

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.009

# 双辊秸秆还田旋耕机试验\*

李永磊 宋建农 康小军 董向前 姜洪喆 彭维钦

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 阐述了粉碎刀辊正转、旋耕刀辊反转的双辊秸秆还田机结构特点和作业机理。基于土槽试验台设计了室内旋耕耕作部件试验装置。室内试验结果表明,双辊作业模式具有良好的植被性能和相对较低功耗,其应用于双辊秸秆还田旋耕机是可行的。研制了双辊秸秆还田旋耕机并进行了玉米秸秆还田性能试验,试验结果表明双辊秸秆还田旋耕机可一次完成直立玉米秸秆还田、旋耕碎土等联合作业,秸秆粉碎合格率、根茬破碎率、植被覆盖率、碎土率等可达90%以上。

**关键词:** 旋耕机 秸秆还田 双辊组合 作业机理

**中图分类号:** S222.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0045-05

## Experiment on Twin-roller Cultivator for Straw Returning

Li Yonglei Song Jiannong Kang Xiaojun Dong Xiangqian Jiang Hongzhe Peng Weiqin

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

**Abstract:** In order to improve the working quality and reduce the consumption of the machine for straw returning, the structure and the working mechanism of the twin-roller cultivator for straw returning were discussed. Based on the soil bin test-bed, a laboratory test device was designed for the rotary tillage components. The result of the soil bin test verified that the twin-roller working model with well coverage performance and relatively lower consumption was feasible. The cultivator was developed and the filed test of maize straw returning was conducted. The result showed that the machine had a high working quality. The qualification rate of straw chopping, stubble breaking and vegetation coverage rate all reached up to 90%.

**Key words:** Rotary cultivator Straw returning Twin-roller working mode Working mechanism

### 引言

秸秆还田能够增加土壤有机质、改善土壤团粒结构、提高作物产量。机械化秸秆还田是秸秆资源利用经济有效的方式<sup>[1-3]</sup>。

我国先后研制了秸秆粉碎机、根茬粉碎还田机、秸秆整秆还田机、联合作业机等秸秆还田机械,促进了农业机械化的发展<sup>[4-9]</sup>。现有秸秆还田机械还存在一些问题:正转旋耕机进行少量秸秆还田作业时,受机组结构限制,覆盖性能差、碎土率低,同时存在耕深浅、耕深稳定性差等问题;反转灭茬旋耕机作业

时刀辊前方易壅土而造成土壤的重复切削和重复抛掷,机组负荷加重,其粉碎秸秆的能力较弱,易缠草;秸秆、根茬粉碎还田机能够完成秸秆粉碎还田和灭茬作业,在一定程度上满足了生产要求,但需要旋耕或犁耕等后续作业才能完成播种前的土壤整备,且高速旋转的耕作部件动力消耗较大;作物整秆还田机械数量较少,多用于水田作业,使用范围受到限制;联合作业机具有较高的作业效率,得到广泛的应用,但多为原有工作单体的集成,结构亦沿用原有单体设计,存在功耗大、植被覆盖率低、作业质量较差等问题。所以以提高耕作质量和降低功耗为目标的

收稿日期: 2012-05-22 修回日期: 2012-07-10

\*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B04)和公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203059)

作者简介: 李永磊, 博士生, 主要从事农业机械研究, E-mail: liyl0393@163.com

通讯作者: 宋建农, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备工程及农业机械设计理论研究, E-mail: songjn@cau.edu.cn

秸秆还田机械研究仍具有重要的意义。本文通过理论分析和试验研究来探讨双辊秸秆还田旋耕机前辊为正转粉碎刀辊、后辊为反转旋耕刀辊的双辊模式作业机理,寻求合理的秸秆还田作业模式。

