

2BMFJ-3型麦茬地免耕精播机防堵装置*

王汉羊 陈海涛 纪文义
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对黄淮海一年两熟地区小麦机收后地表残留的秸秆量大且根茬过高,致使免耕播种下茬作物时易发生堵塞的现象,设计了一种用于麦茬地免耕精播机的防堵装置。为确定该装置合理的结构与作业参数,采用三因素三水平正交试验方法进行了优化试验,得到最优参数组合:机组作业速度 4.5 km/h、清秸覆秸刀齿排布 4-3-4、刀轴转速 400 r/min。田间试验结果表明,当清秸覆秸刀齿切茬深度为 20~30 mm 时,防堵装置土壤扰动量为 63%~76%,防堵效果好,能够创造良好的种床,提高播种质量。

关键词: 免耕播种机 防堵装置 麦茬地 设计 试验

中图分类号: S223.2⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0064-07

Anti-blocking Mechanism of Type 2BMFJ-3 No-till Precision Planter for Wheat Stubble Fields

Wang Hanyang Chen Haitao Ji Wenyi
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: A type of anti-blocking mechanism, used on no-till precision planter for wheat stubble fields, was designed. The purpose was to solve straw burning and residue blocking between seeding units which were caused by large amount of straws and higher stubbles in annual double cropping area of Huanghuaihai. In order to find out reasonable structure and operation parameters of the anti-blocking mechanism, optimization experiment was conducted with orthogonal test method of three factors and three levels. The optimal parameters combination was as follows: the operation speed of 4.5 km/h, the arrangement of blade of 4-3-4, the rotating speed of blade shaft of 400 r/min. The field experiment result showed that when the cutting depth of blade was 20~30 mm, the soil disturbance was 63%~76%, the anti-blocking mechanism could solve the problem of straw blocking and improve the seeding quality.

Key words: No-till planter Anti-blocking mechanism Wheat stubble field Design Experiment

引言

免耕播种技术是在秸秆覆盖地表直接进行开沟、施肥、播种和镇压的技术^[1~2]。该技术可简化作业工序,降低作业成本,改善土壤团粒结构,减少土壤侵蚀,减缓土地退化,是保证农业可持续发展的一项重要措施^[3~5]。

由于免耕播种是在有秸秆覆盖、根茬残留、不平整的地表进行播种作业,而且要求播后地表有秸秆残茬覆盖,实现保水、保土等功效,因此性能完善、质量可靠的免耕播种机是免耕播种技术得以顺利实施的保障。我国华北一年两熟区,作物秸秆量大,免耕播种时堵塞现象时有发生,严重影响了生产效率和作业质量。有效的防堵装置是保证免耕播种机在秸

收稿日期: 2012-12-26 修回日期: 2013-01-20
* 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-04)
作者简介: 王汉羊, 博士生, 主要从事现代农业装备研究, E-mail: Michaelyang198217@163.com
通讯作者: 陈海涛, 教授, 博士生导师, 主要从事旱作农业装备研究, E-mail: haitao1963@yahoo.com.cn

秆和残茬覆盖地作业时通过性良好的关键^[6~19]。

目前,黄淮海地区对秸秆和根茬处理方式主要有:人工捡拾外运、利用捡拾打捆机械回收和使用旋耕灭茬机械将秸秆还田。这些方法增加了作业成本和作业时间,生产效率较低,而且旋耕后的土壤与秸秆混杂在一起,严重影响种子的正常发育^[20~27]。本文设计一种麦茬地免耕精密播种机的防堵装置,并进行参数优化和田间性能试验验证。

1 结构与作业原理

设计了一种主动式防堵装置(图 1)。该防堵装置主要由压草板、传动轴、传动链、机架、清秸覆刀齿总成、清秸覆秸刀齿和清秸覆秸控制板等组成。将该装置用于 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精密播种机上,整机结构示意图如图 2 所示。

