

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.04.010

# 快速腐熟秸秆还田机设计与试验\*

戴飞<sup>1</sup> 张锋伟<sup>1</sup> 赵春花<sup>1</sup> 胡靖明<sup>1</sup> 韩正晟<sup>2</sup> 冯永忠<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070;

3. 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

**【摘要】** 针对传统还田机作业后秸秆还田周期长, 耽误耕作农时及秸秆焚烧现象引发的环境污染等问题, 采用腐熟剂喷施与机械粉碎相结合的还田原理, 设计了快速腐熟秸秆还田机。经田间试验测定, 使用快速腐熟秸秆还田机完成作业的机收麦茬地, 7个月后的秸秆腐熟还田率为97.2%, 比单一机械粉碎方式高17.1%, 小麦单位面积产量比单一秸秆粉碎还田地高16.5%。

**关键词:** 秸秆还田机 粉碎 腐熟剂 喷施 设计 试验

中图分类号: S224.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)04-0047-05

## Design and Experiment on Straw Returning Machine with Fast Decomposing Inoculant Spray Equipment

Dai Fei<sup>1</sup> Zhang Fengwei<sup>1</sup> Zhao Chunhua<sup>1</sup> Hu Jingming<sup>1</sup> Han Zhengsheng<sup>2</sup> Feng Yongzhong<sup>3</sup>

(1. Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

3. College of Agronomy, Northwest A&amp;F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

### Abstract

Traditional straw return implements slowly after the operation, and delays farming time, as well as, the straw burning causes environmental pollution. In light of the above problems, a fast decomposition straw returning machine which adopts the returning principle of combining decomposition agent spraying with mechanical straw shattering was designed. Field experiments show that straw decomposition rate of farmland when using this machine reaches 97.2% after 7 months, which is 17.1% higher than a single mechanical grinding treatment, and average wheat production is 16.5% higher than mechanical crushing method in the same area.

**Key words** Straw returning machine, Straw shattered, Decomposition agent, Spraying, Design, Experiment

### 引言

秸秆还田机自20世纪60年代就开始研究推广<sup>[1]</sup>, 目前国内外秸秆还田机只能完成秸秆的粉碎, 粉碎后的秸秆往往不易腐烂, 在土壤中长期积

存、滞留, 导致下一茬作物耕作、播种时, 对农具开沟器等部件的缠绕、阻塞, 严重影响了田间作业效率。在对兰州市秦王川地区田间留茬处理情况的调查中发现, 由于秸秆还田机不能使秸秆快速腐熟还田, 近95%的小麦种植户将秸秆留茬全部焚烧, 导

收稿日期: 2009-09-07 修回日期: 2009-11-03

\* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD17B01-01)、国家自然科学基金资助项目(50965001)、甘肃省教育厅资助项目(0902B-05)、甘肃省科技厅资助项目(0910XCNA090)和甘肃省科技支撑计划项目(0804GKCA051)

作者简介: 戴飞, 硕士生, 主要从事农业工程技术与装备研究, E-mail: 442670867@qq.com

通讯作者: 张锋伟, 副教授, 主要从事植物力学和农业机械装备研究, E-mail: zhangfw@gsau.edu.cn

致了环境污染和秸秆资源的浪费,影响了秸秆还田机械的推广应用<sup>[2]</sup>。

近年来,国内外对秸秆快速腐熟技术的研究有了很大进展<sup>[3]</sup>,但几乎所有的研究都是基于秸秆腐熟菌剂采用堆沤方式进行试验,而秸秆还田作业的同时配合喷施腐熟剂加速秸秆腐烂的方法目前尚无报道。因此,本文将秸秆快速腐熟技术与田间机械粉碎作业相结合,设计一种快速腐熟秸秆还田机。

