

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.02.010

# 槽缝气吸式小麦精量排种器\*

赵晓顺 于华丽 张晋国 霍晓静 陈凤艳 赵金

(河北农业大学机电工程学院, 保定 071001)

**摘要:** 设计了一种槽缝气吸式小麦排种器。通过试验对比分析了梯形、U形、V形以及“1”字缝隙式槽缝结构的排种器吸种均匀性,梯形槽缝式排种器的吸种变异系数最小,为7.0%,排种种子破损率小于0.30%,满足小麦精量播种的要求。但是由于在实际作业时,风机负压的波动,各缝隙处的气流吸力的差异,致使该排种器的各行排种量一致性没有提高,在不同变速情况下各行排种量的变异系数不大于4.4%。

**关键词:** 小麦 排种器 气吸式 槽缝

**中图分类号:** S223.2\*5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)02-0048-04

## Slot-type Pneumatic Precise Wheat Seed-metering Device

Zhao Xiaoshun Yu Huali Zhang Jinguo Huo Xiaojing Chen Fengyan Zhao Jin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** A kind of trapezoidal slot-type pneumatic wheat seed-metering device was designed. Through experiments, the sucking seed uniformity of the seed-metering device with trapezoidal, U-shape, V-shape slot-type and the straight slot-type was analyzed. The experimental data showed the variation coefficient of the seed-metering device with trapezoidal slot-type was the smallest, which was 7.0%, and the seed breakage rate was lower than 0.30%. These data conformed to the requirement of wheat precise seeding. But in the actual operation because of undulation of negative pressure of the wind machine and difference of air current suction in each row slot-type, the consistency of each line seeding quantity of the seed-metering device was not improved. Its variation coefficient was not more than 4.4% in the different speed change situations.

**Key words:** Wheat Seed-metering device Pneumatic Slot-type

### 引言

小麦精量播种技术具有明显的省种增效、提高产量和品质的特征。影响播种机播种精量的部件主要是排种器<sup>[1-6]</sup>。目前常用的排种器分为机械式和气力式两种,气力式排种器又分为气吸式、气压式和气吹式。我国常用的气吸式排种器主要用于播种玉米,播种小麦的排种器多为槽轮式排种器,结构简单、成本低、工作可靠、调整方便,能够满足一般的播种要求。但是由于其排种的脉动性,对播种均匀性、稳定性有不利影响,很难达到小麦优质高产的目

的<sup>[7-8]</sup>。试验证明,气吸式小麦精密排种器的排种性能远远优于机械式排种器。它具有省种、不伤种并且对不同尺寸的种子具有良好的通用性以及播种均匀性高,易实现精密播种等诸多优点。

奥地利 Wenerster 自走式气吸式精量播种机在许多国家和地区得到推广应用,但主要用于田间小区试验<sup>[2,9]</sup>。美国、澳大利亚、加拿大、法国等西方国家研制并广泛使用了气力式精量播种机械,其中气流一阶分配式集排排种系统大量应用在谷物条播机上,排种器的性能能满足高速作业精量播种的要求,但由于成本高未见引入国内使用<sup>[10-12]</sup>。文献

收稿日期:2012-08-24 修回日期:2012-09-30

\*“十二五”国家粮食丰产科技工程资助项目(2011BAD16B08)和河北省科技支撑计划资助项目(11220619)

作者简介:赵晓顺,讲师,博士生,主要从事农业机械化及智能检测研究,E-mail:zhao\_xsh@126.com

通讯作者:张晋国,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备及农机化管理研究,E-mail:zhangjinguo@hebau.edu.cn