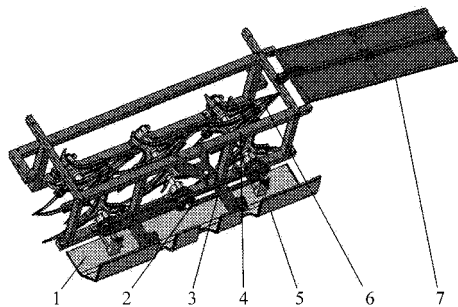


图 1 防堵装置结构简图

Fig. 1 Structural sketch of anti-blocking mechanism

1. 压草板 2. 传动轴 3. 传动链 4. 机架 5. 清秸覆秸刀齿总成
6. 清秸覆秸刀齿 7. 清秸覆秸控制板

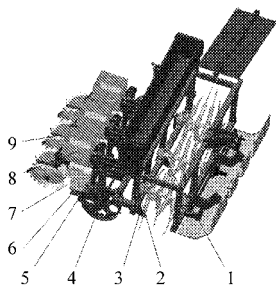


图 2 2BMFJ-3 免耕播种机结构示意图

Fig. 2 Structural sketch of type 2BMFJ-3 no-till planter

1. 防堵装置 2. 肥箱 3. 施肥开沟器 4. 地轮 5. 四连杆机构
6. 播种开沟器 7. 排种器 8. 种箱 9. 覆土镇压器

其中,防堵装置的清秸覆秸刀齿总成布置于每个播种单体的正前方,以有利于开沟器的顺利通过;针对麦茬地表大平小不平的现象,将左、右两个地轮与防堵装置固连在一起,从而实现该装置的整体仿生功能,能够更好地保证清秸覆秸刀齿入土深度一致性。

防堵装置作业原理:该装置采用三点悬挂与 23.5 kW 拖拉机挂接,机组作业时由拖拉机提供牵引和旋转动力。其中,由拖拉机动力输出轴经万向

节驱动传动轴逆时针转动,传动轴与中间清秸覆秸刀齿总成固连在一起,经传动链将动力传递给两侧的清秸覆秸刀齿总成,从而驱动 3 个清秸覆秸刀齿总成同步逆时针旋转,固定在清秸覆秸刀齿总成上的清秸覆秸刀齿将播种带内的根茬切断,并将切断的根茬连同秸秆等抛撒至机组前进方向的左侧,清扫出播种带,达到清秸的目的;回程作业时,清秸覆秸刀齿总成将该播种带内的秸秆和根茬等抛洒至上一行程的已播地表,从而完成覆秸作业。实际作业过程中,根据秸秆量、秸秆含水率及根茬高度等,通过调节清秸覆秸控制板的长度和角度,实现对秸秆覆盖均匀度及覆盖距离的控制。

2 防堵装置关键部件设计

2.1 清秸覆秸刀齿结构与参数设计

根茬清除率是评价该防堵装置防堵性能的重要指标之一,而清秸覆秸刀齿切茬深度和切茬节距是影响根茬清除率的两个主要因素。试验表明,当切茬节距小于 25 mm 且切茬深度大于 25 mm 时,即可将小麦根茬切断,并打破根须与土壤形成的团块。同时,考虑到尽可能降低机具的功耗及作业地表的不平整性,设计刀齿最大切茬深度为 $H = 30$ mm。

选择刀齿数为 3 个(同一回转平面内)^[28],并通过螺栓紧固在冲压刀盘上。如图 3 所示,以清秸覆秸刀齿的任意端点 M 为研究对象,以清秸覆秸刀齿回转中心为坐标原点,建立空间直角坐标系 $OXYZ$ 。

