

## 2BMFJ-3 型茬地大豆免耕覆秸精量播种机功耗与油耗特性试验

吴广伟<sup>1</sup>, 陈海涛<sup>1</sup>, 纪文义<sup>1</sup>, 顿国强<sup>1</sup>, 王汉羊<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江八一农垦大学 工程学院, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:**以机组作业速度(3.6, 4.5, 5.4 km·h<sup>-1</sup>)和清秸刚齿入土深度(20, 30 和 40 mm)为影响因素,以拖拉机功耗、滑转率和燃油消耗率为目标函数,采用二因素三水平正交试验对2BMFJ-3型茬地大豆免耕覆秸精量播种机功耗与油耗特性进行了研究。结果表明:随着机组作业速度和清秸刚齿入土深度的增加,拖拉机功耗和滑转率呈线性增加趋势,燃油消耗率呈线性减小趋势;机组最佳作业参数组合为机组作业速度为4.5 km·h<sup>-1</sup>和清秸刚齿入土深度20 mm,此时拖拉机功耗15.80 kW、滑转率13.95%、燃油消耗率341.6 g·kW<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>。2BMFJ-3型茬地大豆免耕覆秸精量播种机理论配套动力为17.56 kW 四轮驱动拖拉机。

**关键词:**免耕;播种机;功耗;油耗

中图分类号:S223.2

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.04.0589

## Power and Fuel Consumption of 2BMFJ-3 No-tillage Soybean Precision Seeder in Stubble Field

WU Guang-wei<sup>1</sup>, CHEN Hai-tao<sup>1</sup>, JI Wen-yi<sup>1</sup>, DUN Guo-qiang<sup>1</sup>, WANG Han-yang<sup>2</sup>

(1. Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Engineering College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

**Abstract:** The orthogonal experiment of two factors with three levels was employed to analyze power and fuel consumption characteristics of 2BMFJ-3 no-tillage soybean precision seeder in a stubble field. Operating speed of unit (3.6, 4.5, 5.4 km·h<sup>-1</sup>) and cutting depth of the rigid-tooth (20, 30, 40 mm) were selected as input variables, and power consumption, slip rate and fuel consumption rate were selected as response functions. The results indicated that, with increase of operating speed of unit or cutting depth of the rigid-tooth, both power consumption and slip rate of tractor would increase while fuel consumption rate decrease; when the operating speed of unit was 4.5 km·h<sup>-1</sup> and the cutting depth of the rigid-tooth was 20 mm, the tractor power consumption, slip rate and fuel consumption rate was 15.80 kW, 13.95% and 341.6 g·kW<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, respectively. Optimal mating power of 2BMFJ-3 no-tillage soybean precision seeder in stubble field was 17.56 kW tractor of four-wheel drive.

**Key words:** No-tillage; Seeder; Power consumption; Fuel consumption

保护性耕作技术具有节水节肥、保护环境和抑制耕地退化的作用,而免耕播种机是保护性耕作技术的关键环节之一<sup>[1-3]</sup>。在我国黄淮海一年两熟地区,冬小麦收获后秸秆覆盖量大,留茬高,传统的免耕播种机作业时极易发生播种单体被秸秆和根茬堵塞的情况,影响正常播种作业。经过多年努力,我国已研制出一批带有被动式或主动式防堵装置的免耕播种机,以带有拨草轮、导草轮等被动式防堵装置为典型的免耕播种机,具有结构简单、土壤扰动小的特点,但主要用于秸秆覆盖量较少、对机具通过性能要求较低的地区<sup>[4-7]</sup>。而带有旋耕灭茬、带状旋耕、条带粉碎等主动式防堵装置的免耕播种机,能够较好地解决秸秆覆盖量大地区的秸秆堵塞问题,但土壤扰动量和功率消耗大<sup>[8-9]</sup>。因此,研制一种适用于黄淮海地区的防堵性能好、播种质

量高、节省功耗和油耗的茬地免耕播种机具有重要意义。2BMFJ-3型茬地大豆免耕覆秸精量播种机利用秸秆横向清理抛送的防堵机理,工作时先将地面的秸秆和根茬清理抛送到播种机侧方,再进行施肥播种作业,回程作业时又将秸秆和根茬均匀地覆盖回已播地块,可起到保水保土和提高土壤有机质含量的作用<sup>[10-12]</sup>。

本文通过对2BMFJ-3型茬地大豆免耕覆秸精量播种机的功耗与油耗特性进行试验与分析,旨在为该播种机的配套拖拉机选择和同系列新产品的研发提供理论参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 仪器及设备