## 1 整机结构与作业机理

采用双辊组合配置:前辊为粉碎刀辊正转,进行秸秆和根茬粉碎;后辊为旋耕刀辊反转,运行旋耕碎土和秸秆覆盖还田。

整机由悬挂架、机架、传动系统、压梁杆、罩壳、定刀、粉碎刀辊、旋耕刀辊、拦草栅、拖板和镇压辊等组成,如图1所示。机组采用三点悬挂;拖拉机动力传递至变速箱动力输入轴,再由传动分配箱分配至粉碎刀辊和旋耕刀辊;机架上安装有压梁杆,作业时秸秆被推倒在粉碎刀辊前方地表便于粉碎,粉碎刀辊正转作业以有支撑切削方式砍切和粉碎秸秆、根茬及浅层土壤,并将它们向刀辊后方抛掷。旋耕刀辊反转作业,进行秸秆覆盖还田和旋耕碎土作业。定刀安装在粉碎刀辊后上方机架上,拦草栅配置在旋耕刀辊后方,拖板和镇压辊铰接在机架后面。在罩壳约束下,旋耕刀辊携带切削的深层土壤、残留根茬、粉碎刀辊抛掷的混合物等越过刀辊上方并向后方抛掷,在拦草栅的阻拦下破碎的秸秆和根茬、较大的土块等首先落到耕层的中、下部,而细碎的土壤颗粒通过拦草栅落在耕层表层,经拖板平整、镇压辊压实后形成上细下粗的良好耕层<sup>[10]</sup>。

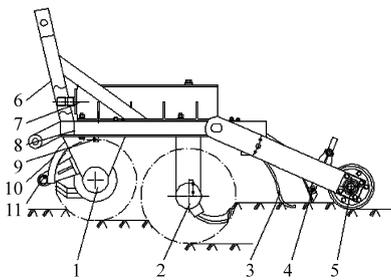


图1 双辊秸秆还田旋耕机结构简图

Fig. 1 Structure of cultivator

1. 粉碎刀辊 2. 旋耕刀辊 3. 拦草栅 4. 拖板 5. 镇压辊
6. 悬挂架 7. 变速箱 8. 机架 9. 定刀 10. 罩壳 11. 压梁杆

采用双辊组合配置是基于对刀辊转向、刀辊轴心与地表位置关系的4种旋耕模型<sup>[11-14]</sup>(常规正转、常规反转、潜土正转、潜土反转)的分析。研究表明常规正转旋耕以一定的角度和速度将切削土壤向辊后抛掷,这些土壤具有一定的动能并最终疏松堆积在地表;常规反转旋耕具有良好的植被覆盖性能,但由于刀辊轴心位于地表以上,刀辊携带的切削土壤有一部分不可避免向辊前飞散,堆积在辊前形成壅土,引起重复切削和重复抛掷,增加刀辊功耗。

而潜土反转旋耕能够提高刀辊的土壤抛掷能力,但受机架结构限制,实际生产中难以得到应用。

双辊组合配置就是充分利用正转粉碎刀辊的有支撑切削、向后抛掷土壤及碎秸秆的性能和反转旋耕刀辊良好的植被覆盖性能,并且在粉碎刀辊辅助作业下形成两辊间适量壅土使旋耕刀辊处于事实上的潜土反转旋耕,从而达到提高作业质量、降低功耗的目的。双辊作业模式示意如图2所示。

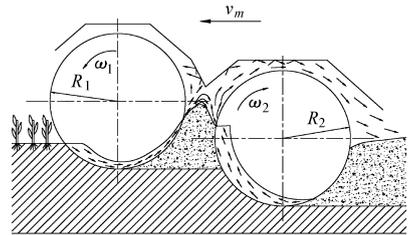


图2 双辊秸秆还田旋耕机作业机理

Fig. 2 Working mechanism of cultivator

## 2 试验装置设计

为了深入探讨双辊模式作业机理,基于中国农业大学土槽试验台设计了旋转耕作部件试验装置。土槽试验台主要由土槽、轨道、试验台车、无级调速牵引与动力驱动系统、六分力测力悬架、扭矩传感器和测控系统等组成。六分力测力悬架由前、后2块悬挂板和6个拉压传感器组成,其中牵引方向( $x$ 轴)布置3个,侧向( $y$ 轴)布置1个,垂直方向( $z$ 轴)布置2个。被测机具挂接在后悬挂板上并通过拉压传感器、前悬挂板与台车相连,机具的三维空间受力通过CFBLS-1.5t型拉压传感器来测定。利用JN338A型转速转矩传感器测量动力输出轴转速和转矩。