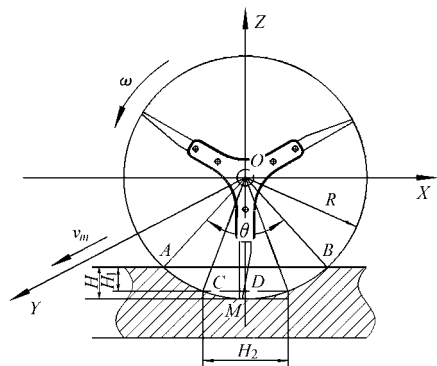


图 3 清秸覆秸刀齿运动分析示意图

Fig. 3 Sketch of kinematic analysis of clearing and covering blade

设计的防堵装置为 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精密播种机配套,该播种机采用侧深施肥方式,肥料均施于种侧 50 mm、种下 50 mm 位置,因此施肥开沟器与播种开沟器中心间距为 50 mm,为保证开沟器顺利通过,要求播种施肥带带宽 $H_2 \leq 80$ mm,最小切茬深度 $H_1 \geq 25$ mm。

在 $\triangle OCD$ 中,刀齿回转半径 R 应满足

$$R^2 = \left(\frac{H_2}{2}\right)^2 + (R - H + H_1)^2 \tag{1}$$

在满足设计要求的前提下,刀齿回转半径不能太小,否则会使刀轴过低因缠草而发生堵塞;但是随着回转半径的增大,刀轴所受的扭矩和整体消耗的功率会增加^[29]。综合机具的结构要求和田间通过性能,设计时取 $R = 380\text{ mm}$,由式(1)可得 $H_1 = 27.9\text{ mm}$,满足设计要求。

根据防堵装置作业原理及清秸覆秸刀齿运动分析可知,刀齿在 XOZ 平面内作匀速运动, A 、 B 两点为切茬运动的切入点和切出点,因此切茬角 θ 为

$$\theta = 2\arccos \frac{R - H}{R} \tag{2}$$

将 $R = 380\text{ mm}$, $H = 30\text{ mm}$ 代入式(2)可得 $\theta = 45.84^\circ$ 。

2.2 清秸覆秸刀齿总成设计

清秸覆秸刀齿总成主要由刀轴、刀盘及清秸覆秸刀齿等组成。为避免刀轴旋转过程中,附加动载荷和作业中的脉冲振动,刀轴上的清秸覆秸刀齿采用螺旋线排布,且各刀齿轴向间距 D 和周向间角 α 均相等,同时 α 与刀齿切茬角 θ 应满足

$$\begin{cases} \alpha \leq \theta \leq 2\alpha \\ \alpha = \frac{360}{3z} \end{cases} \tag{3}$$

式中 z ——刀齿总成上的刀齿排数
将 $\theta = 45.84^\circ$ 代入式(3)可得, $z = 3 \sim 5$ 排。

作业过程中,清秸覆秸刀齿总成切茬节距的均匀性,是提高根茬清除率的关键,为满足均匀性要求,各相关参数必须满足

$$D = 10^5 \frac{kv_m}{6nz} \tag{4}$$

式中 D ——刀齿轴向间距,mm
 k ——根据实际需要取大于零的整数
 v_m ——机器前进速度,km/h
 n ——刀轴转速,r/min

根据黄淮海地区小麦行距 200 mm 和大豆行距 400 mm 的农艺特点及常用配套动力拖拉机保有情况,设计的 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精密播种机配套动力为 18.4 ~ 25.7 kW 拖拉机,行数为 3 行。故此,防堵装置设置 3 个清秸覆秸刀齿总成,分别布置于每个播种单元体的正前方,清秸覆秸刀齿排布如图 4 所示。

作业时,为保证秸秆在传递过程中不发生堵塞,防堵装置的秸秆喂入量应小于或等于秸秆排出量,因此机组作业速度 v_m 、刀轴转速 n 和清秸覆秸刀齿总成的有效长度 S_1 等相关参数应满足

