

驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构设计*

高娜娜 张东兴 杨 丽 崔 涛
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 设计了驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构,并对其关键部件参数进行了仿真模拟与田间试验。仿真结果显示,直径150 mm、速比1.24的5杆抛物线型驱动分禾杆能较好地满足拨草的要求;弧度半径为750 mm的凸形分禾栅板对秸秆层分流能力最佳。田间试验表明,配备有驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构的2BYJMFQC-4型玉米免耕播种机的通过性、播种质量、种肥深度合格率等指标均达到了国家相关检测标准要求。设计的驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构能有效防止秸秆杂草等对开沟器的堵塞。

关键词: 免耕播种机 驱动分禾杆 被动分禾栅板 绕流 仿真

中图分类号: S223.2⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0085-07

引言

保护性耕作以秸秆、残茬覆盖和免耕播种为核心。其中,免耕播种技术是在秸秆覆盖的地表直接进行开沟、施肥、播种和镇压的技术^[1-3]。该项技术具有保墒、增加土壤肥力、减少水蚀和风蚀、抑制沙尘暴、减少作业工序、降低作业成本和增加农民收入等显著的经济、社会与生态效益。因此,发展免耕播种能有效促进我国农业可持续发展^[4-9]。

秸秆覆盖和免耕播种容易造成普通开沟器入土困难、秸秆缠绕或开沟器之间堵塞,为此要求免耕播种机必须具有较强的防堵性能^[10-11]。我国华北一年两熟作区小麦茬地上免耕播种玉米时,由于小麦秸秆量大、割茬高、粉碎不均匀,播种作业时大量柔软潮湿的麦秸秆易缠绕开沟部件或壅堵于相邻开沟器之间,严重影响了生产效率和播种质量^[12]。

目前,黄淮海一年两熟地区主要采用高速旋转的切割器对秸秆进行切割粉碎并抛洒或靠机具重力切茬或使用被动滚筒防堵装置拨草,这些方法由于动力消耗大、机具重量不足、适应性差而无法适应该地区免耕播种的要求^[13-15]。本文采用拨草的方法设计驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构,并进行参数仿真优化和田间性能试验。

1 结构与工作原理

驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构主要由尖角施肥开沟装置、驱动分禾杆、分禾栅板、双圆盘播种开沟装置、锥齿轮传动系统等组成,如图1

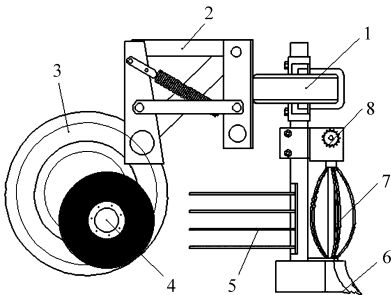


图1 防堵机构示意图

Fig.1 Schematic diagram of anti-blocking mechanism

1. 机架 2. 平行四连杆 3. 地轮 4. 双圆盘播种开沟器 5. 分禾栅板 6. 尖角施肥开沟器 7. 驱动分禾杆 8. 锥齿轮传动系统

所示。将该机构置于2BYJMFQC-4型玉米精量免耕播种机上。开沟铲柄由U型卡固定在矩形机架上,驱动分禾杆是数根抛物线型分禾杆焊接于一钢管四周形成的滚筒,其安装于开沟铲柄前方、尖角施肥开沟器上方,分禾栅板固定于开沟铲柄后,双圆盘播种开沟装置则位于种箱下方,种箱与机架由平行四连杆机构连接,以适应地形的变化,保证播深一致。锥齿轮和链轮传动系统将地轮的动力传递给驱动分禾杆,作业过程中驱动分禾杆主动、连续地转动

收稿日期: 2013-07-17 修回日期: 2013-08-05

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD08B01-3)、国家现代玉米产业技术体系建设资助项目(CARS-02)和农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室资助项目

作者简介: 高娜娜, 博士生, 主要从事保护性耕作免耕播种机研究, E-mail: 2015nana@163.com

通讯作者: 杨丽, 副教授, 博士生导师, 主要从事玉米生产机械和农业装备研究, E-mail: yl_hb68@126.com

拔草。

2BYJMFQC-4 型玉米免耕播种机采用三点悬挂与 29.4 kW 拖拉机挂接,拖拉机提供牵引力和风机动力。作业时,地轮通过链传动及锥齿轮传动系统驱动分禾杆不间断地旋转,将前方秸秆分开并拨离开器;分禾栅板利用自身形状特点,将驱动分禾杆甩出的秸秆分流至种带外侧,保证种沟清洁。

2 驱动分禾杆参数设计与仿真优化

2.1 驱动分禾杆关键参数设计

机具在前进作业中,若其上某些部件绕自身轴回转,则这些部件相对地面的绝对运动由机具的前进运动和本身的回转运动所合成,这种合成运动的轨迹为摆线,其运动方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \cos \omega t \\ y = -R \sin \omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中 v_m ——播种机前进速度, m/s
 R ——分禾杆回转半径, m
 ω ——回转角速度, rad/s
 t ——时间, s