测控系统可以实现前进速度、转速、耕深等参数的控制和测量,获得测区内机组平均牵引阻力、平均阻扭矩和功率等指标<sup>[15-16]</sup>。

试验装置由主架、传动系统、侧架、粉碎传动轴、粉碎刀辊、旋耕传动轴、旋耕刀辊和罩壳等组成,如图3所示。主架通过T型螺栓固定在试验台车测力悬架上。侧架通过U型螺栓连接在主架上,方便调整两辊位置。试验台车动力输出轴经万向节将动力传递至试验台传动系统,由变速箱换向、变速后分配至粉碎传动轴和旋耕传动轴驱动两刀辊作业。粉碎刀辊与旋耕刀辊销钉联接在各自传动轴轴头,通过更换刀辊并配以可调节式组合罩壳,能够实现旋转耕作部件多种作业形式的组合。试验装置安装示意图如图4所示。

粉碎刀辊回转半径 $R_1$ 与旋耕刀辊的回转半径 $R_2$ 均为245 mm。粉碎刀辊安装L型灭茬粉碎刀、

旋耕刀辊安装旋耕刀各6把,单切削小区内布置2把刀,单刀幅宽70 mm,如图5所示。

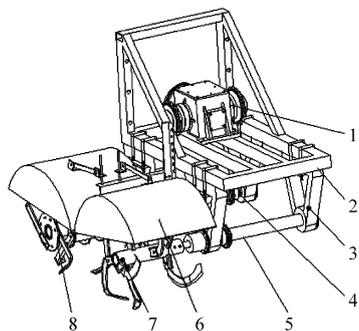


图3 试验装置结构图

Fig.3 Structure of test device

1. 变速箱 2. 主架 3. 侧架 4. 粉碎传动轴 5. 旋耕传动轴  
6. 罩壳 7. 旋耕刀辊 8. 粉碎刀辊

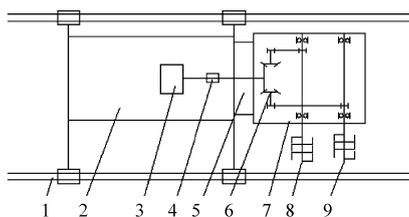


图4 试验装置安装示意图

Fig.4 Installation instruction of test device

1. 台车轨道 2. 试验台车 3. 驱动电动机 4. 扭矩传感器  
5. 六分力测力悬架 6. 传动系统 7. 试验台主架 8. 粉碎刀辊  
9. 旋耕刀辊

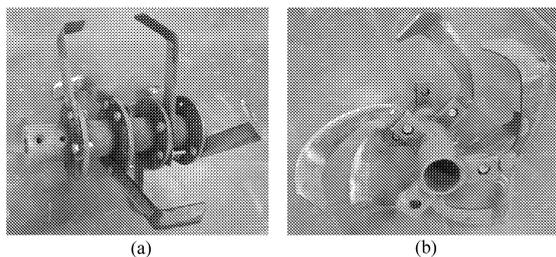


图5 试验用刀安装

Fig.5 Installation of blades

- (a) 粉碎刀辊 (b) 旋耕刀辊

### 3 试验设计与分析

#### 3.1 室内土槽试验

##### 3.1.1 试验设计

试验主要考察粉碎刀辊、旋耕刀辊、双辊组合3种作业模式的功耗关系,分析双辊作业模式中刀辊间的相互影响,探讨双辊作业模式作业机理。因室内试验条件限制,试验在无植被条件下进行,土壤含水率14%~17%、土壤坚实度1.6~2.0 MPa、土壤容重密度1.5~1.7 g/cm<sup>3</sup>,土壤整备如图6所示。

试验以平均牵引阻力 $\bar{F}_x$ 、平均阻扭矩 $\bar{T}$ 和功率 $P$ 为试验指标,以前进速度 $v_m$ 为试验因素。其结构



图6 试验土壤整备

Fig.6 Preparation of soil

参数和工作参数为: $v_m$ 取0.6、0.8、1.0 m/s 3个水平;粉碎刀辊转速430 r/min、旋耕刀辊转速200 r/min、粉碎刀辊耕深60 mm、旋耕刀辊耕深160 mm。两辊中心高度差100 mm、两辊中心距580 mm、作业幅宽270 mm。

