦因数 f_d	0.4
土壤-装置滚动摩擦因数 f_{d1}	0.05
土壤-秸秆滚动摩擦因数 f_{d2}	0.01
装置-秸秆滚动摩擦因数 f_{d3}	0.01
秸秆-秸秆滚动摩擦因数 f_{d4}	0.02

3.2 仿真试验方法

土槽模型内静态填充尽可能多的土壤颗粒和秸秆颗粒 1 000 个, 静态填充后土壤颗粒约占土槽容积的 50%, 秸秆位于土壤上层。为保证开沟深度 (50 mm), 开沟器底面与刀轴轴心间距为 255 mm, 以相邻两刀刀轴间距、刀轴转速和机具前进速度为试验因素, 以秸秆清秸率和动土率为评价指标进行试验。试验因素水平如表 2 所示。

表 2 试验因素和水平

Tab.2 Test factors and levels

水平	因素		
	刀轴间距/	刀轴转速/	机具前进速度/
	mm	($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)
1	50	400	7
2	70	600	8
3	90	800	9

通过仿真软件的 clipping 功能, 在 $X-Z$ 平面测量土壤与秸秆在开沟器通过后的沟宽与沟深, 测定如图 8 所示, 动土率^[23]计算公式为

$$D = \frac{k}{w} \times 100\% \tag{6}$$

式中 D ——动土率, %
 k ——沟宽, mm
 w ——幅宽, mm, 取 600 mm

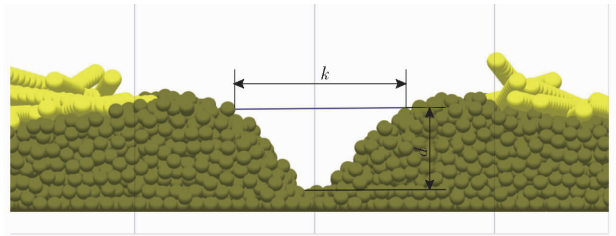


图 8 动土率测定
Fig. 8 Soil disturbance measurement

将仿真模块 Y 方向划分为 3 网格, X 方向划分为 6 网格, 选取并统计装置前进方向某一时间上同一位置网格上未耕作网格、耕刀耕作后和开沟器耕作后该网格上秸秆的根数, 清秸率测定如图 9 所示, 秸秆清秸率计算公式为

$$P = \frac{C - C_1}{C} \times 100\% \tag{7}$$

式中 P ——秸秆清秸率, %
 C_1 ——耕刀耕作网格上秸秆的根数, 根
 C ——未耕作网格上秸秆的根数, 根

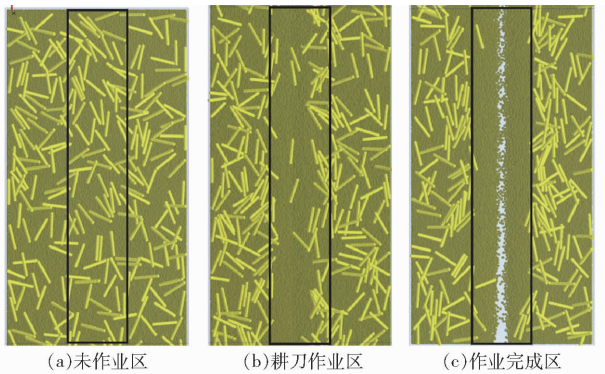


图 9 清秸率测定

Fig. 9 Determination of straw removal rate

3.3 仿真结果分析

3.3.1 防堵装置秸秆运动分析

图 10 为防堵装置与秸秆、土壤作用过程中秸秆移动的状态图, 图中箭头方向表示速度方向, 仿真过程中耕刀轴向间距为 90 mm、转速为 800 r/min、前进速度为 8 km/h。由图 10a 可以看出, 秸秆在防堵刀的带动下沿导流板装置抛出, 抛出速度最大为 20.1 m/s, 由图 10b、10c 可以看出, 同一时间上 X 方向分速度大于 Y 方向分速度, 但在耕刀运转过程中