对时间 t 求一阶导,得出 x 、 y 方向分速度 v_x 、 v_y 分别为

$$\begin{cases} v_x = v_m - \omega R \sin \omega t \\ v_y = -\omega R \cos \omega t \end{cases} \quad (2)$$

防堵装置中驱动分禾杆的运动轨迹为摆线,分析与试验证明,抛物线型分禾杆阻力小、绕流性能好^[16]。故要使其在前进过程中将秸秆拨离种带就必须使其与秸秆接触点的绝对水平分速度方向与机器前进速度方向相反,即 $v_x < 0$ 。而驱动分禾杆运动轨迹即摆线的形状取决于速比 λ ,即分禾杆与秸秆接触点处的圆周速度 v_b 与机器前进速度 v_m 的比值

$$\lambda = \frac{v_b}{v_m} = \frac{2\pi R n}{2\pi R' n'} = \frac{R}{R' i} \quad (3)$$

式中 n ——分禾杆转速, r/min
 R' ——地轮回转半径, m
 n' ——地轮转速, r/min
 i ——传动系统总传动比

可看出速比 λ 与传动系统的总传动比 i 呈反比。

驱动分禾杆能拨开秸秆必要条件是速比 $\lambda > 1$ 。此时分禾杆轨迹如图 2 所示,形成了环扣,在环扣下部即环扣最长横弦 AA' 下方,分禾杆具有向后的水平分速度。

图 2 显示 ABA' 范围有向后的速度水平分量,则拨草的范围为最大横弦长度

$$\Delta X = L_{AA_1} = \frac{2R}{\lambda} [\arcsin(1/\lambda) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi/2] \quad (4)$$

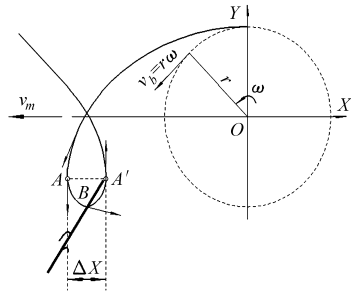


图 2 速比大于 1 的摆线图

Fig. 2 Cycloidal curve when speed ratio more than 1

定义驱动分禾杆旋转一圈的拨草范围 S_z 与机器前进距离 S 的比值为作用程度 η ,则有

$$\eta = \frac{S_z}{S} = \frac{\Delta X z n}{60 v_m} = \frac{z}{\pi} [\arcsin(1/\lambda) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi/2] \quad (5)$$

式中 z ——分禾杆杆数

从式(5)可以判断,作用程度越大分禾杆拨草范围越大,故要增加作用程度,必须加大 z 和 λ ;从式(3)可知,要增大 λ 须加大 R 减小 i ,综合看来,要提高分禾杆拨草作用程度就要增加 z 、 R ,减小 i 。考虑防堵装置结构、安装位置和小麦秸秆情况,分禾杆半径 R 受空间制约,不宜太大;结合流体力学分析与经验推断分禾杆杆数 z 只能在一定范围内增加;同时,传动比降低意味着转速加大,但转速太大会导致功耗增加,地轮负载增加;因此需要综合分析各影响因素得出驱动分禾杆防堵单元参数的最优组合。分别计算驱动分禾杆按表 1 各因素的水平相应作用程度,并利用统计分析软件研究各参数对拨草效果影响的显著性,为下一步仿真与试验提供理论依据。

表 1 驱动分禾杆参数因素水平

Tab. 1 Factors level of driven divider parameters

水平	直径/mm	杆数	系统传动比
1	90	3	0.17
2	110	4	0.20
3	130	5	0.23
4	150	6	0.26

SPSS 分析结果如表 2 所示,可知传动比对作用程度的影响最显著,分禾杆杆数次之,直径影响不显著。

2.2 驱动分禾杆驱动运动学参数仿真分析

对表 1 所提供各因素的水平进行单因素变量仿真分析。绘制前进速度 4 km/h、直径 130 mm 的驱动分禾杆在速比为 0.82、1.00、1.13、1.24、1.53 时最大弧度处点的轨迹,结果表明速比大于 1 时形成余摆线,绕扣大小与速比呈正比。图 3 为不同速比时各水平分速度。可以看出,只有在速度零线以下的部分才有拨草的功能。

