

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.12.009

# 小麦免耕播种机浮动支撑式防堵装置\*

卢彩云<sup>1</sup> 李洪文<sup>1</sup> 何进<sup>1</sup> 朱惠斌<sup>1</sup> 徐迪娟<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083;

2. 北京农业职业学院机电工程学院, 北京 102208)

**摘要:** 针对我国华北一年两熟区秸秆量大, 根茬粗, 免耕播种机开沟器前易产生壅堵, 影响机具通过性能和播种质量等问题, 设计了一种浮动支撑式防堵装置, 阐述了其工作原理, 设计了主要工作部件, 确定了其结构参数, 并进行了田间性能试验。试验结果表明: 安装有浮动支撑式防堵装置的小麦免耕播种机通过性能良好, 符合农艺要求; 与带状旋耕防堵装置相比, 土壤扰动量减少约 25%, 油耗降低约 7.04%。

**关键词:** 小麦 免耕播种机 浮动支撑 防堵装置

中图分类号: S223.2<sup>5</sup> 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)12-0052-04

## Floated Support Anti-blocking Device of Wheat No-till Seeder

Lu Caiyun<sup>1</sup> Li Hongwen<sup>1</sup> He Jin<sup>1</sup> Zhu Huibin<sup>1</sup> Xu Dijuan<sup>2</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment,

China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102208, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of wheat no-till seeders in annual double cropping area of North China Plain such as large amount of straw-covering, stubble-bulky, residue-blocking, and bad passing capacity and planting quality, the new anti-blocking device using floated support was designed. This paper elaborated the working principle. Major working parts of the anti-blocking device were designed, and the structure parameters were determined. The field experiment showed that the no-till planter with floated support anti-blocking device had good passing capacity. Compare with strip-rotary anti-blocking device, floated support anti-blocking device reduced soil disturbance and oil consumption by 25% and 7.04% respectively.

**Key words:** Wheat No-tillage seeder Floated support Anti-blocking device

### 引言

保护性耕作是对农田实行免耕、少耕, 用作物秸秆覆盖地表, 减少风蚀、水蚀, 提高土壤肥力和抗旱能力的先进耕作技术<sup>[1-2]</sup>。在我国华北一年两熟区, 保护性耕作存在主要问题是: 免耕播种作业时开沟器易堵塞, 尤其是玉米秸秆覆盖地免耕播种小麦时, 因秸秆量大、根茬粗且小麦行距小, 问题更为严

重<sup>[3-4]</sup>。因此, 解决开沟器壅堵是小麦免耕播种机设计需要考虑的关键因素。目前, 免耕播种机防堵装置主要有被动式和主动式两种。被动式防堵装置防堵能力差, 只适用于地表秸秆量小的地块作业, 赵武云等设计了免耕播种机弹齿式防堵装置<sup>[5]</sup>, 刘应回等研制了少耕覆盖播种机<sup>[6]</sup>; 主动式防堵装置适用于秸秆覆盖量大的地块, 何进等设计了动力甩刀式免耕播种机<sup>[7]</sup>, 高焕文等开发了免耕播种机组合

收稿日期: 2012-12-07 修回日期: 2012-12-21

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B08)、国家自然科学基金资助项目(51175499、51205398)和北京市自然科学基金资助项目(6112015)

作者简介: 卢彩云, 博士生, 主要从事保护性耕作研究, E-mail: lucaiyun888@163.com

通讯作者: 李洪文, 教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作研究, E-mail: lhwen@cau.edu.cn

型锯切防堵装置<sup>[8]</sup>;张晋国研制了带状粉碎免耕播种机<sup>[9]</sup>等,主动式防堵装置刀轴转速高,机器振动噪音大,安全性能差。

目前,条带旋耕式小麦免耕播种机是华北一年两熟区保护性耕作的常用机型,条带旋耕可粉碎开沟器前方秸秆,并旋耕与土壤混合,实现玉米秸秆覆盖地直播小麦,但动力消耗大,效率低,对地表破坏严重;同时秸秆、根茬等杂物被高速旋转的旋耕刀抛起,易撒落在播种带上,致使开沟器前方壅堵<sup>[10-11]</sup>。