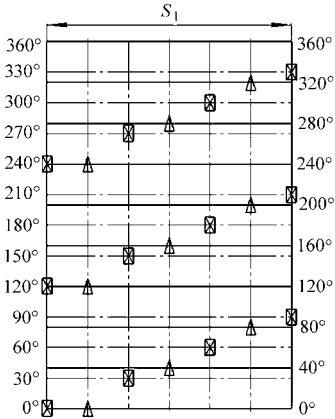


图 4 清秸覆秸刀齿排布示意图

Fig.4 Layout sketch of cleaning and covering blade
注:图中□为两侧刀齿总成中刀齿安装位置;Δ为中间刀齿总成中刀齿安装位置。

$$\rho = \frac{1.2 \times 10^{-4} n \pi R S_1}{L v_m} \geq 1 \tag{5}$$

式中 ρ ——衡量防堵装置输送秸秆的性能参数
 L ——左、右两轴轴距,mm

由式(5)可知,增大清秸覆秸刀齿总成的有效长度,提高刀轴转速,降低机具前进速度,均能提高清秸覆秸刀齿总成输送秸秆的性能。但刀齿总成有效长度过大,导致质心后移过大,影响机组的纵向稳定性和通过性;刀轴转速过高,功耗大,对结构强度要求高;机组作业速度过慢,生产率降低。因此,在满足农艺和设计要求的前提下,应寻找防堵装置最佳的结构与作业参数组合。

3 参数优化试验

3.1 试验条件

试验于 2011 年 6 月 10 日—2011 年 6 月 13 日在河南省许昌市试验田进行,土壤硬度为 16.7 kg/cm²,土壤含水率为 28.3%,麦秸覆盖量为 1.15 kg/m²,根茬平均高度为 305 mm。

3.2 试验仪器及设备

奔野 324 型拖拉机、JWY-1 型微机多功能油耗仪、弯矩及扭矩传感器、转速测定霍尔传感器、动态电阻应变仪、USB 数据采集器、笔记本计算机、土壤硬度仪、土壤湿度仪、皮尺、卷尺、直尺和摄像机等。图 5 为测试仪器连接安装实图。

3.3 试验因素

采用三因素三水平正交试验设计,以机组作业速度 A 、清秸覆秸刀齿排布 B 及刀轴转速 C 为影响因素,以防堵装置的秸秆清除率、根茬清除率、燃油消耗率为目标函数,选用 $L_9(3^4)$ 正交表,试验因素水平如表 1 所示。试验过程中,刀齿切茬深度为 30 mm。

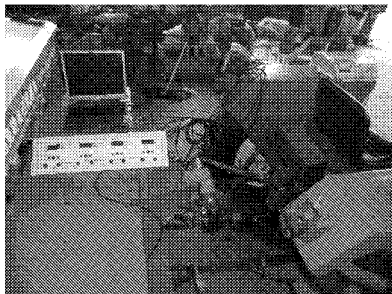


图 5 测试仪器连接实图

Fig. 5 Connection diagram of testing apparatus

表 1 试验因素水平			
Tab. 1 Experimental scheme			
水平	因素		
	$a/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$b/\text{排}$	$c/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$
1	3.6	3-2-3	300
2	4.5	4-3-4	400
3	5.4	5-4-5	500

3.4 试验方法

试验地长度 65 m, 其中测试段 40 m, 准备段 25 m。各试验指标测试方法如下:

(1) 秸秆清除率

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 ; 在有效清扫范围内随机选取 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

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

(6)

(2) 根茬清除率

每次测试完成后, 在测试区随即选取 5 个点, 测定每个点单位长度内剩余根茬的长度和, 作为根茬剩余量 (Z), 则根茬清除率为

$$\eta_2 = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i}{5} \times 100\%$$

(7)

(3) 燃油消耗率

田间测试中, 使用 JWY-1 型微机多功能油耗仪进行田间油耗测试。使用扭矩及弯矩传感器进行扭矩及牵引力的测定, 并根据标定方程将其转换为机具的旋转和牵引功率。燃油消耗率为

$$g_T = \frac{G_T}{N_T}$$

(8)