通过换装刀辊依次安排双辊组合、粉碎刀辊、旋耕刀辊试验,试验安排及结果如表1所示。粉碎刀辊正转作业,牵引阻力与机组前进方向一致,驱动机组前进,表现为负值,其平均牵引阻力在功率指标对比分析中不予考虑。所以双辊组合试验指标与两辊单独作业试验指标之和相比较,平均牵引阻力增幅为

$$\Delta_1 = \frac{S - X}{X} \times 100\% \quad (1)$$

平均阻扭矩和功率增幅为

$$\Delta_2 = \frac{X - (F + X)}{F + X} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $\Delta$ ——试验指标增幅

$S$ ——双辊组合试验指标

$X$ ——旋耕刀辊试验指标

$F$ ——粉碎刀辊试验指标

表1 单、双辊作业模式对比试验

Tab.1 Comparison test of single and twin-roller model

速度 /m·s <sup>-1</sup>	作业模式	试验指标		
		$\bar{F}_x$ /N	$\bar{T}$ /N·m	$P$ /kW
0.6	双辊组合	1 664.50	126.07	6.02
	粉碎刀辊	-133.51	42.40	1.69
	旋耕刀辊	1 224.12	104.40	4.89
	增幅/%	36.0	-14.1	-8.5
0.8	双辊组合	1 752.56	164.60	7.95
	粉碎刀辊	-177.56	54.50	2.17
	旋耕刀辊	1 318.08	126.71	6.10
	增幅/%	33.0	-9.2	-3.8
1.0	双辊组合	1 857.87	184.56	9.20
	粉碎刀辊	-243.60	66.30	2.64
	旋耕刀辊	1 595.32	142.06	7.25
	增幅/%	16.5	-11.4	-6.9

##### 3.1.2 试验结果分析

对比试验结果表明:随着机组速度增加,各模式

的平均牵引阻力、平均阻扭矩和功率均以不同速率增加;双辊组合作业时粉碎刀辊向后抛掷的疏松土壤在旋耕刀辊前堆积形成了壅土,虽有粉碎刀辊驱动,双辊作业模式平均牵引阻力较旋耕刀辊作业时增加约16%~36%。值得注意的是,在粉碎刀辊辅助作用下,旋耕刀辊近似潜土反转旋耕,此时土壤抛掷率较高,减少了后续土壤的重复切削,且其切削未耕地的实际深度变浅。各因素综合影响下,双辊作业模式负荷与粉碎刀辊、旋耕刀辊单独作业负荷之和相比,平均阻扭矩减小约9.2%~14.1%、功率减小约3.8%~8.5%。

综上,双辊作业模式负荷特性优于两辊单独作业之和,其作业功耗较两辊单独作业之和有所降低,且该模式可以减少机组下地次数、作业效率高、作业质量好。粉碎刀正转、旋耕刀辊反转的双辊作业模式是可行的。

### 3.2 田间性能试验

#### 3.2.1 试验样机

试验样机主要技术经济指标为:配套动力47 kW以上;粉碎刀辊正转,转速480 r/min,安装L型灭茬粉碎刀48把;旋耕刀辊反转,转速240 r/min,安装旋耕刀48把;作业幅宽1.8 m;作业速度0.62~0.93 m/s;生产效率0.4~0.6 hm<sup>2</sup>/h。

#### 3.2.2 玉米秸秆还田性能试验

试验依据标准GB/T 5668.3—1995、JB/T 8401.3—2001、JB/T 6678—2001并结合实际情况确定试验指标:植被覆盖率、秸秆切碎长度合格率、根茬破碎率、碎土率、耕深及耕深稳定性、耕宽及耕宽稳定性和地表平整度等。

试验于2011年10月10日在连云港赣榆县城郊农田进行,试验地长约120 m、宽约80 m,地势平坦、无坡度,地表植被为直立玉米秸秆,植被量3.78 kg/m<sup>2</sup>、土壤含水率23.6%、土壤坚实度1.5 MPa。