试验所使用的主要仪器及设备有2BMFJ-3型

收稿日期:2013-09-13

基金项目:国家现代农业产业技术专项(CARS-04-PS22);国家公益性行业(农业)科研专项(201303011)。

第一作者简介:吴广伟(1988-),男,硕士,主要从事农业机械装备研究。E-mail:guangwei1234@126.com。

通讯作者:陈海涛(1963-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备及生物质材料研究。E-mail:htchen@neau.edu.cn。

茬地大豆免耕覆秸精密播种机、奔野 324 型拖拉机、JWY-1 型微机多功能油耗仪、功耗测试系统(包括弯矩传感器、扭矩传感器、霍尔转速传感器、集流环、YD-15 电阻应变仪、计算机等)、SZ-3 土壤硬度计(精度:  $\pm 1\%$ )和 SU-LB 土壤水分测定仪(精度:  $\pm 2\%$ )等。试验仪器设备连接如图 1 所示。



图 1 试验仪器设备连接图

Fig. 1 Connection diagram of the test apparatuses

## 1.2 试验设计

试验于 2012 年 8 月在国家大豆产业技术体系机械功能研究室实验基地进行。土壤平均含水率为 19.3%, 0~50 mm 土层的土壤坚实度平均为 2.34 MPa, 小麦根茬秸秆平均厚度为 180 mm, 秸秆平均含水率为 23.6%。

采用二因素三水平正交试验设计方法, 以拖拉机功耗( $y_1$ )、滑转率( $y_2$ )和燃油消耗率( $y_3$ )为目标函数, 以机组作业通过性为试验参考指标, 选择机组作业速度(A)和清秸刚齿入土深度(B)为影响因素, 各因素水平为机组作业速度(3.6, 4.5 和 5.4  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )和入土深度(20, 30 和 40 mm), 试验按照  $L_9(3^4)$  正交表安排, 每组试验重复 3 次, 取其平均值作为试验结果。

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 功耗 拖拉机功耗包括牵引播种机功耗与驱动清秸装置旋转作业功耗两部分。通过弯矩和扭矩传感器可分别将拖拉机所受牵引阻力和旋转扭矩测出, 采用霍尔转速传感器检测拖拉机动力输出轴转速, 机组作业速度试验前已设定好, 则根据式(1)可计算出 2BMFJ-3 型播种机组的功耗<sup>[13-15]</sup>。

$$P = Fv + Mn/9550 \quad (1)$$

式中,  $P$ —功耗(kW);  $F$ —拖拉机牵引阻力(N);  $v$ —机组作业速度( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $M$ —播种机动力输出轴所受扭矩( $\text{N}\cdot\text{m}$ );  $n$ —拖拉机动力输出轴转速( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ )。

1.3.2 滑转率 拖拉机滑转率<sup>[16]</sup>根据式(2)进行计算。

$$\delta = \frac{n_f - n_k}{n_k} \times 100 \quad (2)$$

式中,  $\delta$ —拖拉机滑转率(%);  $n_f$ —拖拉机在某一负荷下通过试验区段左右驱动轮的总转数均值(圈数);  $n_k$ —拖拉机无负荷通过试验区段左右驱动轮的总转数均值(圈数)。

1.3.3 燃油消耗率 拖拉机燃油消耗率<sup>[17]</sup>根据式(3)进行计算。

$$g_T = \frac{G_T}{P} \quad (3)$$

式中,  $g_T$ —燃油消耗率( $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $G_T$ —拖拉机每小时油耗量( $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $P$ —功耗(kW)。

1.3.4 作业通过性 根据农业部农机鉴定总站制定的免耕播种机性能检测项目与检测方法, 设定测试区段长度为 60 m, 在一个往返行程内, 按机具发生堵塞的程度进行分类, 如果出现秸秆、根茬壅堵且不停机就无法正常作业为重度堵塞; 如果发生秸秆、根茬壅堵, 不需停机清堵为中度堵塞; 如果发生秸秆、根茬壅堵, 但堵塞物能自行从开沟器间流过则为轻度堵塞, 试验过程中, 机具不发生堵塞或发生一次轻度堵塞为合格<sup>[18]</sup>。

## 1.4 数据处理

利用 Design-Expert 6.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 正交试验结果及方差分析