## 1 整机结构及工作原理

### 1.1 整机结构

快速腐熟秸秆还田联合作业机(以下简称联合机)主要由腐熟剂喷施系统、秸秆粉碎系统两大部分组成,如图1所示。腐熟剂喷施系统采用前置安装方式,主要由药箱、BPZ型自吸泵、喷药管路、喷头、逆止回流阀、喷杆和调节阀等组成,系统动力由飞轮通过胶带驱动泵轮。秸秆粉碎系统由秸秆还田机组成,采用后置安装方式,与拖拉机三点悬挂机构相连接,由拖拉机动力输出轴驱动。根据不同的秸秆及作业要求,可更换不同类型刀具。

表1 联合机主要技术参数

Tab.1 Main parameters of fast decomposition straw returning machine

参数	作业幅宽 $B/m$	整机质量 $W/kg$	配套动力 $P/kW$	喷头间距 $h_1/cm$	喷头作业高度 $h_2/cm$	喷头作业压力 $p/MPa$	还田作业深度 $d/cm$
数值	1.0	248.5	22.4	20.0	26~32	<0.3	3~5

## 2 主要部件选型及设计

### 2.1 粉碎刀片

联合机粉碎系统选用三节鞭式刀具<sup>[5]</sup>,由刀座、刀柄、刀头、销轴等组成,如图2所示。刀组按螺旋线对称排列,刀组刀头通过销轴连接在刀柄上,刀柄通过销轴连接在刀座上,刀座按刀组排列位置焊接在刀轴上。由传动装置输出动力,带动刀轴旋转,再通过销轴带动刀柄、刀头转动。

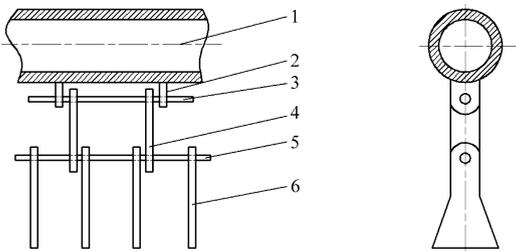


图2 刀具结构示意图

Fig.2 Structure sketch of reamer

1. 刀轴 2. 刀座 3,5. 销轴 4. 刀柄 6. 刀头

鞭式刀具刀头设计为直刀且开刃,以减少入土阻力。刀头形状为楔形,以便重心下移,增大转动惯

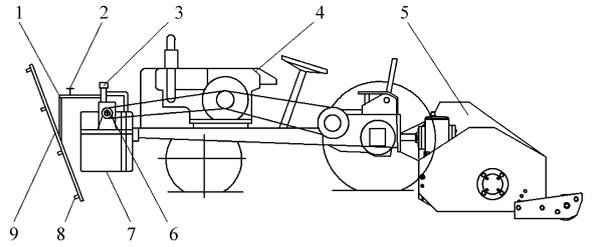


图1 快速腐熟秸秆还田联合作业机结构简图

Fig.1 Structure sketch of fast decomposition straw returning machine

1. 喷药管路 2. 调节阀 3. 逆止回流阀 4. 拖拉机 5. 秸秆还田机 6. BPZ型自吸泵 7. 药箱 8. 喷头 9. 喷杆

### 1.2 工作原理

联合机在田间作业时,打开调节阀,腐熟剂喷施系统开始工作,装在药箱里的腐熟剂在自吸泵的作用下由喷头喷洒至留茬秸秆上,随后秸秆粉碎系统对喷施了腐熟剂的秸秆进行粉碎还田,完成联合作业。腐熟剂喷施与机械粉碎两者优势互补,达到快速腐熟还田的目的。两种作业方式还可根据田间作业需要自由切换,进行喷药或粉碎单独作业<sup>[4]</sup>。

联合机主要技术参数如表1所示。

量,增强入土功能,同时延长使用寿命。由多片刀头组成一套动刀组,在还田机工作腔内定刀组的配合下增强切碎、破茬功能。该刀具在田间能一次完成秸秆粉碎、灭茬以及腐熟剂与碎秸秆和土壤的均匀混拌。