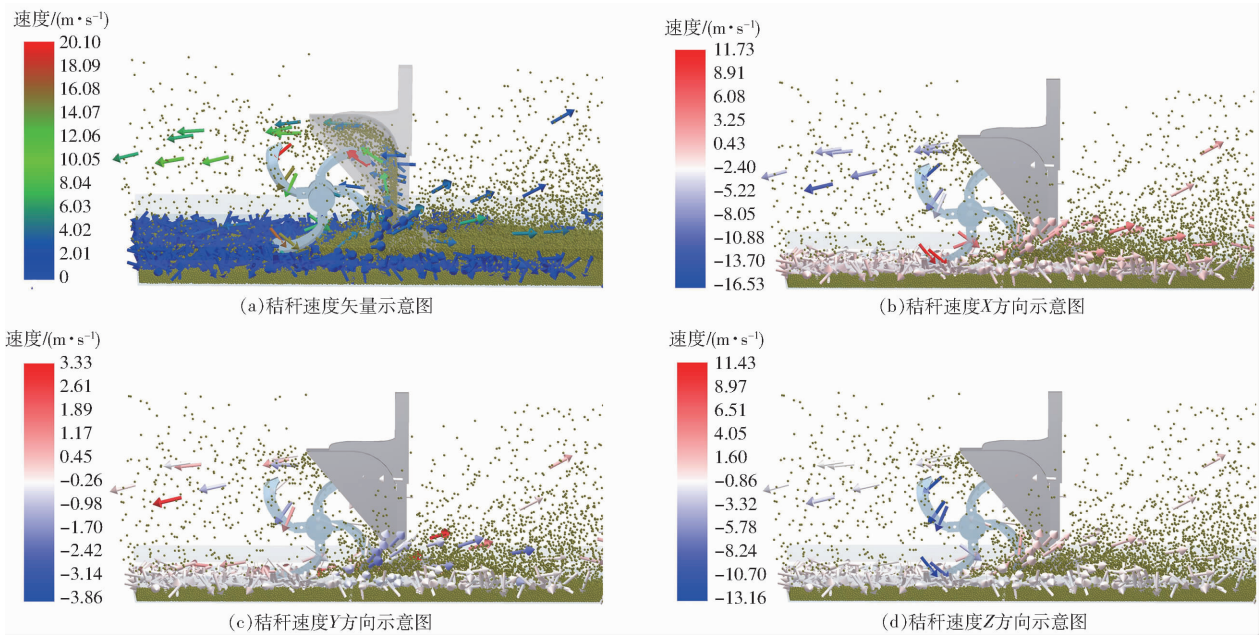


图 10 防堵装置仿真示意图
Fig. 10 Simulation diagrams of anti blocking device

Y 方向分速度是实现秸秆侧向位移的关键,在防堵装置的作用下,秸秆可实现侧向抛出。

3.3.2 防堵性能分析

由表 3 可知,仿真因素对秸秆清秸率影响较大,对动土率影响相对较小,经综合平衡法确定因素对指标影响由大到小为刀轴转速 B 、机具前进速度 C 、刀轴间距 A ,最后得到较优因素组合为 $B_3A_2C_1$,即在刀轴转速为 800 r/min、刀轴间距为 70 mm、机组前进速度为 7 km/h 时作业条件最佳。

表 3 试验方案与极差分析

Tab.3 Test scheme and range analysis					
试验号	因素			秸秆清	动土率/
	A	B	C	秸率/%	%
1	1	1	1	86.67	45.00
2	1	2	2	95.24	48.33
3	1	3	3	93.33	50.50
4	2	1	2	85.71	43.33
5	2	2	3	94.77	50.00
6	2	3	1	98.44	41.67
7	3	1	3	81.67	45.00
8	3	2	1	90.48	46.67
9	3	3	2	91.93	48.33
秸秆清秸率	I	275.24	254.05	275.59	因素主次: $B、A、C$ 较优作业情况: $B_3A_2C_1$
	II	278.92	280.49	272.88	
	III	264.08	283.70	269.77	
	R	14.84	29.65	5.82	
动土率	I	143.83	133.33	133.33	因素主次: $C、B、A$ 较优作业情况: $C_1B_1A_2$
	II	135.00	145.00	140.00	
	III	140.00	140.50	145.50	
	R	8.83	11.67	12.17	