由表 1 可知, 在试验水平范围内, 拖拉机功耗范围为 13.89~19.5 kW, 滑转率范围为 11.47%~18.26%, 燃油消耗率范围为 330.4~353.2  $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。对表 1 中试验数据进行方差分析, 所得结果如表 2 所示。各因素对功耗均有极显著影响, 主次顺序为 A > B; 各因素对滑转率均有极显著影响, 主次顺序为 A > B; 机组作业速度对拖拉机燃油消耗率影响显著, 清秸刚齿入土深度在试验范围内对拖拉机燃油消耗率影响不显著, 主次顺序为 A > B。

表 1 正交试验结果

Table 1 Orthogonal test results

序号 Serial number	因素 Factors		目标函数 Objective functions			
	A/ km·h <sup>-1</sup>	B/ mm	y <sub>1</sub> / kW	y <sub>2</sub> / %	y <sub>3</sub> / g·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	通过性 Passing ability
1	3.6	20	13.89	11.47	353.2	0
2	3.6	30	14.88	13.52	349.6	0
3	3.6	40	16.21	14.73	348.8	0
4	4.5	20	15.80	13.95	348.0	1
5	4.5	30	16.76	14.90	344.0	0
6	4.5	40	18.32	16.45	341.6	0
7	5.4	20	16.20	14.87	349.0	2
8	5.4	30	18.02	16.61	332.2	2
9	5.4	40	19.50	18.26	330.4	1

0:表示无堵塞;1:表示轻度堵塞;2:表示重度堵塞。

0:Means no blockage;1:Means slight blockage;2:Means serious blockage.

表 2 方差分析

Table 2 Variance analysis results

	来源 Source	平方和 Square sum	自由度 df	均方和 Mean square sum	F 值 F value	显著性 Significance
y <sub>1</sub>	模型 Model	25.31	4	6.33	48.25	**
	A	14.15	2	7.08	53.98	**
	B	11.15	2	5.58	42.53	**
	误差 Error	0.52	4	0.13		
	总和 Total	25.83	8			
y <sub>2</sub>	模型 Model	30.77	4	7.69	76.15	**
	A	16.81	2	8.40	83.20	**
	B	13.96	2	6.98	69.11	**
	误差 Error	0.40	4	0.10		
	总和 Total	31.17	8			
y <sub>3</sub>	模型 Model	432.52	4	108.13	5.59	*
	A	267.56	2	133.78	6.91	*
	B	164.97	2	82.48	4.26	
	误差 Error	77.40	4	19.35		
	总和 Total	509.93	8			

## 2.2 作业速度对各项指标的影响

固定刚齿入土深度为 30 mm 时,由图 2a、b 可知,功耗和滑转率随着机组作业速度的增加而增大。这是因为播种机的牵引功率与机组前进速度和牵引阻力的乘积呈正相关关系,机组作业速度的增加,必将导致机组牵引功率的增加;同时机组作业速度增加会使播种机种、肥开沟器开沟阻力和清秸刚齿切土阻力都增大,使得拖拉机牵引负荷加大,从而使滑转率增大。由图 2c 可知,燃油消耗率随着机组作业速度的增加而减小。这是因为在试

验范围内机组作业速度增加时,尽管拖拉机的燃油消耗量增加,但同时功耗增加的幅度更大,因此千瓦小时耗油量,即燃油消耗率呈减小趋势。清秸刚齿入土深度一定时,机组通过性随机组作业速度的增加而降低。这是因为机组作业速度的增加,一方面加大了清秸刚齿在地面上的打击点间距,减弱了其对地面上根茬的打击效果,根茬清除率减小;另一方面机组前进相等距离时,秸秆和根茬的横向传递距离变短,秸秆和根茬来不及向侧方抛出,导致机组作业通过性降低。