### 2.2 药液自吸泵

根据喷洒除草剂的推荐工作压力等于或小于0.3 MPa的原则<sup>[6]</sup>,选择山东工友集团生产的40BPZ-20型自吸泵,如图3所示。该泵配用功率为1.5 kW,流量为12 m<sup>3</sup>/h,出水管直径为40 mm,符合联合机配用泵选型要求。BPZ型自吸泵固定安装在拖拉机车头端部的机架上,并用V胶带将泵体转轴与飞轮相连接。

### 2.3 腐熟剂药箱

根据机动喷雾机施药量一般为300 L/hm<sup>2</sup>的要求<sup>[7]</sup>及车头前空间位置大小,确定了联合机药箱容量为93 L。药箱设计为长方体,长度为72 cm,宽度和高度均为36 cm,与BPZ型自吸泵并排固定于机架上。为了提高药箱的耐腐熟剂腐蚀能力,采用聚乙烯塑料制作,如图4所示。药箱的上方加液口设

有滤网,下方出液口旁设一沉水槽,以达到能自然清空药液的目的<sup>[7]</sup>。

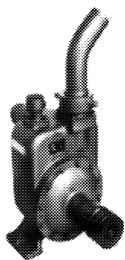


图3 40BPZ-20  
型自吸泵  
Fig.3 40BPZ-20  
self-suction pump

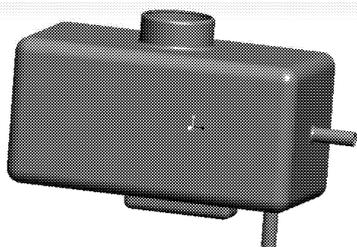


图4 药箱结构图  
Fig.4 Structure map of  
the liquor box

## 2.4 逆止回流阀

联合机在田间作业时,为控制管路药液压力,设计安装了逆止回流阀,当管路压力过高或自吸泵开始工作,而调节阀处于关闭状态时,多余的腐熟剂可通过逆止阀回流至药箱,以防止管路爆裂和腐熟剂的泄露。该阀由壳体、钢珠、弹簧、旋盖等组成,阀体结构如图5所示<sup>[8]</sup>。利用旋盖可以自由调节腐熟剂喷洒压力,以适应不同的作业要求,逆止回流阀安装在BPZ型自吸泵的排液口端部。

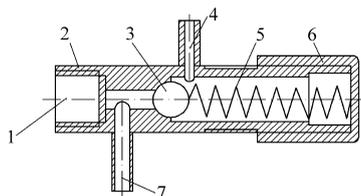


图5 逆止回流阀结构图

Fig.5 Structure of the backflow preventer

1. 进液口 2. 壳体 3. 钢珠 4. 溢流口 5. 弹簧 6. 旋盖  
7. 出液口

## 2.5 腐熟剂喷头

喷头在喷雾装置中起着关键作用,是腐熟剂喷施系统实现喷施作业的终端部件,喷头喷量计算式为<sup>[4]</sup>

$$Q = \frac{MvB}{600n} \quad (1)$$

式中  $Q$ ——喷头喷量, L/min

$M$ ——用药量, L/hm<sup>2</sup>

$v$ ——机具作业速度, km/h

$B$ ——作业幅宽, m  $n$ ——喷头数

根据试验地情况,用药量确定为  $M = 300 \text{ L/hm}^2$ , 机组作业速度  $v = 2.0 \sim 3.5 \text{ km/h}$ , 作业幅宽  $B = 1.0 \text{ m}$ , 确定喷头数  $n = 4$ , 将  $M$ 、 $v$ 、 $B$ 、 $n$  值代入式(1)可得  $Q = 0.25 \sim 0.44 \text{ L/min}$ 。

按照喷头规格要求及对喷头覆盖率、漂移率、均匀性三方面的试验测定<sup>[9]</sup>, 本机选用 es60° 型自动

防滴装置均等扇形喷头,可保证工作时覆盖整个作业幅宽且无滴漏现象发生。喷头固定于喷杆上,距机架前端横梁 13 cm,可根据作业需要自由调整喷头位置及间距<sup>[4]</sup>。