[13~14]显示,梁素钰等研制的组合吸孔式小麦精播机排种器,其性能远远优于机械式精密排种器,但与国外现有气吸式小麦排种器相比,排种量变异系数变化不大,并且至今未见整机试验推广的报道。王永梅研制了一种垂直圆盘气吸式小麦精量排种器,但缺乏对排种器的吸种盘厚度、吸孔形状等重要参数作优化试验研究<sup>[15]</sup>。文献[9]和文献[16]中杜辉等研究了双圆盘气吸式精量播种机,但存在种子下落初速度不为零,种子在种沟内的实际空间分布达不到精量播种的要求。根据文献[17~18],小麦播种过程中均匀种子流的形成取决于排种、投种和着地这3个环节,但是排种器的排种均匀性起着主导作用。本文通过对各种形式缝隙的排种器进行吸种均匀性试验,确定梯形槽缝式排种器设计方案,并对该排种器进行各行排种量一致性试验和排种种子破损率试验。

## 1 气吸式排种器结构与参数

### 1.1 气吸式排种器结构与工作原理

小麦气吸精密排种器是由外套管、内管、控缝通气垫圈、法兰盘以及传动齿轮构成,如图1所示。

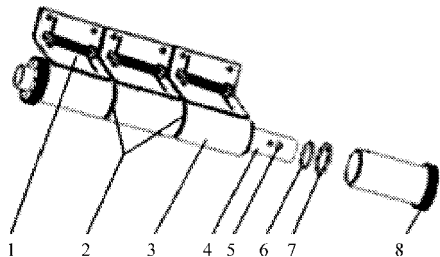


图1 气吸式排种器结构简图

Fig. 1 Structure diagram of pneumatic seed-metering device

1. 挡种板 2. 吸种缝隙 3. 外套管 4. 内管 5. 通气孔 6. 控缝通气垫圈 7. 法兰盘 8. 齿轮

多个槽缝式外套管依次通过内管连接为一体,每个相连处用控缝通气垫圈相隔保证吸种区域的缝隙。抽气风机与排种器两端通气口相连,拖拉机带动风机转动时通过内管的通气孔使相邻两外套管之间的槽缝产生真空吸力,形成吸种要求的负压。小麦种子在负压吸力的作用下吸附到槽缝中,随着排种器的旋转,挡种板将槽缝以外多余的种子挡回充种区,使得在排种器缝隙处的种子按序均匀排布。种子从充种区经携种区到达投种区后在投种装置和种子自身重力的双重作用下滑入投种杯中经输种管投种到土壤中。工作原理如图2所示。