测定作业速度0.52、0.63、0.97 m/s 3种工况下机具作业性能,每工况测定2个行程。试验结果如表2所示。

表2 玉米秸秆还田作业试验结果

Tab.2 Field test results of maize straw returning

参数	前进速度/m·s <sup>-1</sup>		
	0.52	0.63	0.97
耕深/mm	162	163	159
耕深稳定性系数/%	97.9	96.2	97.6
作业幅宽/m	1.8	1.8	1.8
幅宽稳定性系数/%	98.9	98.8	98.6
耕后平整度/mm	4	6	8
碎土率/%	96.4	95.9	95.1
植被覆盖率/%	94.8	94.2	93.9
秸秆切碎合格率/%	94.9	91.6	90.4
根茬破碎率/%	93.7	90.9	90.1
机组滑移率/%	1.2	1.3	1.5
生产率/hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup>	0.34	0.41	0.63

试验结果表明:双辊秸秆还田旋耕机可一次完成直立玉米秸秆全量还田、旋耕碎土等联合作业;具有良好的作业性能和作业效果:秸秆粉碎合格率、根茬破碎率、植被覆盖率、碎土率等均可达到90%以上,能够满足农艺要求。

## 4 结论

(1)双辊秸秆还田旋耕机进行玉米秸秆还田作业时秸秆粉碎合格率、根茬破碎率、植被覆盖率均可达90%以上,作业后形成上细下粗的良好耕层,能够满足耕作农艺要求。

(2)粉碎刀辊正转、旋耕刀辊反转双辊作业模式中在粉碎刀辊的辅助作用下旋耕刀辊近似潜土反转旋耕,提高了土壤抛掷效率,减少了重复切削和抛掷引起的功耗。

## 参 考 文 献

- 1 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002,18(3): 87~91.  
Han Lujia, Yan Qiaojuan, Liu Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002,18(3): 87~91. (in Chinese)
- 2 姜洁,陈宏,赵秀兰. 农作物秸秆改良土壤的方式与应用现状[J]. 中国农学通报, 2008,24(8): 420~423.  
Jiang Jie, Chen Hong, Zhao Xiulan. The application actuality and methods of meliorated soil with crop stalks [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008,24(8): 420~423. (in Chinese)
- 3 汪海波,秦元萍,余康. 我国农作物秸秆资源的分布、利用与开发策略[J]. 国土与自然资源研究, 2008(2): 92~93.  
Wang Haibo, Qin Yuanping, Yu Kang. Utilization distribution and exploitation tactics of crop stalk resources in China [J]. Territory & Natural Resources Study, 2008(2): 92~93. (in Chinese)
- 4 毛罕平,陈翠英. 秸秆还田机工作机理与参数分析[J]. 农业工程学报, 1995,11(4): 62~66.  
Mao Hanping, Chen Cuiying. Working mechanism and parameters determination of field straw chopper [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995,11(4): 62~66. (in Chinese)
- 5 倪长安,苗全生,刘玉,等. 玉米根茬破碎还田装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008,39(7): 68~71.  
Ni Chang'an, Miao Quansheng, Liu Yu, et al. Design and experiment of a new maize field rootstalk chopper [J]. Transactions of