表 2 驱动分禾杆参数显著性分析结果

Tab.2 Consequence of significance analysis of driven divider parameters

方差来源	平方和	自由度	均方和	<i>F</i>	<i>P</i>
修正模型	4 729. 469 ^a	9	525. 497	25. 709	0. 000
截距	4 067. 857	1	4 067. 857	199. 012	0. 000
<i>i</i>	4 333. 498	3	1 444. 499	70. 669	0. 000
<i>R</i>	144. 861	3	48. 287	2. 362	0. 170
<i>z</i>	251. 110	3	83. 703	4. 095	0. 067
误差	122. 642	6	20. 440		
总变异	8 919. 968	16			
修正总变异	4 852. 111	15			

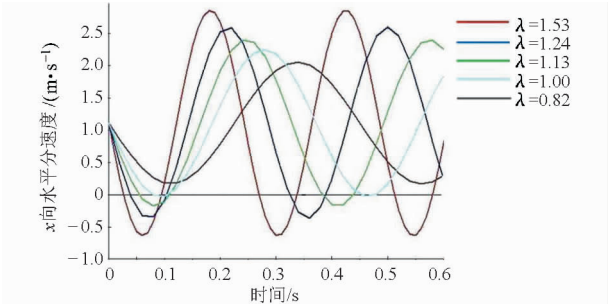


图 3 驱动分禾杆不同速比时的水平分速度

Fig.3 Horizontal component of velocity when speed ratio is different

由式(5)知分禾杆杆数越多,拨草作用程度越大,为分析杆数对拨草效果的影响,在 ADAMS 中分别导入 3、4、5、6 杆模型,分禾杆直径取 130 mm,速比设定 1.24 进行仿真。对比不同杆数水平分速度的分布情况,如图 4 所示。若分禾杆相邻两速度的交点位于速度零线上方,表明该种分禾杆在拨草时有间断,有推着秸秆前进的现象;若交点位于零线下方,说明该种分禾杆在旋转过程中全程拨草无间断。由图 4 可以看出,当达到 5 杆时驱动分禾杆拨草无间断,然而杆数过多会增加生产成本及加工难度,故选 5 杆即可满足作业需求。

增大分禾杆整体直径时,作用程度也随之增加,对速比为 1.24,直径为 90、110、130、150 mm 时驱动分禾杆进行仿真,结果如图 5 所示。可以看出随着直径增加,水平分速度也增加,但直径的变化并不对轨迹在前进方向上的形状产生影响,与 SPSS 分析相吻合。

从以上分析可以看出,速比决定驱动分禾杆运动轨迹,速比越大形成的绕扣就越大,拨草范围越大。当速比固定为 1.24 时,不同杆数的驱动分禾杆最大弧度处水平分速度极值是相同的,但杆数不同,相邻杆水平速度的交点位置就不同,杆数为 3 和 4 时,交点位于零线上方,说明此时分禾杆在拨草时有间断;杆数多于 4 根时,交点位于零线下方,此时分

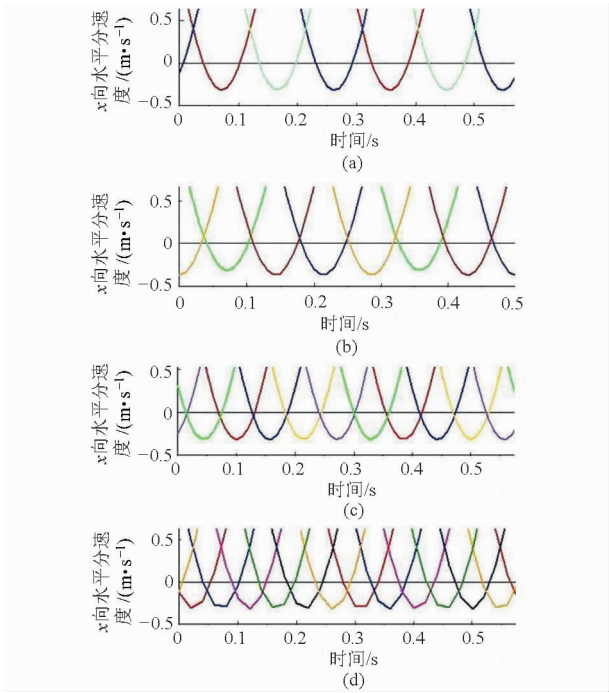


图 4 不同杆数驱动分禾杆的水平分速度

Fig.4 Horizontal component of velocity when stick number is different

(a) 3 杆 (b) 4 杆 (c) 5 杆 (d) 6 杆

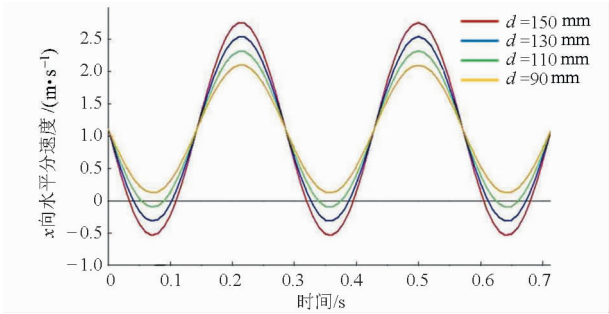


图 5 不同直径的驱动分禾杆水平分速度

Fig.5 Horizontal component of velocity when diameter is different

禾杆在旋转过程中全程拨草无间断。速比固定为 1.24 时研究驱动分禾杆在不同直径下某一根杆水平速度的变化,得出水平分速度随直径增加而增大。综合以上分析,确定驱动分禾杆最优参数为速比 1.24,杆数 5,直径 150 mm。