针对以上问题,基于有支撑切割降低切割阻力的原理,设计一种浮动支撑式防堵装置,并对其防堵性能进行测定。

## 1 结构及工作原理

### 1.1 防堵机构结构

浮动支撑单体主要由支撑板、销轴、弹簧限位杆、旋转轴、辅助转动块和固定座等组成,该单体与切茬直刀共同组成浮动支撑式防堵装置,如图 1 所示。

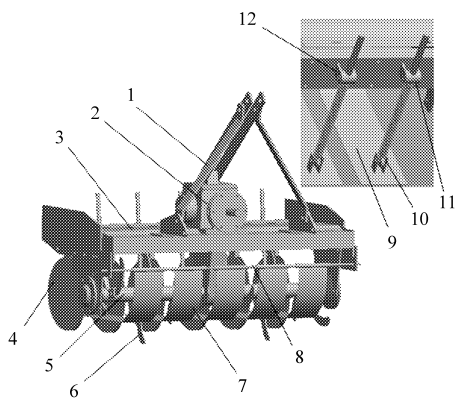


图 1 浮动支撑式防堵装置结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of no-till anti-blocking device with floated support

1. 三点悬挂 2. 齿轮箱 3. 机架 4. 开沟器 5. 刀辊 6. 切茬直刀 7. 浮动支撑单体 8. 旋转轴 9. 支撑板 10. 销轴 11. 转动块 12. 固定座

### 1.2 工作原理

浮动支撑单体通过旋转轴安装在机架上,每把切茬直刀左、右各安装一个浮动支撑单体,为切茬直刀切割秸秆和根茬提供两端支撑,从而实现有支撑切割。拖拉机动力由动力输出轴经万向节传动轴输入齿轮箱,经过减速后将动力传递给刀辊,驱动刀辊旋转,使其以一定转速带动切茬直刀旋转。切茬直刀的主要功能是切断播种带上的秸秆和根茬,疏松土壤,为开沟器顺利通过和播种提供保障。切茬直刀作业时分布在两侧的浮动支撑单体压住秸秆和根茬,为切割提供两端支撑;浮动支撑单体的主要功能

为与切茬直刀配合作业完成支撑切割,降低切割阻力;压住秸秆和根茬,阻止其向后抛撒落在播种带上,导致开沟器前方堵塞,影响播种施肥效果。为降低地表面不平造成的影响,浮动支撑单体上安装弹簧限位杆进行仿形,当地表突然升高时浮动支撑单体绕旋转轴向上浮动;地表降低时亦然。由于弹簧预紧力的作用,浮动支撑单体浮动范围有限(结合试验田地表面情况,选择浮动范围约 20 mm),从而保证弹性支撑板能够较好地在地表上滑过。浮动支撑式防堵装置能够有效完成支撑切割,降低切割阻力;压住秸秆和根茬,保持播种带清洁,为开沟器顺利完成施肥播种提供良好的环境。

## 2 关键部件设计

### 2.1 浮动支撑式防堵装置的配置

浮动支撑式防堵装置由浮动支撑单体和切茬直刀组成。每把切茬直刀两侧各配置 1 个浮动支撑单体,浮动支撑板侧边距离切茬直刀的最小距离为 30 mm,两个浮动支撑单体的中心距离为 200 mm,如图 2 所示。

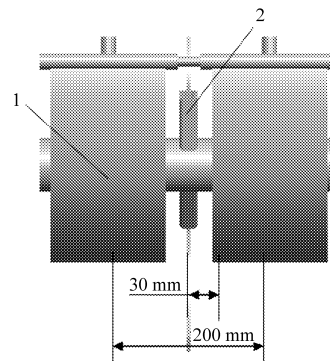


图 2 浮动支撑单体与切茬直刀的距离示意图

Fig. 2 Distance between floated support devices and with blade

1. 浮动支撑单体 2. 切茬直刀

### 2.2 切茬直刀的主要参数

切茬直刀布置在开沟器正前方,采用带状分布,确定切茬直刀入土深度  $H$ 、回转半径  $R$  及转速  $n$  是设计切茬直刀的关键。

#### 2.2.1 入土深度 $H$

在我国华北一年两熟区,玉米根茬主要生长在 0 ~ 100 mm 土层,主根在地下深度 45 mm 范围内根茬密集,根茬最大横截面处深度为 72 mm。小麦播种深度为 30 ~ 50 mm,施肥深度为 80 ~ 100 mm,为确保切茬直刀切断根茬秸秆后种肥开沟器能够顺利入土并通过,确定切茬直刀的入土深度  $H$  为 80 mm。