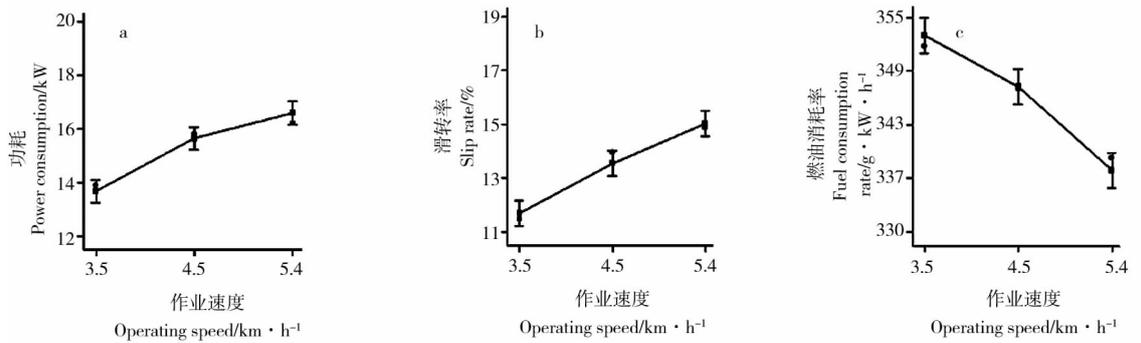


图2 作业速度对各项指标的影响

Fig. 2 Effects of operating speed on objective functions

### 2.3 清秸刚齿入土深度对各项指标的影响

固定机组作业速度为  $4.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时,清秸刚齿入土深度对各项指标的影响规律如图3所示。由图3a、b可知,功耗和滑转率随着清秸刚齿入土深度的增加而增大,因为清秸刚齿入土深度的增加直接导致牵引阻力和动力输出轴阻力矩增加,进而引起功耗和滑转率的增大;由图3c可知,燃油消耗率随着清秸刚齿入土深度的增加而减小,因为入土深度增加引起拖拉机耗油量和功耗增加,功耗增加的幅度较耗油量增加幅度略大,因此燃油消耗率略有减小,但该因素影响不显著。机组作业速度一定时,机组作业通过性随清秸刚齿入土深度的增加而提高。这是因为清秸刚齿入土深度的增加,加强了清秸刚齿对根茬的打击效果,根茬清除率变大,种床整备质量提高,机组作业通过性提高。

### 2.4 作业参数优化分析

依据《GB/T 3871.9-2006 农业拖拉机试验规程

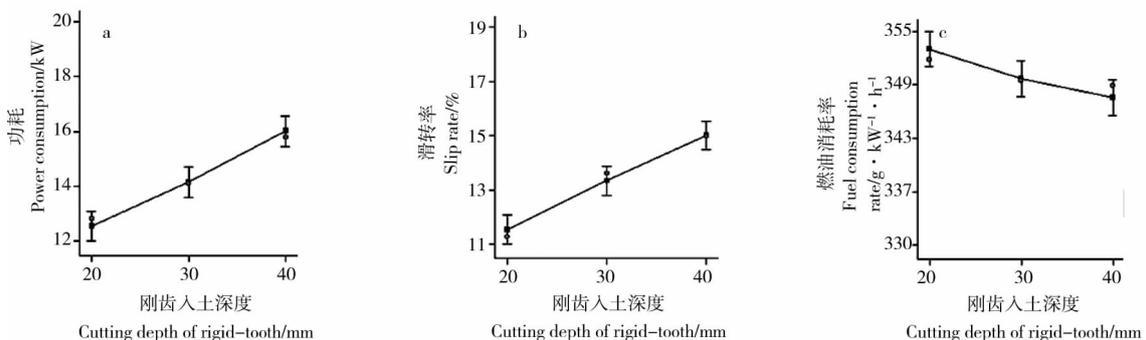


图3 刚齿入土深度对各项指标的影响

Fig. 3 Effects of cutting depth of rigid-tooth on different objective function

## 3 结论

在试验因素设定水平范围内,随着机组作业速度和清秸刚齿入土深度的增加,拖拉机功耗和滑转率呈增大趋势,燃油消耗率呈减小趋势;机组作业

第9部分:牵引功率试验》中规定,轮式拖拉机滑转率不应超过15%。根据王汉羊等<sup>[10,12]</sup>的研究可知,播种机在不发生重度堵塞条件下,各项组合参数的播种质量均可达到国家规定的一等品或优等品要求。综合以上分析,在满足拖拉机滑转率不大于15%、播种机播种质量和通过性要求的前提下,以播种机组作业效率最大、功耗和燃油消耗率均较低为原则,通过 Design-Expert6.0 软件优化分析得到:当机组作业速度  $4.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、清秸刚齿入土深度 20 mm 时,拖拉机功耗为 15.80 kW,滑转率为 13.95%,燃油消耗率为  $341.6 \text{ g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

根据机组配备原则,为保证拖拉机的经济性和效率,发动机应在90%额定功率以上的负荷条件下工作。故该播种机理论配套动力为 17.56 kW 四轮驱动拖拉机。

速度对各性能指标均有显著或极显著影响,清秸刚齿入土深度对功耗和滑转率影响极显著,对燃油消耗率影响不显著。

机组最佳作业参数组合为作业速度  $4.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、刚齿入土深度 20 mm,此时拖拉机功耗为