- the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(7): 68~71. (in Chinese)
- 6 贾洪雷,马成林,刘枫,等. 秸秆与根茬粉碎还田联合作业工艺及配套机具[J]. 农业机械学报, 2005,36(11): 52~55.  
Jia Honglei, Ma Chenglin, Liu Feng, et al. Study on technology and matching machine for stalk/stubble breaking and mulching combined operation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(11): 52~55. (in Chinese)
  - 7 丁艳,彭卓敏,夏建林. 国内典型秸秆还田技术及机具的比较与分析[J]. 中国农机化, 2010(3): 43~46.  
Ding Yan, Peng Zhuomin, Xia Jianlin. Domestic comparison and analysis of a typical straw machinery[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(3): 43~46. (in Chinese)
  - 8 李兵,王继先,张健美,等. GBSL-180型双轴式旋耕灭茬播种机设计[J]. 农业机械学报, 2008,39(3): 180~182.
  - 9 刘小伟. 双辊秸秆还田旋耕机的研制开发[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.  
Liu Xiaowei. Research and development of double rollers cultivation machine for straw-soil returning [D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese)
  - 10 李永磊,宋建农,王继承,等. SGTN-180型旋耕埋草施肥联合作业机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 143~147.  
Li Yonglei, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Design and experiment of a SGTN-180 type rotary tillage-straw returning-fertilization combined machine [J]. Journal of China Agricultural University, 2011,16(2): 143~147. (in Chinese)
  - 11 宋建农,李自华. 反转旋耕理论分析[J]. 北京农业工程大学学报, 1990, 10(3): 15~22.  
Song Jiannong, Li Zihua. Theoretical studies of reverse rotary tillage [J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University, 1990,10(3): 15~22. (in Chinese)
  - 12 Hendrick J G, Gill W R. Rotary-tiller design parameters, part I: direction of rotation [J]. Transactions of the ASAE, 1971, 14(4):669~694.
  - 13 王长兵. 逆转旋耕基础理论研究[D]. 镇江: 江苏工学院, 1993.  
Wang Changbing. Studies on the basic theory of up-cut cultivation [D]. Zhenjiang: Jiangsu Institute of Technology, 1993. (in Chinese)
  - 14 丁为民. 反转旋耕及旋耕刀的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1999.  
Ding Weimin. Research on up-cut rotary tillage and rotary blade [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 1999. (in Chinese)
  - 15 Maciej M. A torque evaluation for a rotary subsoiler[J]. Soil and Tillage Research, 2005,84(2):175~183.
  - 16 吴俭敏,朱立成,米义,等. 新型土槽试验台的研制[J]. 农机化研究, 2011,33(3): 92~95.  
Wu Jianmin, Zhu Licheng, Mi Yi, et al. The development of the new soil bin test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011,33(3): 92~95. (in Chinese)

(上接第 38 页)

#### 参 考 文 献

- 1 Dedatta S K. New priority of agronomic research for global food security [C] // The Proceedings of 3rd International Agronomy Congress, New Delhi, India, 2012:18a~18b.
- 2 李昌宴. 玉米高产高效栽培技术[J]. 四川农业科技, 2012(5):14.
- 3 郭春强,廖平安,罗鹏,等. 小麦高产高效可持续生产模式及水肥调控技术研究与应用[J]. 天津农业科学, 2012,18(3): 67~70.  
Guo Chunqiang, Liao Ping'an, Luo Peng, et al. Sustainable production model of high yield and high efficiency of wheat and fertilization technology research and application[J]. Tianjing Agricultural Sciences, 2012,18(3):67~70. (in Chinese)
- 4 张碧岱,张建宏,冯丽蓉. 晋西南山区“晋花4号”花生高产高效栽培技术[J]. 陕西农业科学, 2012(3):258~259.
- 5 熊之曦,黄斌,郝光辉,等. 高产高效栽培模式与技术探讨[J]. 绿色科学, 2012(4):135~136.
- 6 杜修梅,姜坤相,杨椿蓉,等. 中单808在广安地区采用保护性耕作的意义及高产栽培措施[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(2):24~25.
- 7 赵云蛟,王林宝. 玉米宽行平作保护性耕作技术[J]. 农机使用与维修, 2012(4):130~131.
- 8 周兴祥,高焕文,刘俊峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2001,17(6):80~83.  
Zhou Xingxiang, Gao Huanwen, Liu Junfeng. Conservation tillage system experiment on double cropping area of Huabei plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001,17(6):80~83. (in Chinese)
- 9 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(6):70~73.  
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Experiment and research on corn and wheat double cropping [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(6):70~73. (in Chinese)
- 10 高焕文,何明,蒋金琳,等. 保护性耕作机械化种植模式与播种量试验[J]. 农业机械学报, 2012,43(8):42~45.  
Gao Huanwen, He Ming, Jiang Jinlin, et al. The experiments on mechanized planting mode & sowing rate of conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(8):42~45. (in Chinese)