#### 2.2.2 回转半径 $R$

刀轴离地面过低会缠草和堵塞,因此切茬直刀

的回转半径不能太小;随着回转半径的增大,刀轴所受的扭矩会不断增加<sup>[12]</sup>。综合考虑上述因素,刀轴与地面距离  $L$  应在 100 ~ 120 mm 之间,由此求得切茬直刀的回转半径为

$$R = R_1 + L + H \quad (1)$$

式中  $R_1$ ——刀轴半径

选择刀轴半径  $R_1 = 35$  mm,则回转半径  $R$  介于 215 ~ 235 mm 之间,选择回转半径  $R$  为 225 mm。

### 2.2.3 转速 $n$

支撑切割时有效切断秸秆的临界切割线速度为 7.4 m/s<sup>[13]</sup>。切茬直刀的线速度  $v$  由机具前进速度  $v_m$  和切刀转动速度  $v_1$  两部分合成。

$$n = \frac{v_1}{2\pi R} \quad (2)$$

由于机器前进速度  $v_m$  相对切刀平面上点绕刀轴的线速度  $v$  要小得多,线速度可近似切刀转动速度,由式(2)可得刀轴转速  $n$  为 320 r/min。

## 2.3 浮动支撑单体的主要参数

浮动支撑单体分布在切茬直刀两侧,主要由支撑板、销轴、弹簧限位杆、旋转轴、辅助转动块和固定座等组成。

### 2.3.1 浮动支撑单体受力分析

浮动支撑单体的作用是与切茬直刀共同作用实现有支撑切割,阻止秸秆在切茬直刀作用时被推向后方;同时阻止被切断的秸秆和根茬向后抛撒落在播种带上。秸秆受力如图 3 所示,对秸秆进行受力分析可得

$$\begin{cases} N_2 \sin\theta + f_2 \cos\theta - T \cos\theta - f_1 = 0 \\ N_1 + f_2 \sin\theta - N_2 \cos\theta - T \sin\theta - Mg = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中  $T$ ——切茬直刀对秸秆剪切力

$f_1$ ——地面对秸秆的摩擦力

$f_2$ ——弹性支撑板对秸秆的摩擦力

$N_1$ ——地面对秸秆的法向反力

$N_2$ ——弹性支撑板对秸秆的压力

$M$ ——被压秸秆质量

$\theta$ ——在工作处弹性支撑板与地面的夹角

其中,  $N_2$  为弹性支撑板重力、弹簧预紧力综合作用力。若要秸秆不被切茬直刀推向后方,弹性支撑板对秸秆的水平分力必须大于等于切茬直刀对秸秆剪切力的水平分力,即

$$N_2 \sin\theta + f_2 \cos\theta \geq T \cos\theta \quad (4)$$

由式(4)可知,夹角  $\theta$  对作业效果至关重要,试验表明,  $\theta$  取 20° 时效果较好。

弹性支撑板左侧销轴安装在机架上,右侧浮动支撑装置固定座铰接弹簧限位杆实现仿形,能够较好地适应地表环境。

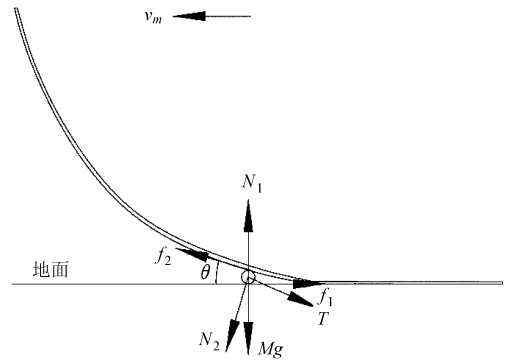


图3 浮动支撑式防堵装置中秸秆受力分析图

Fig.3 Force analysis of straw with no-till anti-blocking device with floated support