3 分禾栅板参数设计与仿真分析

3.1 分禾栅板的关键参数

分禾栅板的功能是利用自身形状特点,将前方驱动分禾杆甩出的秸秆顺利分流,防止其落在双圆盘前进方向上而造成晾籽,影响播种质量。同时,将秸秆分流引导至远离种带的相邻种行间,保证种子所在区域只有较小的覆盖量,以减少病虫害的发生^[17-18]。分禾栅板稳定工作的过程可看作秸秆流匀速流过具有一定形状的固体壁面(即静止的分禾

栅板),通过分析分禾栅板不同参数对流场的影响进而确定其最佳参数。

本研究将秸秆视为流体^[16],依据连续介质假设原理将流体视为连续介质^[19]。流体力学一般将流体抽象和假设为不可压缩、无黏性的理想流体,而事实上流体均有一定程度的压缩性和黏性。黏性形成流体的内摩擦,是流体运动时产生阻力的根源。谷谒白等将秸秆的黏性称为“相当黏性”,并测算出其密度及动力黏度^[20]。

根据边界层理论可知,黏性流体紧贴固体表面流动时,黏性阻力和压差阻力会阻碍流体的流动甚至导致流体与固体壁面分离。研究表明,流体流过不同形状的固体壁面时,流体动力特性不同,阻力及分离点位置也因此发生变化^[21]。分禾栅板由数根等间隔的杆左、右对称布置构成,分禾栅板的高度、长度、相邻杆间距等已由其安装位置、作用范围及其他相关部件决定,而形状参数是影响分禾栅板工作性能的主要参数。为了选择有利于分禾栅板分流的形状,对5种类型的分禾栅板(图6)进行绕流模拟分析。

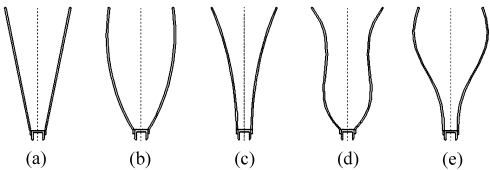


图6 5种不同形状的分禾栅板示意图

Fig.6 Schematic diagram of 5 kinds of residue separating device with different shapes

(a) 直杆 (b) 凸杆 (c) 凹杆 (d) 凸-凹杆 (e) 凹-凸杆

3.2 秸秆绕分禾栅板流动的 CFD 仿真分析

计算流体动力学(Computational fluid dynamics, CFD)是通过计算机数值计算和图像显示,对包含有流体流动和热传导等相关物理现象的系统所做的分析。Fluent 是一个用于模拟和分析在复杂几何区域内的流体流动与热交换问题的专用 CFD 软件。

3.2.1 模型建立

在 Gambit 中依照点、线、面的原则建立 5 种形状分禾杆的二维模型,确定流场范围,并模型划分为非结构化四边形网格,定义进口、出口及壁面边界类型。进口边界为速度进口型,出口边界设置为流量出口型,分禾栅板作为固体壁面。将以上结果输出为 .msh 型网格文件。

3.2.2 求解过程

Gambit 输出的网格文件导入 Fluent 求解器中,检查网格,以确保最小体积不能为负。控制方程采用雷诺平均的 Navier-Stokes 方程,湍流模型选择单方程(Spalart-Allmaras)模型。单方程模型湍流黏

涡黏性区是连续的,模型计算稳定,且 CPU 和内存空间使用很少。为入口边界设置初始速度后,打开残差监视器,以确保在计算收敛后结束迭代过程。

3.2.3 结果分析

Fluent 具有很强的后处理功能,可以方便地进行流场区域的显示。对 5 种形状的分禾栅板流动仿真得到流场内速度分布云图如图 7 所示。分禾栅板壁面 x 方向的速度分布及壁面切应力分布相应如图 8 所示。仿真中的分禾栅板在 x 方向上的长度为 40 cm,设置其位置在 $-30 \sim 10$ cm 区间。

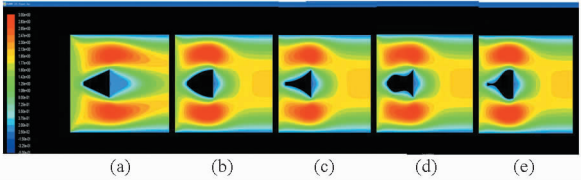


图7 5种分禾栅板速度分布云图

Fig.7 Velocity distribution cloud chart of 5 kinds of residue separating device with different shapes