15.80 kW、滑转率为 13.95%、燃油消耗率为  $341.6 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2BMFJ-3 型茬地大豆免耕覆秸精量播种机理论配套动力为 17.56 kW 四轮驱动拖拉机。

## 参考文献

- [1] 王长生,王遵义,苏成贵,等. 保护性耕作技术的发展现状[J]. 农业机械学报,2004,35(4):167-169. (Wang C S, Wang Z Y, Su C G, et al. Development and application of protective farming technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2004,35(4):167-169.)
- [2] 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 H W, Li H W, Li W Y. Development of conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(9):43-48.)
- [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. (Li A N, Fan X M, Wu C Y, 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.)
- [4] 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 Q J, He J, Yao Z L, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery,2008,39(6):68-72.)
- [5] 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 X R, He J, Li H W, 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.)
- [6] 马洪亮,高焕文,魏淑艳. 驱动缺口圆盘玉米秸秆根茬切断装置的研究[J]. 农业工程学报,2006,22(5):86-89. (Ma H L, Gao H W, Wei S Y. Driven gap disc cutting mechanism for treating corn stalk and rootstalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(5):86-89.)
- [7] 吴仕宏,包文育,李宝筏. 东北垄作玉米破茬试验装置的研究[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(4):657-659. (Wu S H, Bao W Y, Li B F. Experiment of no-tillage maize residues cutting of the ridge cropping system in northeast area of China[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2006,37(4):657-659.)
- [8] 高焕文,李洪文,姚宗路. 轻型高防堵性能免耕播种机研究[J]. 中国工程科学,2007,9(9):35-39. (Gao H W, Li H W, Yao Z L. Study on the light no-till seeders with high anti-blockage performance[J]. Engineering Science,2007,9(9):35-39.)
- [9] 王刚,李问盈. 带状浅旋小麦播种机的研究[J]. 农机化研究,2007(2):153-155. (Wang G, Li W Y. Study on strip rotary tillage wheat seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007(2):153-155.)
- [10] 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):64-69. (Wang H Y, Chen H T, Ji W Y. Anti-blocking mechanism of type 2BMFJ-3 no-till precision planter for wheat stubble fields[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(4):64-69.)
- [11] Wang H Y, Chen H T, Ji W Y. Design and experiment of cleaning and covering mechanism for no-till seeder in wheat stubble fields [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(S2):7-12.
- [12] 王汉羊,陈海涛,纪文义,等. 2BMFJ-3 型茬地大豆免耕覆秸精量播种机性能试验研究[J]. 大豆科技,2012(2):43-46. (Wang H Y, Chen H T, Ji W Y, et al. Performance test on 2BMFJ-3(B) no-tillage soybean precision seeder in stubble field[J]. Soybean Bulletin,2012(2):43-46.)
- [13] 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. (Gong L N, Gao H W, Jiang J L. Experimental study on power dissipation of corn rootstalk treatment device of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2008,24(7):124-127.)
- [14] 李春林,陈青春,丁启朔. 用于土壤压实检测的土压力传感器标定[J]. 实验技术与管理,2010,27(4):63-66. (Li C L, Chen Q C, Ding Q S. Calibration of soil pressure sensors for soil compaction monitoring[J]. Experimental Technology and Management,2010,27(4):63-66.)
- [15] 李江全,吴进河. 农机动力参数微机辅助标定测试系统的开发与应用[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1999,3(1):47-51. (Li J Q, Wu J H. Computer-aided calibration test system of farm machinery power parameter[J]. Journal of Shihezi University (Natural Science),1999,3(1):47-51.)
- [16] 张京开. 拖拉机田间滑转率测定的理论探讨[J]. 农业试验与推广,1996(1):11-12. (Zhang J K. The theory study of tractor field slip rate[J]. Test and Spread of Agricultural,1996(1):11-12.)
- [17] 罗红旗,高焕文,李洪文,等. 玉米垄作免耕播种机油耗试验与分析[J]. 农业机械学报,2009,40(10):49-52. (Luo H Q, Gao H W, Li H W, et al. Fuel consumption test and analysis for the ridge-till no-till corn planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(10):49-52.)
- [18] 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 N N, Zhang D X, Yang L, et al. Design and experiment of drum-type anti-blocking mechanism of no-till planter for maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(12):31-37.)