式中 G_T ——拖拉机每小时油耗量, L/h
 N_T ——机具旋转与牵引功率之和, kW

3.5 数据处理及分析

(1) 试验结果及方差分析

试验方案和试验结果如表 2 所示, 每组试验重

复 3 次, 方差分析结果见表 3。

表 2 试验方案与试验结果

Tab. 2 Experimental data

试验 序号	A	B	C	秸秆 清除 率/%	根茬 清除 率/%	燃油消耗率/ $\text{L}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$
1	1	1	1	92.3	87.6	0.441
2	1	2	2	95.7	90.1	0.462
3	1	3	3	99.6	95.8	0.482
4	2	1	2	92.4	88.5	0.422
5	2	2	3	96.5	92.7	0.464
6	2	3	1	94.1	88.7	0.446
7	3	1	3	93.3	88.7	0.446
8	3	2	1	90.2	83.9	0.439
9	3	3	2	93.7	88.3	0.446

表 3 方差分析结果

Tab. 3 Results of variance analysis

	方差来源	平方和	自由度	均方差	F	P
η_1	A	18.11	2	9.05	129.33	0.008
	B	14.75	2	7.37	105.33	0.009
	C	27.63	2	13.81	197.33	0.005
	误差	0.14	2	0.07		
	总和	60.62	8			
η_2	A	28.08	2	14.04	135.87	0.007
	B	11.65	2	5.82	56.35	0.017
	C	48.89	2	24.44	236.35	0.004
	误差	0.21	2	0.10		
	总和	88.82	8			
g_T	A	6.36×10^{-4}	2	3.18×10^{-4}	29.52	0.033
	B	8.27×10^{-4}	2	4.13×10^{-4}	38.36	0.025
	C	9.13×10^{-4}	2	4.56×10^{-4}	42.35	0.023
	误差	2.16×10^{-5}	2	1.08×10^{-5}		
	总和	2.40×10^{-3}	8			

由表 3 可得到, 3 因素对秸秆清除率的影响均极显著, 主次关系为: 刀轴转速、机组作业速度、刀齿排布; 刀轴转速、机组作业速度两因素对根茬清除率的影响极显著, 刀齿排布对根茬清除率的影响显著, 主次关系为: 刀轴转速、机组作业速度、刀齿排布; 3 因素对燃油消耗率的影响均显著, 主次关系为: 刀轴转速、机组作业速度、刀齿排布。

(2) 优化分析

按照最佳秸秆清除率和根茬清除率 (机组不发生堵塞即可)、低燃油消耗率的原则, 应用 Design-Expert 6.0.10 进行优化, 优化结果如表 4 所示。

根据优化原则得到两个优化结果, 优化结果 1 比优化结果 2 的燃油消耗率小 0.001 L/(kW·h), 但考虑到作业效率, 故选择方案 2 作为最优参数组合: 机组作业速度 4.5 km/h, 清秸覆秸刀齿排布 4-3-4 (两侧清秸覆秸刀齿总成布置 4 排刀齿, 中间清秸

表 4 优化结果
Tab.4 Optimized results

机组作 序号	刀齿 业速度/ km·h ⁻¹	刀轴 排布/ 排	秸秆 转速/ r·min ⁻¹	根茬 清除 率/%	根茬 清除 率/%	燃油消耗率/ L·(kW·h) ⁻¹
1	3.6	3-2-3	400	94.3	89.7	0.442
2	4.5	4-3-4	400	94.2	89.1	0.443

覆秸刀齿布置 3 排刀齿),刀轴转速 400 r/min,此时
秸秆清除率 94.2%,根茬清除率 89.1%,燃油消耗
率 0.443 L/(kW·h)。按照最佳参数组合,进行了验
证试验,试验共重复 5 次并取平均值,结果如表 5 所示。

表 5 验证试验结果
Tab.5 Results of verification experiment

a/ km·h ⁻¹	b/ 排	c/ r·min ⁻¹	秸秆清除 率/%	根茬清 除率/%	燃油消耗率/ L·(kW·h) ⁻¹
4.5	4-3-4	400	93.5	91.2	0.441

由表 5 验证试验结果可知,最优参数组合下,各
指标值与优化结果相吻合,该优化结果是可信的。
根据优化试验得到最佳参数组合,由式(4)可
得,清秸覆秸刀齿轴向间距 $D=62.5\text{ mm}$,可得清秸
覆秸刀齿总成有效长度 $S_1=187.5\text{ mm}$,验证式(5)
成立,满足设计要求。