(a) 直杆 (b) 凸杆 (c) 凹杆 (d) 凸-凹杆 (e) 凹-凸杆

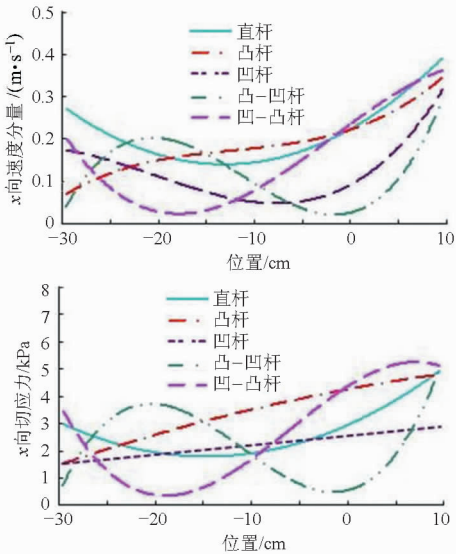


图8 5种分禾栅板 x 向速度分量及壁面切应力分布

Fig.8 Distribution diagrams of x velocity component and wall shear stress of 5 kinds of residue separating device with different shapes

图 7 表明,流体流经分禾栅板时,由于秸秆的黏性形成边界层使壁面速度大幅下降,当流体绕过分禾栅板后,速度逐渐上升至边界层外流体速度。其中,凹杆、凸-凹杆、凹-凸杆的凹陷部位边界层较其他形状的更厚;直杆分禾栅板绕流后,速度增加到入口速度值较慢。图 8 表明,不同形状的分禾栅板壁面 x 方向的速度与入口速度相比均有所下降,且不同形状下速度变化趋势也各异。其中,凸-凹杆、凹-凸杆速度波动较其他形状的杆大而不稳定;直杆和凹形杆起始处和杆结尾处速

度较中间段大,但凹形杆壁面各点速度均低于直杆;凸形杆 x 向速度从入口处开始逐渐上升,其均值与直杆分速度均值接近。各形状分禾栅板壁面切应力的变化趋势与 x 向速度分量变化趋势相同,切应力值集中在 $1 \sim 4$ kPa。

综合分析可知,凸杆分禾栅板壁面速度变化稳定且流体经过分禾栅板后能较快达到边界层外流速,效果较好。为了研究凸杆分禾栅板不同参数对绕流效果的影响,对不同半径弧度的凸形杆进行绕流仿真分析。直分禾杆和以直杆长度为直径的半圆分禾栅板是凸形杆弧度最大和最小的两种极限情况,选择二者的两个中间半径值作为对比,在 Fluent 中进行仿真。对应分禾栅板壁面 x 方向的速度分量分布图和分禾栅板壁面上切应力分布图如图 9 所示。仿真中的半圆、小半径、大半径分禾栅板的弧度直径分别为 419.4 mm、554.6 mm、799.0 mm。

由图 9 可知,随着弧度半径的减小, x 向速度由逐渐增加的趋势转变为先增加后减少,且最大值位置逐渐前移,意味着半径越小,分禾栅板后半部分的速度下降越快,越易导致涡流的形成。切应力变化趋势与速度基本一致,半径越小切应力越大。由此可见,凸形分禾栅板有利于秸秆的分流,但弧度半径应选取合适的值,若半径太小,则会导致分禾栅板后半部分 x 向速度急剧下降,且壁面切应力最大值成倍增长,引起秸秆流动过程中发生滞留现象,随着作业的进行而引起堵塞。

对弧度半径大于图 9 所指小半径的分禾栅板以 50 mm 为一个步长逐步进行仿真,对比相应 x 向速度分量分布及壁面切应力,方法同上。结果表明,分禾栅板弧度半径为 750 mm 时,分流效果较好。

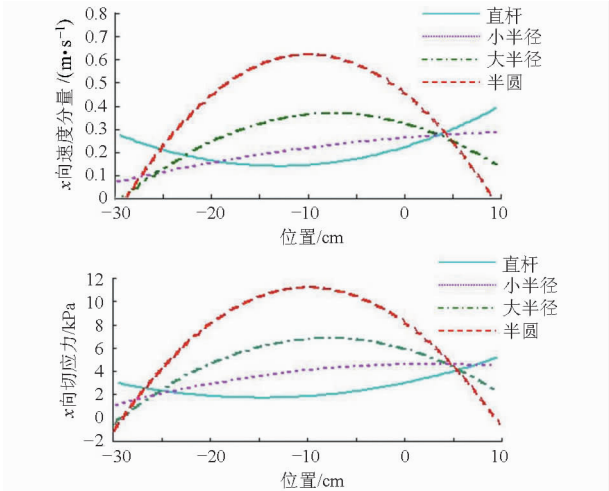


图 9 不同半径分禾栅板 x 向速度分量及壁面切应力分布
Fig.9 Distribution diagrams of x velocity component and wall shear stress of residue separating device with different radius