4 田间试验与结果分析

4.1 试验条件

试验样机在山东亚沃农业机械有限公司试制,试验于 2018 年 6 月 22 日在青岛平度市蓼兰镇进行(图 11)。试验地为一年两熟免耕播种地,前茬作物为小麦,收获后秸秆粉碎还田,秸秆留茬高度 20 cm。收获机粉碎秸秆成条铺放,平均秸秆覆盖量 0.78 kg/m^2 ,成条铺放区域秸秆量高达 1.02 kg/m^2 ,秸秆表层含水率较低 9.88%,平均含水率为 12.83%。土壤 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 土层内土壤平均含水率以及土壤紧实度分别为 12.18%、16.54%、17.18% 和 1.5、2.0、3.5 MPa。田间试验时刀轴转速为 800 r/min,旋耕深度为 50 mm,施肥开沟深度为 70 mm,前进速度为 7、8、9 km/h。

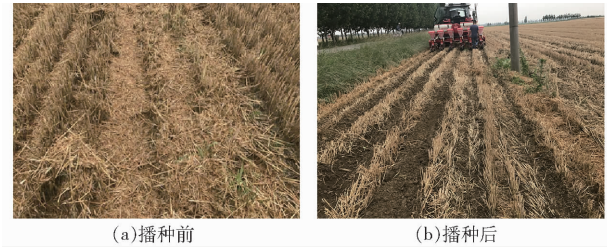


图 11 田间播种机试验
Fig. 11 Field seeder test

4.2 试验内容与方法

试验过程中各个指标的测量方法如下^[23-26]:(1)通过性测定。按照正常的作业速度前进,观察机具在作业过程中能否正常作业,记录机具堵塞的次数,本试验采用 3 种作业速度,每种作业速度

下作业行程 60 m 为 1 组,共记录 15 组,主要对条带铺放秸秆量大的播种带进行记录。

(2) 秸秆清秸率测定。在测试区内随机选取 5 个点,每个点取 1 m²,收集浮在地表的秸秆,称其质量,计算作业前后秸秆质量的变化。

(3) 动土率(少耕)的测定。少免耕作业要求对土壤扰动要小,以正常速度播种后,在测量播种深度的同时,测量检验区域内两个工作幅宽上的动土宽度,每幅宽随机测定 3 处,计算动土宽度占测区宽度的百分比,此试验为测定 6 个区域内的平均值即为本样机的动土率。

4.3 试验结果与分析

4.3.1 播种防堵试验

条带对行主动式玉米免耕播种机防堵装置试验结果表明,在小麦残茬覆盖率不小于 40% 或小麦残茬覆盖量 0.3 ~ 0.6 kg/m² (秸秆含水率不大于 25%) 的条件下,能按照规定的作业速度作业,不发生重度堵塞。试验结果如表 4 所示,随前进速度增加,通过性能变差,在前进速度为 9 km/h 时发生堵塞,主要表现在施肥开沟器堵塞播种机,在 7、8 km/h 播种机无堵塞,满足免耕施肥播种机的通过性能要求,试验表明播种机上防堵装置可行。

表 4 防堵田间试验结果

Tab.4 Field test results of anti blocking

序号	作业速度/(km·h ⁻¹)		
	7	8	9
1	无堵塞	无堵塞	无堵塞
2	无堵塞	无堵塞	无堵塞
3	无堵塞	无堵塞	无堵塞
4	无堵塞	无堵塞	无堵塞
5	无堵塞	无堵塞	轻度堵塞