### 2.3.2 支撑板宽度 $W$

支撑板配置在切茬直刀两侧,支撑板与切茬直刀的间隙太小会产生干涉,间隙太大会影响支撑效果,综合考虑以上因素,通过室内试验选取支撑板宽度  $W$  为 140 mm。

## 2.4 双圆盘开沟器

双圆盘开沟器的圆盘有刃口,滚动时可切碎土块,切断草根和残茬,能够有效防止缠草;双圆盘开沟器不易粘土,能够有效减少堵塞。本装置选用双圆盘开沟器,配置在切茬直刀正后方,通过 U 型螺栓固定在播种机后梁上。为防止圆盘直径太小导致转动不灵而塞土,增加工作阻力,影响播种效果,结合小麦免耕播种机结构特点,选择圆盘直径  $d$  为 350 mm。两圆盘夹角有利于开沟器开沟,圆盘夹角大,开出的沟宽大,工作阻力大;圆盘夹角小,双圆盘之间的空间无法容纳输种管。常用的圆盘夹角为 9° ~ 16°,在此设计圆盘夹角  $\varphi$  为 10°。

## 3 田间试验与结果分析

### 3.1 试验条件

田间试验在河北省涿州市一年两熟试验地进行,前茬作物为玉米,行距 600 mm,收获后秸秆粉碎还田,秸秆覆盖量为 2 kg/m<sup>2</sup>, 0 ~ 100 mm 土层土壤含水率为 14%,土壤坚实度为 2 MPa。

将浮动支撑式防堵装置安装在具有变速箱的小麦免耕播种机机架上进行田间试验,幅宽 1.3 m,由 66 kW 拖拉机带动。机具前进速度 4.0 km/h,开沟器开沟深度为 80 mm。

### 3.2 试验内容与方法

#### (1) 机具通过性

根据农业部农机鉴定总站免耕播种机性能检测要求,以 60 m 作业距离内发生堵塞的程度进行分类,如果出现秸秆壅塞、不停机无法继续作业为严重堵塞;如果秸秆壅塞、不需停机清堵为一般堵塞;如果发生秸秆壅

塞、但能从开沟器间自动流过则为轻度堵塞<sup>[14]</sup>。

### (2) 土壤扰动量

开沟播种时动土量小,能够保墒、保水,减少拖拉机动力消耗,因此保护性耕作要求在满足种子发芽和根系生长的前提下,尽量减少地表土壤扰动量。土壤扰动量为<sup>[15]</sup>

$$k = \frac{D}{S} \times 100\% \quad (5)$$

式中  $k$ ——土壤扰动量, %

$D$ ——实际的开沟宽度, mm

$S$ ——播种行距, mm

### (3) 沟形尺寸

拖拉机以正常速度播种后,随机取 2 行,每行 50 m 内随机取 10 个点,人工扒开土层测量沟形尺寸<sup>[11]</sup>。

### (4) 动力消耗

使用 CTM-2003B 型农机综合测试仪测量油耗、速度和牵引力等。设置机组行走 50 m 时,仪器自动停止测量,打印一次测试结果,每一组数据测试 3 次。单位面积油耗量为

$$P = \frac{10P_t}{v_m D_w} \quad (6)$$

式中  $P_t$ ——小时油耗, L/h

$v_m$ ——机组前进速度, km/h

$D_w$ ——播种机工作幅宽, mm

## 3.3 试验结果与分析

### 3.3.1 机具通过性

安装浮动支撑式防堵装置的小麦免耕播种机,分别配置双圆盘开沟器和锄铲式开沟器进行对比试验,以分析浮动支撑式防堵装置的通过性能,试验重复 3 次,试验结果如表 1 所示。配置双圆盘开沟器的播种机没有出现堵塞,安装锄铲式开沟器的播种机出现 1 次轻度堵塞和 1 次严重堵塞。观察试验过程发现,2 种防堵装置在开沟器前方均无堵塞,支撑板能够很好压住秸秆、残茬等杂物,流动较少。双圆盘开沟器开沟宽度小,能够有效避免缠草,没有出现堵塞现象;而锄铲式开沟器入土角较大,入土阻力较大,开沟器经过秸秆时,会带动秸秆向前移动,而锄