### 1.2 排种器槽缝及参数

缝隙结构设计不仅要限制吸种数量还要保证吸

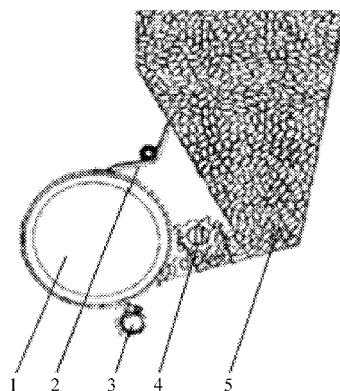


图2 气吸式排种器工作原理图

Fig. 2 Working schematic diagram of pneumatic seed-metering device

1. 排种器 2. 挡种板 3. 消种片 4. 搅种轮 5. 小麦种子

种位置,这样才可以保证不产生重吸、漏吸。在试验中,设计了梯形、U形和V形3种槽缝结构,如图3所示。

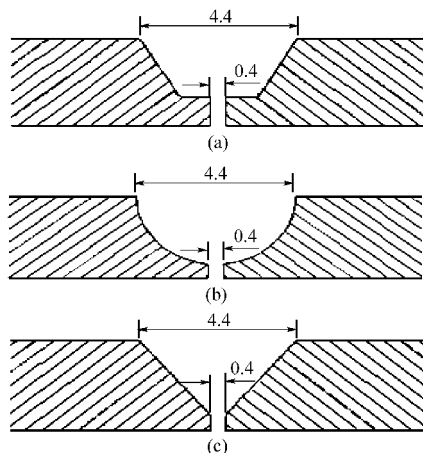


图3 梯形、U形、V形槽缝结构

Fig. 3 Trapezoid, U- and V-shape slot-type diagram

(a) 梯形槽缝 (b) U形槽缝 (c) V形槽缝

随机选取100粒石麦18号小麦种子测定其静态外形尺寸,平均长径为6.21 mm、短径为3.36 mm,为了增强吸种稳定性故使种子的短径大部分进入槽缝结构中。依据上述数据及条件设计了3种槽缝结构参数,将梯形槽结构的短下底设计为2.4 mm、长上底设计为4.4 mm,U形和V形的长上边长也取为4.4 mm。

### 1.3 排种器吸种均匀性对比试验

#### 1.3.1 试验条件

选择槽缝结构分别为U形、梯形、V形以及“1”字缝隙式结构的排种器进行试验,分别用A、B、C、D表示其排种量。排种器缝隙宽度为0.4 mm,吸气压力为-12 kPa。通过计数不同槽缝结构的排种器在5种不同转速下旋转10圈后所吸种子的数量来分析4种结构的排种器排种量变异系数。

### 1.3.2 试验结果

3种槽缝式结构排种器和“1”字缝隙式排种器吸种均匀性试验数据及结果对比如表1所示。

表1 不同槽缝结构气吸式排种器吸种均匀性对比

Tab.1 Results of suck seed uniformity of different slot-type pneumatic wheat seed-metering devices

试验号	缝隙宽度/mm	压力/kPa	转速/ $r \cdot \min^{-1}$	实际小麦种子排量/粒			
				A	B	C	D
1	0.4	-12	30	336	407	535	533
2	0.4	-12	42	586	413	462	310
3	0.4	-12	60	464	340	437	302
4	0.4	-12	72	473	327	360	264
5	0.4	-12	90	470	333	386	290
平均值/粒				465.8	364.0	436.0	339.8
标准差/粒				53.4	25.5	41.3	66.0
变异系数/%				11.5	7.0	9.5	19.4

JB/T 6274.1—2001《谷物播种机技术条件》中,播种机按规定播量 $150 \sim 180 \text{ kg/hm}^2$ ,作业行距 $15 \text{ cm}$ 播种小麦时播种均匀性变异系数应不大于 $45\%$ 。对于气吸式播种机而言,高稳定性的排种器吸种性能是播种稳定性和均匀性的重要保证。由表1可见,无论是梯形、U形、V形,还是“1”字缝隙式小麦

气吸式排种器的吸种变异系数都小于 $45\%$ 。由此说明,上述4种结构的小麦气吸式排种器都达到了精密排种器的吸种要求。

带有槽缝结构的小麦气吸精密排种器比无槽结构(“1”字缝隙式小麦气吸精密排种器)的吸种变异系数小了一半左右。由此可见,槽缝式小麦气吸排种器的排种均匀性很大程度上优于“1”字缝隙式小麦气吸排种器。

梯形槽缝结构的小麦气吸精密排种器的吸种变异系数最小( $7.0\%$ ),最终确定梯形槽缝结构气吸式排种器为小麦精密播种的最优方案。

## 2 梯形槽缝排种器各行排种量一致性试验

通过拖拉机的升降装置将播种机升起,使地轮悬空,用调速电动机带动地轮,模拟田间作业,并通过不同的链轮传动改变排种器转速。将排种器的排种行缝由左至右依次由1至12进行编号,即播种行数为12行。分别选取6种不同排种器转速 $34$ 、 $42$ 、 $46$ 、 $64$ 、 $72$ 和 $88 \text{ r/min}$ 。测定地轮转20圈后排种器每个槽缝(即每行)所排种子的质量。同一地轮转速下进行5次试验,取平均值作为试验指标。各行排种量一致性试验结果如表2所示。