4 田间试验

4.1 试验条件

2013 年 6 月,在河北省固安县试验地进行了田间试验。试验地为一年两熟免耕播种地,前茬作物小麦,行距为 200 mm,收获后秸秆全部还田。秸秆覆盖量为 0.933 kg/m^2 ,含水率为 29.0%,秸秆未粉碎,集条放置于田间,平均秸秆长度为 288 mm,平均留茬高度 240 mm。土壤质地为沙壤土,0~10 cm 土层内土壤平均含水率为 20.2%,土壤坚实度为 $1.81 \times 10^4 \text{ MPa}$ 。试验地块长 188 m、宽 10.6 m。

4.2 试验方法

根据《免耕播种机选型大纲》及农业部农机鉴定总站免耕播种机性能检测要求对 2BYJMFQC-4 型玉米精量免耕播种机进行了田间播种性能测试,测试内容包括播种机通过性、土壤扰动量、种带秸秆清除率、种肥深度合格率等。

4.2.1 机具通过性

根据检测要求,设定测区长度为 60 m,在往返一个行程内,观察机具的堵塞程度,按轻微、中度、重度堵塞进行描述,不堵塞或一次轻微堵塞为合格。本试验在麦秸秆覆盖地上试验 3 次。

4.2.2 晾籽率

往返作业两个行程,在单程上交错选取 4 个小区,小区宽为一个播幅,长为 10 m,测定每个小区的面积和晾籽质量,小区晾籽率为

$$P_z = \frac{P_m}{M_s S_i} \times 100\% \tag{6}$$

式中 P_z ——晾籽率,%
 P_m ——小区晾籽质量,kg
 M_s ——单位面积播种量,kg/hm²
 S_i ——小区面积,hm²

4.2.3 种带秸秆清除率

免耕播种要求播种后地表保持大量秸秆覆盖,但试验发现播后种带上过多的秸秆影响出苗,也容易引发病虫害^[22-23],故在保墒保水的前提下应减少播种带上的秸秆量。

试验前,在待测区随机选取 10 个点,测量单位面积的秸秆量,取算术平均值,作为秸秆残留量 X_1 ;在有效清除范围内随机选取 10 个点,测量单位面积的秸秆量,取算术平均值,作为秸秆剩余量 Y_1 ,则秸秆清除率为^[2]

$$\eta_1 = \frac{X_1 - Y_1}{X_1} \times 100\% \tag{7}$$

4.3 试验结果与分析

首先对理论分析中影响驱动分禾杆拨草效果较

显著的 2 个因素速比和杆数进行田间对比试验,此时分禾栅板选择直杆分禾栅板,速比试验时选用 5 杆驱动分禾杆;杆数试验时设定速比为 1.24。由于 2BYJMFQC-4 型玉米精量免耕播种机上对称布置有 2 个地轮,各地轮分别驱动其左、右各 1 行播种单体,为了减少试验次数有效争抢农时,可在每个地轮所驱动的一组单体上设置不同参数的试验,即可在一次试验时分别安装 2 个 3 杆驱动分禾杆和 2 个 4 杆驱动分禾杆,提高试验效率。试验结果如表 3 所示。

表 3 速比和杆数对比试验结果

Tab.3 Test results			
参数	堵塞次数	种带秸秆清除率/%	晾籽率/%
速比	0.82	3	57.3
	1.00	1	70.2
	1.13	0	76.1
	1.24	0	82.8
杆数	3	2	60.1
	4	1	69.5
	5	0	81.2
	6	0	83.4

试验结果表明,直径 150 mm、速比 1.24 的 5 杆驱动分禾杆田间实际作业效果满足玉米免耕播种的要求。

随后对配备有 5 杆驱动分禾杆和凸形分禾栅板防堵机构的 2BYJMFQC-4 型玉米播种机在麦秸秆全覆盖地上进行试验,其工作安全可靠,能顺利拨开开沟器前方秸秆并将玉米种子均匀投入所开种沟,土壤扰动量较小,播后地表平整,种带秸秆 80.5% 被移至行间,播种质量达到国标相关检测要求。在试验条件所述地块 3 次往返试验,试验结果如表 4 所示。

表 4 试验结果
Tab.4 Test results

参数	数值
堵塞次数	0
土壤扰动量/%	18.3
种带秸秆清除率/%	80.5
播种深度合格率/%	94.7
施肥深度合格率/%	95.0
种肥间距合格率/%	92.4
粒距合格指数/%	91.6
重播指数/%	4.5
漏播指数/%	3.9
晾籽率/%	0.9