4.3.2 秸秆清秸率试验

条带对行主动式玉米免耕播种机防堵装置秸秆清秸率田间试验结果如表 5 所示。

表 5 秸秆清秸率田间试验结果

Tab.5 Field test results of straw cleaning rate

序号	作业前秸秆总质量/(kg·m ⁻²)	作业后秸秆总质量/(kg·m ⁻²)	秸秆清秸率/%
1	0.72	0.05	93.06
2	0.85	0.10	88.24
3	0.76	0.05	93.42
4	0.82	0.08	90.24
5	0.70	0.04	94.29

采用加装秸秆清理装置的免耕播种机,在前进速度为 8 km/h 进行播种作业,对秸秆清秸率进行测

试,秸秆清秸率为 91.85%,表明该装置可有效实现苗带的快速清理,保证播种质量,苗带上的秸秆被分离到开沟器两侧,苗带上残留的秸秆较少,可有效地减少后期的玉米虫害。

4.3.3 动土率测试结果与分析

条带对行主动式玉米免耕播种机防堵装置动土率田间试验结果如表 6 所示。在前进速度为 8 km/h,施肥开沟器沟深为 70 mm,防堵装置动土宽度为 150 mm 时进行播种作业,沟深稳定性为 86.67%,动土率为 26.47%,表明该防堵装置可有效地减少土壤扰动量,保证高速作业时施肥播种作业深度的稳定。

表 6 动土率试验结果

Tab.6 Test results of soil breaking rate

序号	动土宽度 k/mm	沟深 d/mm	动土率 D/%	稳定性/%
1	153	80	25.50	85.71
2	161	90	26.83	71.43
3	145	68	24.17	97.14
4	165	86	27.50	77.14
5	171	65	28.50	92.86
6	158	73	26.33	95.71
均值	158.83	77.00	26.47	86.67

注:稳定性为(1-|d-70|/70)×100%。

5 结论

(1) 设计了条带对行主动式玉米免耕播种防堵装置,可有效降低动土量与功耗,对麦秸地秸秆还田量较大地区,可实现苗带秸秆快速分离与侧向抛出,适用于中小型(4~8 行)玉米免耕播种机。

(2) 通过理论分析以及土槽试验验证在耕深、前进速度、土壤状况等因素一定的情况下,耕刀转速达到 400 r/min 时,即可满足作业需求,耕刀外装在清秸与耕刀受力上更优于耕刀内装。多因素离散元仿真试验结果表明,对秸秆清秸率影响由大到小为刀轴转速、刀轴间距和机具前进速度。在刀轴转速为 800 r/min、刀轴间距为 70 mm、机具前进速度为 7 km/h 时效果最优。

(3) 田间试验结果表明,条带对行主动式玉米免耕播种机防堵装置,在秸秆覆盖量 1.02 kg/m²,前进速度为 8 km/h 时,秸秆清秸率为 91.85%,沟深稳定性为 86.67%,动土率为 26.47%,表明该防堵装置可有效减少土壤扰动量,保证高速作业时施肥播种作业深度的稳定,可满足黄淮海地区小麦秸秆覆盖地玉米免耕播种机高速作业要求。