表2 排种器各行排种量一致性

Tab.2 Each line seeding quantity consistency of seed-metering device

排种器转速/ $r \cdot \min^{-1}$	地轮转20圈对应行排种量/g												排量平均值/g	排量标准差/g	排量变异系数/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
34	30.7	30.2	32.1	34.3	30.2	30.1	30.3	30.7	31.9	31.7	36.1	35.5	31.733	1.385	4.332
42	36.6	39.5	39.7	38.8	43.3	40.6	40.5	42.1	40.7	41.0	39.8	39.9	40.208	1.659	4.126
46	48.9	46.8	53.0	50.1	49.1	50.6	50.6	49.7	52.1	52.1	48.4	53.2	50.108	1.923	3.838
64	51.5	51.7	49.9	52.0	49.7	54.6	53.9	52.2	54.4	50.9	53.4	54.3	52.375	1.732	3.306
72	60.9	61.2	60.0	64.5	62.1	65.0	59.1	60.0	67.2	65.2	62.7	64.1	62.667	2.681	4.277
88	50.8	51.2	56.1	54.2	54.0	50.3	49.7	49.9	51.1	54.2	51.7	49.8	51.917	2.149	4.140

由表2可见,该小麦气吸排种器在不同转速下各行排种量的变异系数不大于 $4.4\%$ ,根据JB/T 6274.1—2001《谷物播种机技术条件》要求,播种机排种器各行排种量变异系数不大于 $3.9\%$ 。可见,该排种器的各行排种量一致性没有得到提高。经初步分析,这可能是所采用的风机没有实施稳压、稳流措施,每个缝隙处的负压分配不均导致的,有待于进一步的试验研究。

## 3 排种器排种种子破损率测定试验

选取原始破损率 $P_0 = 1\%$ 的石麦18号小麦种作为试验用小麦。在6种不同播量情况下,分别计量排种器5次排种量 $W_i$ ,后经人工筛选出原始损伤

的种子并称取出原始损伤种子的质量 $S_i$ 。在不同播量情况下分别计算出排种器5次排种量的平均破损量。最终计算出排种器排种种子破损率 $P$ 。5次排种量平均值为

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i}{5} \quad (1)$$

平均破损量

$$S_p = \frac{\sum_{i=1}^5 S_i}{5} \quad (2)$$

破损率

$$P = P_1 - P_0 \quad (3)$$

其中

$$P_1 = \frac{S_p}{\bar{X}} \times 100\%$$

根据 JB/T 10293—2001《单粒(精密)播种机技术条件》,气力式精密播种机排种器对种子的破损率要求不超过 0.50%,由表 3 可知,该排种器排种种子破损率不超过 0.30%,完全符合精量排种器的标准。

#### 4 结论

(1) 通过对梯形、U 形、V 形以及“1”字缝隙式 4 种小麦气吸式排种器进行排种均匀性对比试验,确定了梯形槽缝式气吸精量排种器,其吸种变异系数为 7.0%。

(2) 该排种器排种种子的破损率完全符合《单

表 3 种子破损率

Tab. 3 Seed breakage rate of seeding mechanism

排种器转速 / $r \cdot \min^{-1}$	排种破损量 $S_i/g$					排量平均 值 $\bar{X}/g$	平均破损 量 $S_p/g$	破损 率 $P/\%$
	1	2	3	4	5			
34	4.3	5.2	5.0	3.6	6.8	383.8	4.98	0.30
42	6.8	5.0	5.8	6.1	5.4	482.5	5.80	0.20
46	7.8	8.0	5.0	7.9	8.9	601.7	7.52	0.25
64	7.9	8.3	8.1	7.8	8.8	628.5	8.18	0.30
72	9.5	10.1	9.9	9.7	8.6	752.0	9.56	0.27
88	7.8	8.0	8.2	7.7	6.6	623.0	7.66	0.23