铲式开沟器自身没有去除缠草能力,当缠草达到一定水平后,容易产生堵塞。

表 1 两种防堵装置防堵性能对比

Tab. 1 Comparison of anti-blocking capability for floated support anti-blocking devices with two different openers

开沟器类型	无堵塞/次	轻度堵塞/次	严重堵塞/次
双圆盘	3	0	0
锄铲式	1	1	1

### 3.3.2 沟形尺寸与土壤扰动量

对配置双圆盘开沟器的播种机作业沟形尺寸进行了测定,测定结果为:机器前进速度 4.0 km/h,开沟深度 80 mm,理论开沟宽度 60 mm,实际开沟宽度 80 mm,土壤扰动量 40%。由施肥开沟深度可知,浮动支撑式防堵装置能够满足种肥分施要求。试验过程发现,实际开沟宽度要高于理论开沟宽度,这是由于入土部件(切茬直刀、开沟器等)在工作过程中,将沟行的土推向两侧,既而推动沟行两侧的土继续向两侧扩散,直到作用力变小无法将土推动。由于采用切茬直刀,土壤扰动量较小,土壤扰动量为 40%。与带状旋耕式防堵装置相比,土壤扰动量减少 25%<sup>[14]</sup>。

### 3.3.3 动力消耗

当机器前进速度为 4 km/h 时,带状旋耕式防堵装置的油耗为 14.21 L/hm<sup>2</sup>,浮动支撑式防堵装置的油耗为 13.21 L/hm<sup>2</sup>,比带状旋耕减少 7.04%。这是由于浮动支撑式防堵装置能够降低秸秆和根茬的切割阻力,从而降低机具单位油耗。

## 4 结论

(1) 浮动支撑式防堵装置配置在小麦免耕播种机上,作业时通过性能良好,没有出现堵塞,满足农艺要求。

(2) 采用浮动支撑式防堵装置与双圆盘开沟器联合防堵,与带状旋耕式防堵装置相比,浮动支撑式防堵装置土壤扰动量减少 25%。

(3) 浮动支撑式防堵装置利用支撑板压住秸秆和根茬,为动力切割提供两端支撑,动土量少,功耗低,与带状旋耕式防堵装置相比,油耗降低 7.04%。

## 参 考 文 献

- 1 农业部农业机械化推广司. 中国保护性耕作[M]. 北京:中国农业出版社,2008.
- 2 Kihara J, Bationo A, Mugendi N D, et al. Conservation tillage, local organic resources and nitrogen fertilizer combinations affect maize productivity, soil structure and nutrient balances in semi-arid Kenya [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 90(2): 213 ~ 225.
- 3 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 2BMX-5 型小麦玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报,2008,39(12):64~68. Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 64 ~ 68. (in Chinese)