3.6 作业效果

防堵装置作业效果如图 6 所示,由图 6a 可知,
该装置能够创造出良好的种床条件,播种带内秸秆
和根茬清除率均达到 90% 以上,有效解决了一年两
熟地区麦茬地免耕播种时存在的秸秆堵塞问题;由
图 6b 可知,该装置能够实现已播地表的秸秆覆盖效
果,秸秆覆盖率不低于 99%,满足了保护性耕作对
于保墒,降低土壤风蚀、水蚀的要求。

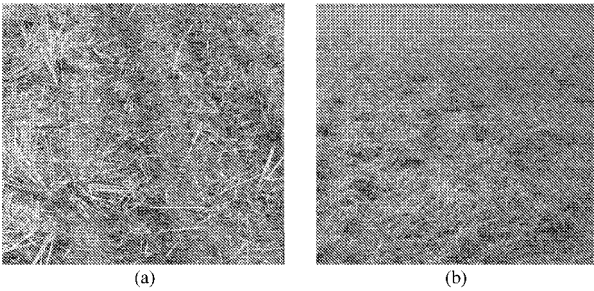


图 6 防堵装置作业效果

Fig.6 Operation effect of anti-blocking mechanism
(a) 种床环境 (b) 已播地表秸秆覆盖效果

4 田间性能试验

4.1 试验条件

试验于 2012 年 6 月 6~9 日在国家大豆产业技
术体系阜阳综合试验站试验示范基地实施,将防堵

装置安装于 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精播机上进行
了田间试验。

测试整机通过性及防堵装置的土壤扰动量。试
验地为小麦机收后自然状态留茬地,根茬平均高度
为 28.6 mm,秸秆覆盖量为 1.2 kg/m²,土壤硬度为
18.2 kg/cm²,土壤含水率 35%。

4.2 试验内容与方法

(1)通过性

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,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^[30]。

机组作业速度 4.5 km/h,以清秸覆秸刀齿切茬
深度为影响因素,分别设置 10、20 和 30 mm 3 个水
平,测试机具通过性,每个水平重复 5 次。

(2)土壤扰动量

保护性耕作要求免耕播种时土壤扰动小,即要
减少动土量,达到保墒的目的,同时减少拖拉机的动
力消耗。土壤扰动量为^[31]

$$\delta = \frac{K}{J} \times 100\%$$

(9)

式中 K ——实际开沟宽度,mm
 J ——播种行距,mm

4.3 试验结果与分析

机具通过性及土壤扰动量测定结果如表 6 所
示。

表 6 通过性及土壤扰动量测试结果
Tab.6 Testing result of passing capacity and
soil disturbance

刀齿切茬 深度/mm	堵塞程度				土壤扰 动量/%
	无堵 塞/次	轻微堵 塞/次	中度堵 塞/次	重度堵 塞/次	
10	0	3	2	0	47
20	4	1	0	0	63
30	5	0	0	0	76

由表 6 可知,清秸覆秸刀齿切茬深度 30 mm 时,
机具通过性良好,没有发生任何堵塞;当清秸覆秸刀
齿切茬深度为 20 mm 时,机具有 1 次轻微堵塞。原
因是开沟过程中部分根茬没有被清除,造成相邻开
沟器之间的根茬和土壤形成轻微堵塞,但是随着播
种单元体上下仿形运动,堵塞物很快便从相邻开沟
器间滑过,机具随即恢复正常作业。当清秸覆秸刀
齿切茬深度为 10 mm 时,播种带内大部分根茬没有
被清除,开沟器开沟过程中,根茬与土壤形成了较大
的堵塞物,由于堵塞物尺寸较大,数量较多,在相邻