作业完成后对田间秸秆进行观测可知,大部分秸秆被拨离种带,相邻两行内接近种带的秸秆大多与作业方向平行,远离种带的秸秆受到扰动较小。由于麦茬地多不平整,为了保证播种深度一致性,2BYJMFQC-4 型玉米精量免耕播种机播种单体组件采用了平行四杆机构,单体浮动仿形;限深轮兼起到镇压作用,方便调节;2 个地轮提供驱动力并调节播种机整体离地高度。

5 结论

(1)分析了影响驱动分禾杆作用效果的关键因素,得出速比对结果的影响最显著。经仿真论证速比 1.24,杆数 5,直径 150 mm 的分禾杆能较好地满足拔草的要求。

(2)运用 CFD 软件仿真分析得出凸形分禾栅板具有较好的分流能力,且弧度半径为 750 mm 时能力最佳。

(3)驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构配置在玉米免耕播种机上,试验过程中播种质量满足要求,通过性能良好,未出现堵塞。

参 考 文 献

1 高焕文,李洪文,李问盈. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报,2008,39(9):43-48.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9):43-48. (in Chinese)

2 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]. 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 field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(4):64-70. (in Chinese)

3 李安宁,范学民,吴传云,等. 保护性耕作现状及发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006,37(10):177-180,111.
Li Anning, Fan Xuemin, Wu Chuanyun, et al. Situation and development trends of conservation tillage in the world [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10):177-180,111. (in Chinese)

4 廖庆喜,高焕文,王世学,等. 免耕播种机新型锯切防堵装置的试验研究[J]. 农业机械学报,2003, 34(6):91-95.
Liao Qingxi,Gao Huanwen, Wang Shixue, et al. Experimental study on sawtooth anti-blocking mechanism for no-tillage planter [J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003, 34(6):91-95. (in Chinese)

5 臧英,高焕文,周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003,19(2):56-60.
Zang Ying, Gao Huanwen, Zhou Jianzhong. Experimental study on soil erosion by wind under conservation tillage [J].

- Transactions of the CSAE, 2003,19(2):56-60. (in Chinese)
- 6 张海林,高旺盛,陈阜,等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报, 2005,10(1):16-20.
Zhang Hailin, Gao Wangsheng, Chen Fu, et al. Prospects and present situation of conservation tillage[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1):16-20. (in Chinese)
- 7 van Donk S J, Martin D L, Irmak S, et al. Crop residue cover effects on evaporation soil water content and yield of deficit-irrigated corn in west-central Nebraska[J]. Transactions of the ASABE, 2010,53(6):1787-1797.
- 8 Kornecki T S, Price A J, Raper R L, et al. New roller crimper concepts for mechanical termination of cover crops in conservation agriculture[J]. Renewable Agriculture and Food Systems, 2009, 24(3):165-173.
- 9 王汉羊,陈海涛,纪文义. 麦茬地免耕播种机清洁覆秸装置设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊2):7-12.
Wang Hanyang, Chen Haitao, Ji Wenyi. Design and experiment of cleaning and covering mechanism for no-till seeder in wheat stubble fields[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp.2):7-12. (in Chinese)
- 10 张喜瑞,李洪文,何进,等. 小麦免耕播种机防堵装置性能对比试验[J]. 农业机械学报,2010,41(2):73-77.
Zhang Xirui, Li Hongwen, He Jin, et al. Comparative experiment on anti-blocking mechanism for wheat no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(2):73-77. (in Chinese)
- 11 吴建民,高焕文. 免耕播种机锯片式防堵切刀的设计与试验[J]. 农业机械学报,2006,37(5):51-53.
Wu Jianmin, Gao Huanwen. Design and experiment for a saw bit anti-blockage cutter of no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(5):51-53. (in Chinese)
- 12 张晋国,高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报,2000,31(4):33-35.
Zhang Jinguo, Gao Huanwen. Study on the strip chopping anti-blocking mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000,31(4):33-35. (in Chinese)
- 13 廖庆喜,王世学,高焕文. 免耕播种机新型锯齿防堵装置防堵机理的研究[J]. 中国农业大学学报,2003,8(4):14-19.
Liao Qingxi, Qang Shixue, Gao Huanwen. Study on anti-blocking mechanism of the sawtooth anti-blocking component for no-tillage planter[J]. Journal of China Agricultural University,2003,8(4):14-19. (in Chinese)
- 14 潘涛. 小麦免耕播种机防堵装置的设计研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2005.
Pan Tao. Research and design of the anti-blocking equipment for a wheat no-tillage planter[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University,2005. (in Chinese)
- 15 马洪亮,高焕文,李洪文,等. 斜置驱动圆盘免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2006,37(5):45-47.
Ma Hongliang, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Design and experiment of no-till planter with oblique driven disc [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(5):45-47. (in Chinese)
- 16 高娜娜,张东兴,杨丽,等. 玉米免耕播种机滚筒式防堵机构的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(12):31-38.
Gao Nana, Zhang Dongxing, Yang Li, et al. Design and field experiment of rotary drum-type anti-blocking mechanism for maize no-till planter[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(12):31-38. (in Chinese)
- 17 张小龙,张艳刚,李虎群,等. 二点委夜蛾发生为害特点、发生规律及防治技术研究[J]. 河北农业科学,2011,15(12):1-4.
Zhang Xiaolong, Zhang Yangang, Li Huqun, et al. Damage characteristics, occurrence regularity and control technology of proxenus lepigone[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2011,15(12):1-4. (in Chinese)
- 18 李丽莉,赵楠,石洁,等. 秸秆还田与药剂处理对夏玉米田二点委夜蛾发生数量的影响[J]. 山东农业科学,2012,44(9):95-97.
Li Lili, Zhao Nan, Shi Jie, et al. Effects of straw returning and chemical control on number of athetis lepigone moschler in summer maize fields[J]. Shandong Agricultural Science, 2012,44(9):95-97. (in Chinese)
- 19 李小芹,李岩,丁涛. 工程流体力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009:162-167.
- 20 谷谒白,张云文,宋建农. “层流型”分草曲面用于覆盖免耕播种机的研究[J]. 农业机械学报,1994,25(1):46-51.
Gu Yebai, Zhang Yunwen, Song Jiannong. A study on “laminar flow splitter” as blockage proofing device for mulching no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1994,25(1):46-51. (in Chinese)
- 21 李福新,张宇文,段培贤. 低噪声回转体头部线型设计[J]. 声学学报,2002,27(3):258-262.
Li Fuxing, Zhang Yuwen, Duan Peixian. Fore-body shaping design of an axisymmetric body for minimum noise[J]. Acta Acustica, 2002,27(3):258-262. (in Chinese)
- 22 王庆杰,姚宗路,高焕文,等. 楔刀型免耕开沟器设计与试验[J]. 机械工程学报,2008,44(9):177-182.
Wang Qingjie, Yao Zonglu, Gao Huanwen, et al. Design and experiment on a wedge shaped no-tillage opener[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008,44(9):177-182. (in Chinese)
- 23 高焕文,李问盈,李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报,2003,19(3):1-4.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2003,19(3):1-4. (in Chinese)