参考文献

- [1] 胡强松. 小麦秸秆机械化全量还田探讨[J]. 现代农业科技, 2015(18): 262-263.
- [2] 高娜娜. 一年两熟地区拔草与分草组合式玉米免耕播种防堵技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
GAO Nana. Study on anti-blocking technology of pushing and separating approaches for maize no-till planting in two-crops-a-year areas[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [3] TORBERT H A, INGRAM J T, PRIOR S A. Planter aid for heavy residue conservation tillage systems[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(2): 478-480.
- [4] NEGADI J, RAOUFAT M H. Field performance of a pneumatic row crop planter equipped with active toothed coulter for direct planting of corn in wheat residue[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2013, 11(2): 327.
- [5] 范旭辉, 贾洪雷, 张伟汉, 等. 免耕播种机仿形爪式防堵清茬机构参数分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 56-60.
FAN Xuhui, JIA Honglei, ZHANG Weihai, et al. Parametric analysis of finger-type anti-blocking residue-cleaner for no-till planting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 56-60. (in Chinese)
- [6] 王奇, 贾洪雷, 朱龙图, 等. 免耕播种机星齿凹面盘式清秸防堵装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 68-77.
WANG Qi, JIA Honglei, ZHU Longtu, et al. Design and experiment of star-toothed concave disk row cleaners for no-till planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 68-77. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190208&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.02.008. (in Chinese)
- [7] 贾洪雷, 刘行, 余海波, 等. 免耕播种机凹面爪式清茬机构仿真与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(11): 68-77.
JIA Honglei, LIU Hang, YU Haibo, et al. Simulation and experiment on stubble clearance mechanism with concave claw-type for no tillage planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(11): 68-77. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20181108&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.11.008. (in Chinese)
- [8] 何进, 李洪文, 陈海涛, 等. 保护性耕作技术与机具研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 1-19.
HE Jin, LI Hongwen, CHEN Haitao, et al. Research progress of conservation tillage technology and machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 1-19. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180401&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.001. (in Chinese)
- [9] MATIN M A, FIELKE J M, DESBIOLLES J M A. Furrow parameters in rotary strip-tillage: effect of blade geometry and rotary speed[J]. Biosystems Engineering, 2014, 118: 7-15.
- [10] MATIN M A, DESBIOLLES J M A, FIELKE J M. Strip-tillage using rotating straight blades: effect of cutting edge geometry on furrow parameters[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 155: 271-279.
- [11] 陈青春, 石勇, 丁启朔, 等. 正反转旋耕作业的秸秆混埋效果比较[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 13-18.
CHEN Qingchun, SHI Yong, DING Qishuo, et al. Comparison of straw incorporation effect with down-cut and up-cut rotary tillage[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9): 13-18. (in Chinese)
- [12] 郭俊. 秸秆还田机—锯齿刀和旋耕刀作业性能研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
GUO Jun. Research on working performance of serrated and rotary blades based on straw returning to field machine[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [13] 王汉羊, 陈海涛, 纪文义. 2BMFJ-3型麦茬地免耕精播机防堵装置[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 64-70.
WANG Hanyang, CHEN Haitao, JI Wenyi. Anti-blocking mechanism of type 2BMFJ-3 no-till precision planter for wheat stubble fields[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 64-70. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130412&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.04.012. (in Chinese)
- [14] 王伟伟, 朱存玺, 陈黎卿, 等. 玉米免耕播种机主动式秸秆移位防堵装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 10-17.
WANG Weiwei, ZHU Cunxi, CHEN Liqing, et al. Design and experiment of active straw-removing anti-blocking device for maize no-tillage planter[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(24): 10-17. (in Chinese)
- [15] 牛萌萌, 方会敏, CHANDIO F A, 等. 秸秆分拨引导式玉米免耕防堵机构设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 52-58.
NIU Mengmeng, FANG Huimin, CHANDIO F A, et al. Design and experiment of separating-guiding anti-blocking mechanism for no-tillage maize planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 52-58. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190806&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.006. (in Chinese)
- [16] 史乃煜, 陈海涛, 王星, 等. 弹齿式清秸装置防止残茬回带机构设计与试验优化[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(4): 84-91.
SHI Naiyu, CHEN Haitao, WANG Xing, et al. Design and experiment optimization of prevent bring back stubble mechanism of spring-tooth type cleaning device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(4): 84-91. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190410&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.04.010. (in Chinese)