开沟器之间造成堵塞,影响正常作业。

随着清秸覆秸刀齿切茬深度的增加,土壤扰动量及功耗逐渐增大,考虑到机具的通过性,实际作业时,清秸覆秸刀齿切茬深度应选择 20 ~ 30 mm。

5 田间生产试验

为检验加装了防堵装置的 2BMFJ-3 型免耕播种机播种效果,在同一地块进行了田间生产对比试验,试验结果如图 7 所示。

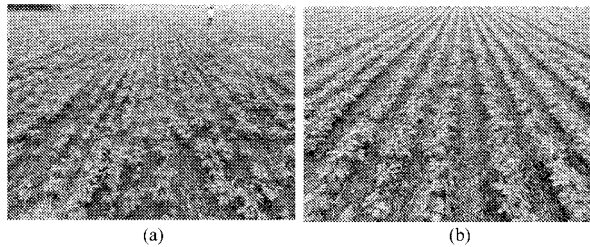


图 7 对比试验大豆出苗情况及长势

Fig. 7 Soybean emergence and growing of contrast test

(a) 传统播种 (b) 2BMFJ-3 型免耕播种机播种

传统播种方式是将秸秆进行人工清理后进行灭茬作业,并采用传统播种机进行条播。从图 7 可以得知,2BMFJ-3 型免耕播种机的播种效果相比传

统播种方式具有明显的优势,苗带整齐,出苗率高,苗齐、苗壮,没有出现段条现象。

为适应麦茬地表的不平整性,2BMFJ-3 型免耕播种机的防堵装置及播种单体均采用仿形的形式。防堵装置的整体仿形功能,有效解决了播种带内秸秆和根茬的漏清问题;播种单体采用分体仿形的形式,保证了每个苗带内种子的播深一致性;防堵装置的覆秸功能为实现已播地表保土、保水、保肥提供了保障,有利于提高出苗率和作物产量。

6 结论

(1) 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精播机防堵装置最佳结构与作业参数组合为: 机组作业速度 4.5 km/h、清秸覆秸刀齿排布 4-3-4,刀轴转速 400 r/min,此时秸秆清除率为 93.5%,根茬清除率为 91.2%,燃油消耗率为 0.441 L/(kW·h)。

(2) 田间性能试验结果表明,当机组作业速度为 4.5 km/h,清秸覆秸刀齿切茬深度为 20 ~ 30 mm 时,该防堵装置土壤扰动量为 63% ~ 76%,防堵效果好,在免耕条件下能够创造良好的种床环境,提高播种质量。

参 考 文 献

- 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)
- 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 1~4. (in Chinese)
- 王汉羊,陈海涛,纪文义,等. 2BMFJ-3(B)型麦茬地大豆免耕覆秸精播机性能试验研究[J]. 大豆科技,2012(2):43~46.
Wang Hanyang, Chen Haitao, Ji Wenyi, et al. Performance test on 2BMFJ-3(B) no-tillage soybean precision seeder in stubble field[J]. Soybean Bulletin, 2012(2): 43~46. (in Chinese)
- 余嘉,陈海涛,纪文义,等. 小麦茬地免耕大豆精密播种机性能试验研究[J]. 大豆科技,2010(3):31~33.
- 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)
- 徐迪娟,李问盈,王庆杰. 2BML-2(Z)型玉米垄作免耕播种机的研制[J]. 中国农业大学学报,2006,11(3):75~78.
Xu Dijuan, Li Wenying, Wang Qingjie. Development of 2BML-2(Z) type no-till maize seeder in ridge-field[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(3): 75~78. (in Chinese)
- 廖庆喜,高焕文,舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报,2004,20(1):108~112.
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Shu Caixia. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 108~112. (in Chinese)
- 王庆杰,李洪文,何进,等. 螺旋刀型垄台清理装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2010,26(6):109~113.
Wang Qingjie, Li Hongwen, He Jin, et al. Design and experiment on twist type ridge-clear device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(6): 109~113. (in Chinese)
- 王庆杰,何进,李洪文,等. 免耕播种机开沟防堵单元体设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(1):27~31.
Wang Qingjie, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on furrowing and anti-blocking unit for no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 27~31. (in Chinese)
- 王庆杰,何进,姚宗路,等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(6):68~72.
Wang Qingjie, He Jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 68~72. (in Chinese)