- [J]. *Soil Science*, 1995, 160(3): 149.
- 15 周凌云, 陈志雄, 李卫民. TDR 法测定土壤含水量的标定研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(1): 59 ~ 64.  
Zhou Lingyun, Chen Zhixiong, Li Weimin. Calibration on measurement of soil water content using time domain reflectometry (TDR) [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 59 ~ 64. (in Chinese)
- 16 Deeds N E, McKinney D C, Pope G A, et al. Difluoromethane as partitioning tracer to estimate vadose water saturations [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1999, 125(7): 630 ~ 633.
- 17 Brusseau M L, Popovicova J, Silva J A K. Characterizing gas-water interfacial and bulk-water partitioning for transport of gas-phase contaminants in unsaturated porous media [J]. *Environmental Science & Technology*, 1997, 31: 1 645 ~ 1 649.
- 18 Nelson N T, Brusseau M L, Carlson T D. A gas-phase partitioning tracer method for the in situ measurement of soil-water content [J]. *Water Resource Research*, 1999, 35(12): 3 699 ~ 3 707.
- 19 Kim H, Rao P S C, Annable M D. Gaseous tracer technique for estimating air-water interfacial areas and interface mobility [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(6): 1 554 ~ 1 560.
- 20 Carlson T D, Costanza-Robinson M S, Keller J, et al. Intermediate-scale tests of the gas-phase partitioning tracer method for measuring soil-water content [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(2): 483 ~ 486.
- 21 韩小平, 王沛华, 崔传金, 等. 土样盒土表特征对近红外光谱测量土壤水分精度的影响 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 47 ~ 51.  
Han Xiaoping, Wang Peihua, Cui Chuanjin, et al. Influence of soil surface disposal on precision of measuring soil water by near-infrared spectroscopy [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(6): 47 ~ 51. (in Chinese)
- 22 马红章, 柳钦火, 王合顺, 等. 基于微波干涉技术的土壤介电特性测量 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 159 ~ 163.  
Ma Hongzhang, Liu Qinhua, Wang Heshun, et al. Soil dielectric characteristic determination based on microwave interferometry theory [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(9): 159 ~ 163. (in Chinese)
- 23 施阁, 李青, 孙延伟, 等. 基于边缘电场的电容式土壤含水量监测仪 [J]. *农机化研究*, 2009(11): 86 ~ 89.
- 24 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 14 ~ 15.
- 25 马玉莹, 雷廷武, 张心平, 等. 体积置换法直接测量土壤质量含水率及土壤容重 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 86 ~ 93.

~~~~~

(上接第 55 页)

- 4 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 CSAE*, 2004, 20(1): 108 ~ 112. (in Chinese)
- 5 赵武云, 张锋伟, 吴劲锋, 等. 免耕播种机弹齿式防堵装置 [J]. *农业机械学报*, 2007, 38(3): 188 ~ 190.
- 6 刘应回, 费国胜. 少耕覆盖播种机: 中国, CN01222698. X [P]. 2002-04-10.
- 7 何进, 李洪文, 王庆杰, 等. 动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机 [J]. *农业机械学报*, 2011, 42(10): 51 ~ 55.  
He Jin, Li Hongwen, Wang Qingjie, et al. Powered hammering blade no-till wheat seeder for permanent raised beds [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(10): 51 ~ 55. (in Chinese)
- 8 高焕文, 廖庆喜, 李洪文. 免耕播种机组合型锯切防堵装置: 中国, CN03264397.7 [P]. 2004-08-04.
- 9 张晋国. 带状粉碎免耕播种机的试验研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2001.  
Zhang Jinguo. Study on the strip chopping anti-blocking no-till planter [D]. Beijing: China Agricultural University, 2001. (in Chinese)
- 10 马洪亮. 免耕播种机玉米秸秆根茬切断装置的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006.  
Ma Hongliang. Study on the cutting corn stalk and rootstalk device of no-tillage drill [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 11 张喜瑞. 我国北方一年两熟区小麦免耕播种机防堵装置研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2010.  
Zhang Xirui. Study on anti-blocking mechanism for wheat no-till planter in annual two crops region of China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 12 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 CSAE*, 2009, 25(9): 117 ~ 121. (in Chinese)
- 13 马洪亮, 魏淑艳. 一年两熟地区玉米秸秆根茬处理和小麦免耕作业方式的分析 [J]. *中国农机化*, 2012(1): 60 ~ 64.  
Ma Hongliang, Wei Shuyan. Analysis of the dealing with maize residue and the mode of no-till drilling wheat in double-crop regions in north China [J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2012(1): 60 ~ 64. (in Chinese)
- 14 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 CSAE*, 2012, 28(1): 27 ~ 31. (in Chinese)
- 15 王庆杰, 李洪文, 何进, 等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 39 ~ 43.  
Wang Qingjie, Li Hongwen, He Jin, et al. Effects of wide-ridge and narrow-row no-till cultivation on soil water and maize yield [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(8): 39 ~ 43. (in Chinese)