- j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20140414&journal_id = jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2014. 04. 014 (in Chinese)
- [19] 王霞霞. 嫁接用苗培育系统及外观特征检测方法的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
WANG Xiaxia. Research on environmental regulation method and external features detection of grafting seedlings [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014. (in Chinese)
- [20] 张雷, 贺虎, 武传宇. 蔬菜嫁接机器人嫁接苗特征参数的视觉测量方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 32–38.
ZHANG Lei, HE Hu, WU Chuanyu. Vision method for measuring grafted seedling properties of vegetable grafted robot[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9): 32–38. (in Chinese)
- [21] 彭曙. 基于视觉的穴盘苗茎参数盘上检测装置研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2017.
PENG Shu. Study on a vision based detecting device for stem parameter of hole tray seedlings[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2017. (in Chinese)
- [22] 姜凯, 郑文刚, 张骞, 等. 蔬菜嫁接机器人研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 8–14.
JIANG Kai, ZHENG Wengang, ZHANG Qian, et al. Development and experiment of vegetable grafting robot[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 8–14. (in Chinese)
- [23] 姜凯, 郑文刚, 张骞, 等. 蔬菜嫁接机器人切削装置设计与试验[J]. 农机化研究, 2012, 34(2): 76–79, 83.
JIANG Kai, ZHENG Wengang, ZHANG Qian, et al. Design and experiment of grafting robot cutting device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(2): 76–79, 83. (in Chinese)
- [24] 姜凯. 瓜类贴接式机械嫁接机理及装置试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
JIANG Kai. Study on mechanism and experimental device of splice mechanical grafting of cucurbit[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [25] 牟英辉, 辜松, 马稚昱. 瓜类嫁接苗生物力学特性的试验分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 15–20.
MU Yinghui, GU Song, MA Zhiyu. Experimental analysis on biomechanical properties of cucurbits[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 15–20. (in Chinese)
-

(上接第 62 页)

- [17] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [18] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [19] 侯守印, 陈海涛, 邹震, 等. 玉米原茬地侧向清茬刀设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(2): 59–69.
HOU Shouyin, CHEN Haitao, ZOU Zhen, et al. Design and test of lateral stubble cleaning blade for corn stubble field[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(2): 59–69. (in Chinese)
- [20] 侯守印, 陈海涛, 邹震, 等. 原茬地种床整备侧向滑切清秸刀齿设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 41–51, 217.
HOU Shouyin, CHEN Haitao, ZOU Zhen, et al. Design and test of side-direction straw-cleaning blade for seedbed treatment of original stubble planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 41–51, 217. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20190605&journal_id = jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2019. 06. 005. \(in Chinese\)](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20190605&journal_id = jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2019. 06. 005. (in Chinese)
- [21] 山东省农机化创新示范工程机械化生产作业技术规范. <https://wenku.baidu.com/view/d4c83e5470fe910ef12d2a90242a8956aecaa26.html>
- [22] 方会敏. 基于离散元法的秸秆-土壤-旋耕刀相互作用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
FANG Huimin. Research on the straw-soil-rotary blade interaction using discrete element method[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [23] 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/T2 0865—2017 免(少)耕施肥播种[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [24] 罗伟文, 胡志超, 吴峰, 等. 全秸硬茬地小麦播种机碎秸导流装置参数设计与优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(18): 1–10.
LUO Weiwen, HU Zhichao, WU Feng, et al. Design and optimization for smashed straw guide device of wheat clean area planter under full straw field[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(18): 1–10. (in Chinese)
- [25] 赵宏波, 何进, 李洪文, 等. 条带式旋切后抛防堵装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 65–75.
ZHAO Hongbo, HE Jin, LI Hongwen, et al. Design and experiment of strip rotary-cut-throw anti-blocking implement[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 65–75. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20180508&journal_id = jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2018. 05. 008. \(in Chinese\)](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20180508&journal_id = jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2018. 05. 008. (in Chinese)
- [26] 中华人民共和国工业和信息化部. JB/T 10293—2013 单粒(精密)播种机技术条件[S]. 北京: 机械工业出版社, 2013.