粒(精密)播种机技术条件》中气力式精密播种机排种器对种子的破损率要求。

#### 参 考 文 献

- 杜文勇,何雄奎,胡振方,等.不同灌溉技术条件对冬小麦生产的影响[J].排灌机械工程学报,2011,29(2):170~174.  
Du Wenyong, He Xiongkui, Hu Zhenfang, et al. Effect of different irrigation technology on production of winter wheat[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011,29(2):170~174. (in Chinese)
- 马立.新型缝隙式小麦气吸播种机的研究[D].保定:河北农业大学,2010.  
Ma Li. Study on the new kind tube-slit air-suction wheat seeding machine[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2010. (in Chinese)
- 张小丽.2BXJF-12型小麦播种机的试验研究[D].保定:河北农业大学,2006.  
Zhang Xiaoli. Experimental study of the 2BXJF-12 wheat seeder[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006. (in Chinese)
- 廖庆喜,杨波,李旭,等.内充气吹式油菜精量排种器气室流场仿真与试验[J].农业机械学报,2012,43(4):51~54.  
Liao Qingxi, Yang Bo, Li Xu, et al. Simulation and experiment of inside-filling air-blow precision metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4):51~54. (in Chinese)
- 刘文忠,赵满全,王文明.气吸式排种装置排种性能分析[J].农机化研究,2008,24(5):45~47.  
Liu Wenzhong, Zhao Manquan, Wang Wenming. Analysis on the sowing performance of air-suction seed-metering device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008,24(5):45~47. (in Chinese)
- 赵湛,李耀明,陈进,等.气吸滚筒式排种器吸种过程的动力学分析[J].农业工程学报,2011,27(7):112~116.  
Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin, et al. Dynamic analysis on seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7):112~116. (in Chinese)
- 刘立晶,刘忠军,杨学军,等.气流输送式小麦免耕播种机设计和试验[J].农业机械学报,2011,42(2):54~57.  
Liu Lijing, Liu Zhongjun, Yang Xuejun, et al. Design and test on pneumatic no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2):54~57. (in Chinese)
- 刘立晶,杨学军,李长荣,等.2BMG-24型小麦免耕播种机设计[J].农业机械学报,2009,40(10):39~43.  
Liu Lijing, Yang Xuejun, Li Changrong, et al. Design of 2BMG-24 no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10):39~43. (in Chinese)
- 杜辉,樊桂菊,刘波.气力式精量播种机与排种器的研究现状[J].农业装备技术,2002(3):13~14.
- 郑送军.精密播种机排种器自动监测系统研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.  
Zheng Songjun. The research of seeds equipment for precision seeding-machine automatic monitor system [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007. (in Chinese)
- 孙齐磊.气流一阶集排式播种机的研制与试验分析[D].泰安:山东农业大学,2003.  
Sun Qilei. Study and test analysis of one-step seed-centralized pneumatic drill[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- Bereket B Z. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter[J]. Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 2004, 28(6):435~441.
- 梁素钰,封俊,曾爱军,等.新型组合吸孔式小麦精密排种器性能的试验研究[J].农业工程学报,2001,17(2):84~87.  
Liang Suyu, Feng Jun, Zeng Aijun, et al. Performance experiments of the seed-meter device with combined sucker [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(2):84~87. (in Chinese)
- 封俊,梁素钰,曾爱军,等.新型组合吸孔式小麦精密排种器运动学与动力学特性的研究[J].农业工程学报,2000,16(1):63~66.  
Feng Jun, Liang Suyu, Zeng Aijun, et al. Kinematics and dynamics of a wheat seed in the seed-meter device with combined sucker[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(1):63~66. (in Chinese)