腐熟剂喷施系统管路均由可拆卸耐高压软管连接而成,选用折叠式喷杆,便于运输。

## 3 田间试验分析

### 3.1 试验材料

试验地位于兰州市秦王川种植小麦的一年一熟灌溉地,土壤为沙壤土,肥力比较均匀,试验地留茬作物为陇春 23 号小麦,机收后麦秆留茬高度均匀,长度在 19 ~ 25 cm,试验地小麦秸秆留茬的覆盖量约为  $1.07 \text{ kg/m}^2$ 。

试验中选用由西北农林科技大学循环农业工程技术研究中心研制的秸秆预处理菌剂,菌剂中含有大量光合菌群、酵母菌群、发酵系的丝状菌群等,以 4 g 菌剂加 2.4 kg 水为配兑比例,在 38℃ 下活化 10 h 后进行喷洒,秸秆腐熟剂中的高效有益微生物能与秸秆混合后大量繁殖,抑制或杀灭土壤中的致病菌及害虫,是一种有一定内吸传导性,针对性强、腐熟速度快、并对下茬种植作物无伤害的腐熟菌剂。

### 3.2 试验方法

(1) 对麦茬地采用 3 种不同秸秆还田处理方式:留茬翻理、秸秆粉碎、秸秆粉碎和腐熟剂喷施。

(2) 对不同处理方式下小麦秸秆剩余量、日均分解量、秸秆分解率 3 个指标通过固定体积铁箱 (30 cm × 30 cm × 20 cm) 定期采样测定。取样中,对每种处理方式采用 3 点取样法,取得的秸秆用清水洗净,风干后用烘箱烘干 (90℃ 下干燥 22 h),然后测定未分解秸秆剩余质量。秸秆分解率和日均分解量计算公式为

$$A_{i+1} = \frac{Y_i - Y_{i+1}}{Y_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$B_{i+1} = \frac{Y_i - Y_{i+1}}{N} \quad (3)$$

式中  $A_{i+1}$ ——第  $i+1$  次取样后秸秆分解率, %

$B_{i+1}$ ——第  $i+1$  次取样后秸秆日均分解量, g

$Y_i$ 、 $Y_{i+1}$ ——第  $i$ 、 $i+1$  次采样测得秸秆净质量, g

$N$ ——第  $i$  次与第  $i+1$  次采样所隔天数

(3) 对不同方式还田处理地块的下一茬种植麦苗的株高、地上干质量、分蘖数以及出苗率、穗粒数、千粒质量和最终产量进行跟踪测定、计算比较<sup>[10]</sup>。

### 3.3 试验结果与分析

试验前用铁箱取样的秸秆净质量均为 96.5 g,

3 种不同还田处理下小麦秸秆剩余量、日均分解量、秸秆分解率的测定计算结果如表 2 所示。

表 2 秸秆还田对比试验结果

Tab.2 Straw returning results from field experiments

处理方法	项目	日期					
		2008-08-01	2008-09-02	2008-10-08	2008-11-11	2008-12-06	2009-03-05
留茬翻埋	剩余量/g	96.5	78.9	64.1	52.9	47.2	37.3
	日均分解量/g		0.55	0.41	0.33	0.23	0.11
	秸秆分解率/%		18.2	33.6	45.2	51.1	61.3
秸秆粉碎	剩余量/g	96.5	76.7	57.6	42.0	32.8	19.2
	日均分解量/g		0.62	0.53	0.46	0.37	0.15
	秸秆分解率/%		20.5	40.3	56.5	66.0	80.1
秸秆粉碎和腐熟剂喷施	剩余量/g	96.5	72.2	48.5	30.1	18.9	2.7
	日均分解量/g		0.76	0.66	0.54	0.45	0.18
	秸秆分解率/%		25.2	49.7	68.8	80.4	97.2