- 11 高焕文,李洪文,姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报,2008,39(4):78~82.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Yao Zhonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 78~82. (in Chinese)
- 12 王庆杰,李洪文,何进,等. 凹形圆盘式玉米垄作免耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(7):117~122.
Wang Qingjie, Li Hongwen, He Jin, et al. Design and experiment on concave disc type maize ridge-till and no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 117~122. (in Chinese)
- 13 罗红旗,高焕文,刘安东,等. 玉米垄作免耕播种机研究[J]. 农业机械学报,2006,37(4):45~47,63.
Luo Hongqi, Gao Huanwen, Liu Andong, et al. Study on ridge-till and no-till corn planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(4): 45~47,63. (in Chinese)
- 14 高旺盛. 中国保护性耕作制[M]. 北京:中国农业大学出版社,2011.
- 15 张军昌,闫小丽,薛少平,等. 秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机设计[J]. 农业机械学报,2012,43(12):51~55.
Zhang Junchang, Yan Xiaoli, Xue Shaoping, et al. Design of no-tillage maize planter with straw smashing and fertilizing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 51~55. (in Chinese)
- 16 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 Weiham, 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)
- 17 Smith J A, Wilson R G, Binford G D, et al. Tillage systems for improved emergence and yield of sugarbeets[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2002, 18(6):667~672.
- 18 Gao H W, Yao Z L, Fen X J, et al. Conservation agriculture technology and application[C]//Proceedings of China Canada Conservation Agriculture Forum, Beijing, 2006: 64~72.
- 19 赵旭,张祖立,唐萍,等. 被动式倾斜波纹圆盘破茬刀工作性能试验[J]. 农业机械学报,2011,42(1):64~67.
Zhao Xu, Zhang Zuli, Tang Ping, et al. Behavior of passive stubble-cutting disc with oblique ripples[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 64~67. (in Chinese)
- 20 William S N, Kevin J S. Performance of rake mechanism for creating residue-free soil bands[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(4): 1 131~1 137.
- 21 Zhang X R, Li H W, He J, et al. Influence of conservation tillage practices on soil properties and crop yields for maize and wheat cultivation in Beijing, China[J]. Australian Journal of Soil Research, 2009, 47(4):362~371.
- 22 廖庆喜,高焕文,舒彩霞. 免耕播种机锯切防堵装置设计及其切割机理的研究[J]. 农业工程学报,2003,19(5):64~70.
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Shu Caixia. Design of sawing anti-blocking mechanism for no-tillage planter and its cutting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(5): 64~70. (in English)
- 23 Lee K S, Park S H, Park W Y, et al. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 71(1): 25~32.
- 24 龚丽农,高焕文,蒋金琳. 免耕播种机玉米根茬处理装置作业功耗试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(7):124~127.
- 25 刘立晶,高焕文,李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报,2004, 20(3): 70~73.
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Conservation tillage for corn - wheat two crops a year region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3):70~73. (in Chinese)
- 26 高焕文,李问盈. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- 27 姚宗路,李洪文,高焕文,等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(8):57~61.
Yao Zonglu, Li Hongwen, Gao Huanwen, et al. Experiment on no-till wheat planter under the bestow of the maize stubble in double cropping area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57~61. (in Chinese)
- 28 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:235~236.
- 29 张喜瑞,何进,李洪文,等. 免耕播种机驱动圆盘防堵单元体的设计与试验[J]. 农业工程学报,2009,25(9):117~121.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on the driving disc of anti-blocking unit for no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9):117~121. (in Chinese)
- 30 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.
- 31 张喜瑞,何进,李洪文,等. 水平拨草轮式玉米免耕播种机设计和试验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):39~43.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on no-till planter in horizontal residue-throwing finger-wheel type for maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 39~43. (in Chinese)