## 参 考 文 献

- 1 Weiner K L, Parkin C S. The use of computational fluid dynamic code for modeling spray from a mistblower[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1993, 55(4):313~324.
- 2 Sidahmed M M, Brown R B. Simulation of spray dispersal and deposition from a forestry airblast sprayer—part I: air jet model[J]. Transactions of the ASAE, 2001,44(1):5~10.
- 3 Tsay L, Fox R D, Ozkan H E, et al. Evaluation of a pneumatic-shield spraying system by CFD simulation [J]. Transactions of the ASAE, 2002,45(1):47~54.
- 4 Baetens K, Nuytens D, Verboven P, et al. Predicting drift from field spraying by means of 3D computational fluid dynamics model [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 56(2):161~173.
- 5 崔志华,傅泽田,祁力钧,等. 风送式喷雾机风筒结构对飘移性能的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(2):111~115.  
Cui Zhihua, Fu Zetian, Qi Lijun, et al. Effect of the air duct medication on the spray drift emitted by an air-assisted sprayer [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(2):111~115. (in Chinese)
- 6 祁力钧,赵亚青,王俊,等. 基于 CFD 的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报,2010,41(2):62~67.  
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(2):62~67. (in Chinese)
- 7 陈发元,汪小岳,丁为民,等. 果树喷雾用圆盘风扇三维气流速度场数值模拟与验证[J]. 农业机械学报,2010,41(8):51~55.  
Chen Fayuan, Wang Xiaochan, Ding Weimin, et al. Numerical simulation and experimental verification of 3-D air-velocity field of disk fan used in orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):51~55. (in Chinese)
- 8 Nuytens D, Windey S, Sonck B. Optimisation of a vertical spray boom for greehouse spray applications [J]. Biosystems Engineering,2004,89(4):417~423.
- 9 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京:科学出版社,2001.
- 10 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- 11 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社,1988.
- 12 韩占忠. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2008.
- 13 Fluent Inc. Fluent version 4.3 user's manual. Computational fluid dynamics software[M]. Lebanon NH: Fluent Inc., 1995.
- 14 袁雪,祁力钧,冀荣华,等. 温室风送式弥雾机气流速度场与雾滴沉积特性分析[J]. 农业机械学报,2012,43(8):71~77.  
Yuan Xue, Qi Lijun, Ji Ronghua, et al. Analysis on features of air-velocity distribution and droplets deposition pattern for greenhouse air-assisted mist sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(8):71~77. (in Chinese)
- 15 袁雪,祁力钧,王虎,等. 温室摇摆式变量弥雾机喷雾参数响应面法优化[J]. 农业机械学报,2012,43(4):45~50,54.  
Yuan Xue, Qi Lijun, Wang Hu, et al. Spraying parameters optimization of swing, automatic variables and greenhouse mist sprayer with response surface method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(4):45~50, 54. (in Chinese)
- 16 祁力钧,王沛,张建华,等. 杂草叶片表面结构对雾滴铺展和蒸发的影响[J]. 排灌机械工程学报,2012,30(3):335~340.  
Qi Lijun, Wang Pei, Zhang Jianhua, et al. Influence of weed leaves surface structures on droplet spread and evaporation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012,30(3):335~340. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 51 页)

- 15 王永梅. 小麦精量排种器的试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.  
Wang Yongmei. The experimental study of the wheat precision metering device[D]. Urumqi: Xingjiang Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 16 杜辉,王忠举,李汝莘. 气吸式小麦精量播种机的改进研究[J]. 山东农机,2002(6):8~9.
- 17 刘俊峰,杨欣,冯晓静. 2BF-8 型小麦精播机播种均匀性影响因素分析[J]. 农业工程学报,2001,17(6):64~68.  
Liu Junfeng, Yang Xin, Feng Xiaojing. Analysis of influence factor on seeding uniformity of model 2BF-8 wheat precision planter[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(6):64~68. (in Chinese)
- 18 冯晓静,刘俊峰. 2BF-8 小麦精量播种机的开发与研究[J]. 农机化研究,2004(6):124~125.  
Feng Xiaojing, Liu Junfeng. Development and study on 2BF-8 wheat precision planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004(6):124~125. (in Chinese)