由表 2 可以看出,采样初期,3 种秸秆还田处理方法所得的秸秆日均分解量均达到各自在整个试验中的最大值,此后分解量都有明显下降,入冬后日均分解量均降低到最小值。3 种不同处理方式都使秸秆分解率呈增长趋势,但秸秆还田和腐熟剂喷施方

式的秸秆腐熟还田率明显高于另外两种,在第二年春小麦播种期前(3 月 5 日)为 97.2%,比单独机械粉碎方式高 17.1%。

经过不同方式处理后的麦茬地,下一茬种植麦苗长势情况及产量测定数据如表 3 和表 4 所示。

表 3 不同秸秆还田处理法麦苗长势对比

Tab.3 Comparison of wheat growth with different straw returning treatment

日期	处理方法	株高/cm	地上干质量/g	分蘖数
2009-04-11(幼苗)	留茬翻埋	9.6	1.1	
	秸秆粉碎	10.5	1.2	
	秸秆粉碎和腐熟剂喷施	10.6	1.3	
2009-05-18(麦苗拔节)	留茬翻埋	49.7	10.7	2.6
	秸秆粉碎	51.2	11.8	2.9
	秸秆粉碎和腐熟剂喷施	55.9	14.7	3.2
2009-06-09(麦苗抽穗)	留茬翻埋	62.5	21.3	1.7
	秸秆粉碎	67.9	26.4	1.9
	秸秆粉碎和腐熟剂喷施	71.7	36.3	2.1
2009-06-17(麦苗开花)	留茬翻埋	63.8	35.4	1.6
	秸秆粉碎	69.7	43.4	1.9
	秸秆粉碎和腐熟剂喷施	73.6	51.8	2.2
2009-07-16(收获期)	留茬翻埋	65.6	63.7	1.4
	秸秆粉碎	71.7	71.3	1.7
	秸秆粉碎和腐熟剂喷施	75.8	75.1	1.9

表 4 不同秸秆还田处理后小麦产量对比(2009 年度)

Tab.4 Comparison yield of wheat with different straw returning treatment (in 2009)

处理方法	出苗率/%	穗粒数	千粒质量/g	产量/kg·hm <sup>-2</sup>	对照增产率/%
留茬翻埋	80.6	37.4	40.6	4 781.6	
秸秆粉碎	83.8	39.1	41.8	5 183.7	8.4
秸秆粉碎和腐熟剂喷施	84.4	42.3	43.2	5 976.6	24.9

由表 3 可以看出,采用秸秆粉碎与腐熟剂喷施相结合的还田方式对小麦苗期生长无不良影响,并且能使小麦后期生长稳健,株高、地上干物质积累量都优于其他两种对照处理方法,在应用该秸秆还田处理方法后无须再施加氮肥即可满足田间麦苗生长的需要。

由表 4 可以看出,通过对 2009 年度小麦产量及相关各参数的对比发现,秸秆粉碎与腐熟剂喷施相结合的秸秆还田法,使小麦的出苗率、穗粒数、千粒质量等指标都有所增加,具备了小麦增产的条件,产量比单一秸秆粉碎处理方式提高了 16.5%。

由上述试验数据分析可知,秸秆粉碎与腐熟剂

喷施相结合的秸秆还田方式不仅可以运用还田机及时高效地粉碎秸秆留茬,还能通过喷施腐熟剂对秸秆起到长效促腐熟作用,提高了还田地作物产量。

#### 4 结束语

利用现有的机械粉碎还田技术和秸秆腐熟剂开发应用的研究成果,设计出了快速腐熟秸秆还田联合作业机,联合机还可根据田间作业需要,进行田间

喷药或秸秆粉碎单独作业。

通过2008年8月~2009年7月的田间试验表明,秸秆粉碎与喷施腐熟剂相结合的作业方式能更好地促进秸秆的快速腐熟,7个月后的秸秆腐熟还田率为97.2%,比单一机械粉碎方式高17.1%;能够更好地促进作物生长,腐熟还田后的地块小麦出苗率以及后期长势良好,产量比单一机械粉碎方式高16.5%。