of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(3):113 – 117. (in Chinese)
20 刘志壮,吕贵勇. 基于电容法的稻谷含水率检测[J]. 农业机械学报,2013,44(7):179 – 182.
Liu Zhizhuang, Lü Guiyong. Moisture content detection of paddy rice based on capacitance approach[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(7):179 – 182. (in Chinese)

Detection of Seedcotton Mass Flow Based on Capacitance Approach

Zhou Liming¹ Li Shujun² Zhang Xiaochao² Wang Shumao¹ Yuan Yanwei² Dong Xin²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Mass flow measurement during the crop harvest process is one of important ways of data collecting for precision agriculture. In this research, a method for detecting seedcotton mass flow rate was proposed. The principle of the method was based on the fact that the dielectric constant of air/seedcotton mixture between two parallel plates increased with seedcotton mass flow rate. In order to decrease the influence of environmental disturbance, a differential capacitive sensor was designed to perform the seedcotton mass flow rate measurement. One kind of seedcotton named Xinluzao43 was used as sample to study the influence of cotton moisture content on the output capacitance value of mass flow sensors, and the relationship of cotton mass flow and sensor output capacitance. Experiment results showed that, the relationship among cotton moisture content, mass flow rate and capacitance value could be described by a bivariate regression model. The change of ambient temperature and breed had no significant relationship with the sensor output. The average relative error of seedcotton mass flow sensor was 5.16% .

Key words: Seedcotton Mass flow Capacitive sensor Moisture content Differential configuration

(上接第 91 页)

Design of Anti-blocking Mechanism Combined Driven Divider
with Passive Residue Separating Device

Gao Nana Zhang Dongxing Yang Li Cui Tao

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: An anti-blocking mechanism combined driven divider with passive residue separating device was designed, using simulation method and fields experiment to determine key parameters of the components. Based on the results of the simulations, the optimum parameters of driven divider were 1.24 speed ratio, 5 bars and 150 mm diameter. The convex residue separating device with 750 mm average radius had the strongest diffluent ability. Field experiments of seeding performance of 2BYJMFQC – 4 maize precision no-till seeder, on which the anti-blocking mechanism combined driven divider with passive residue separating device was fixed, was conducted, and the results showed that the passing ability, the sowing quality, the sowing depth rate and the fertilization depth rate satisfied the requirements of the national standard. Above all, the anti-blocking mechanism combined driven divider with passive residue separating device was effective in solving straw blocking and ensuring the passing performance of the no-till maize planter.

Key words: No-till planter Driven divider Passive residue separating device Circling flow
Simulation