#### 参 考 文 献

- 张银霞,曾宪阳,杨星钊,等. 秸秆粉碎灭茬还田机的试验研究[J]. 河南农业大学学报,2002,36(2):179~182.  
Zhang Yinxia, Zeng Xianyang, Yang Xingzhao, et al. Experimental study on straw chopping and tillage stubble machine[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2002, 36(2):179~182. (in Chinese)
- 杨学军,严荷荣,徐赛章,等. 植保机械的研究现状及发展趋势[J]. 农业机械学报,2002,33(6):61~66.  
Yang Xuejun, Yan Herong, Xu Saizhang, et al. Current situation and development trend of equipment for crop protection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(6):61~66. (in Chinese)
- 李其响,张萍,于磊,等. 玉米秸秆促腐的实验研究[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2009,23(1):5~7.  
Li Qiyun, Zhang Ping, Yu Lei, et al. The study about accelerated corrosion of the corn straw[J]. Journal of Shandong University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 23(1):5~7. (in Chinese)
- 胡亚鲜,王晓燕,李洪文,等. 垄作喷药浅松除草机设计[J]. 农业机械学报,2009,40(7):61~66.  
Hu Yaxian, Wang Xiaoyan, Li Hongwen, et al. Sprayer-cultivator-combined weeder for permanent raised bed system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7):61~66. (in Chinese)
- 张世芳,赵树朋,马跃进,等. 秸秆还田机鞭式刀具的研究[J]. 农业机械学报,2004,35(2):59~61.  
Zhang Shifang, Zhao Shupeng, Ma Yuejin, et al. Research of scourge-type reamer used for straw returning machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2):59~61. (in Chinese)
- GB/T 17997—1999. 农药喷雾机(器)田间操作规程及喷洒质量评定[S].  
GB/T 17997—1999. Evaluating regulation for the operation and spraying quality of sprayers in the field[S]. (in Chinese)
- 古燕. 玉米免耕播种喷药联合作业机研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.  
Gu Yan. Study on the seeding and spraying combined machine for no-till maize[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 张锋伟,戴飞,韩正晟,等. 拖拉机前置喷药机的设计[J]. 农机化研究,2010,32(4):107~109. (in Chinese)  
Zhang Fengwei, Dai Fei, Han Zhengsheng, et al. Design of spray liquor machine in front of tractor[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4):107~109. (in Chinese)
- 王立军,姜明海,孙文峰,等. 喷雾机设计中喷头的选型[J]. 农机化研究,2005,27(2):151~153. (in Chinese)  
Wang Lijun, Jiang Minghai, Sun Wenfeng, et al. The type choice of nozzle in sprayer design[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, 27(2):151~153. (in Chinese)
- 马永良,郝晋珉,吕润海,等. 玉米秸秆整株原位翻压还田技术研究[J]. 河北农业科学,2000,4(1):1~8.  
Ma Yongliang, Hao Jinmin, Lü Runhai, et al. Research on technique of intact stem anchor ground till (ISACT) of corn[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2000, 4(1):1~8. (in Chinese)
- 王爱玲,高旺盛,黄进勇. 秸秆直接还田的生态效应[J]. 中国农业资源与区划,2000,21(2):41~45.  
Wang Ailing, Gao Wangsheng, Huang Jinyong. Study on the ecological effort of returning stalks into soil with different methods[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2000, 21(2):41~45. (in Chinese)
- 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:上册[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- 戴奋奋,袁会珠. 植保机械与施药技术规范[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- 陈玉仑,丁为民,汪小岳,等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机设计[J]. 农业机械学报,2009,40(8):62~66.  
Chen Yulun, Ding Weimin, Wang Xiaochan, et al. Design of harvest ditch and stalk-disposing machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8):62~66. (in Chinese)