

# 甘蔗叶粉碎还田机集叶器设计与试验<sup>\*</sup>

李明 王金丽 邓怡国 黄晖 张劲 宋德庆

**【摘要】** 为了解决一般粉碎还田机甩刀无法将沟底甘蔗叶捡拾起来的问题,设计了一种集叶器。集叶器斜杆与限位轮刚性连接,底端接触地面,可将紧贴地面的甘蔗叶收集、提升至一定高度,使喂入高度增加,从而使甩刀离地沟间隙超过垄高,不仅避免甩刀切入土壤和碰撞坚硬石块等障碍物,减少不必要的动力消耗,而且捡拾率和粉碎率分别提高3.4%~4.3%和9.4%~11.8%。经理论分析和田间试验确定了集叶器斜杆倾角为40°~60°,斜杆底端与机壳前端距离为60~70 cm。

**关键词:** 粉碎还田机 集叶器 甘蔗叶 设计 试验

**中图分类号:** S224.29 **文献标识码:** A

## Design and Experimental Study on Pick-up Device of Sugarcane Leaf Shattering and Returning Machine

Li Ming Wang Jinli Deng Yiguo Huang Hui Zhang Jin Song Deqing  
(Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences)

### Abstract

In order to solve the problem that the turning cutter of commonly used sugarcane leaf shattering and returning machine could not pick up the sugarcane leaf from the bottom of furrow, a pick-up device was designed. The inclined rod is connected to the positioning wheel rigidly, and both of them are aligned with the tractor wheel. The bottom end of inclined rod, touching with the soil surface, can pick up the sugarcane leaf from soil surface, lift to a certain height, and promote the feeding height. The power consumption of the machine was saved, and the pick-up rate and shattering rate were improved by 3.4% ~ 4.3% and 9.4% ~ 11.8% respectively. The pick-up device key structural parameters values were determined by theoretical analysis and field tests as follows: the inclined angle 40° ~ 60° of inclined rod, and the distance 60 ~ 70 cm between the bottom end of inclined rod and the machine cover.

**Key words** Shattering and returning machine, Pick-up device, Sugarcane leaf, Design, Experiment

### 引言

甘蔗是一种起垄种植的作物,垄高最大时可达20 cm。一般粉碎还田机的甩刀无法将沟底的甘蔗

叶捡拾起来进行粉碎作业,为此我国研制了不少甘蔗叶粉碎还田机械<sup>[1~2]</sup>,其中甩刀大都按地垄高低仿形布置,长刀和短刀分别对应沟底和垄面。在行距统一及垄高、垄宽较为一致时,作业效果有保障,

收稿日期:2007-03-30

<sup>\*</sup> 科研院所社会公益研究专项资助项目(项目编号:2004DIB4J140)、农业科技成果转化资金资助项目(项目编号:2007326158)和中国热带农业科学院科技基金资助项目(项目编号:Rky0640)

李明 中国热带农业科学院农业机械研究所 副研究员,524091 广东省湛江市  
王金丽 中国热带农业科学院农业机械研究所 研究员  
邓怡国 中国热带农业科学院农业机械研究所 助理研究员  
黄晖 中国热带农业科学院农业机械研究所 副研究员  
张劲 中国热带农业科学院农业机械研究所 研究员 博士生导师 通讯作者  
宋德庆 中国热带农业科学院农业机械研究所 高级工程师

但蔗田状况复杂,多数行距不一,垄形也不规则,甩刀难免会切入土壤和碰撞石块,消耗动力,且甩刀离地间隙较小,在干燥天气作业时粉尘较大,对拖拉机进气 and 散热系统也会造成不良影响,从而限制了其推广应用。带捡拾机构的甘蔗叶粉碎还田机,甘蔗叶首先由弹齿捡拾机构捡起,再由甩刀和定刀共同作用完成粉碎作业,但弹齿需要反复接触土壤和碰撞石块等,容易变形<sup>[3~4]</sup>,工作可靠性差。为此,研究一种适用于甘蔗叶粉碎还田机的集叶器,以便更好地解决甘蔗叶的捡拾与粉碎问题。

## 1 集叶器的结构特点和工作原理

### 1.1 结构特点

集叶器主要由斜杆和连接板等部件组成,如图1所示。其中斜杆由弯曲杆和底铲通过螺栓联接组成,底铲磨损或碰撞损坏后可方便拆换,弯曲杆焊接在连接板上,再通过螺栓与焊接在方钢上的多孔板相连。连接板和多孔板在垂直方向上均开有多个圆孔,用以调整集叶器的高低。

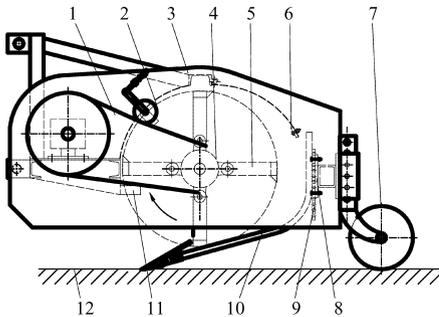


图1 甘蔗叶粉碎还田机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of sugarcane leaf shattering and returning machine

- 1.传动系统 2.前挡板 3.机架 4.刀辊 5.甩刀 6.后挡板  
7.限位轮 8.多孔板 9.连接板 10.集叶器 11.定刀 12.地面

集叶器有2个,呈左右对称布置在机架后两侧,可对应于甘蔗地沟底。其特点是斜杆与限位轮刚性连接,且布置在甩刀的下前方,底铲与限位轮和拖拉机后轮均处于同一纵垂面上,工作时底铲刚好接触地面,将紧贴地面的甘蔗叶收集、提升至一定高度,使喂入高度升高,便于甩刀进一步捡拾并进行粉碎作业。

### 1.2 工作原理

甘蔗叶粉碎还田机后悬挂于轮式拖拉机上,工作前先下降至限位轮落地,然后根据甘蔗地起垄高低情况,调整集叶器使其铲尖刚触及地面。甩刀经拖拉机动力输出轴、万向传动轴、变速箱传动带作高速旋转。工作时,集叶器底铲紧贴地面将甘蔗叶收集、提升至一定高度,高速旋转的甩刀同步将甘蔗叶

捡拾并喂入粉碎室(前后挡板与定刀组成的工作腔),甘蔗叶在粉碎室内甩刀与定刀的剪切、撕裂和打击下成为碎段,在离心力作用下碎段沿机壳后端被均匀抛撒至田间。

## 2 集叶器的设计与分析

### 2.1 集叶器结构方案

一般粉碎还田机甩刀离地间隙为4~6 cm<sup>[5]</sup>,甘蔗叶还田机甩刀离地间隙为9 cm<sup>[2,6]</sup>,而甘蔗地垄高大多数超过9 cm,因此一般甩刀无法捡拾起地沟中的甘蔗叶来粉碎,尤其是沟底的甘蔗叶被拖拉机轮子压实后以及潮湿天气含水率较高时,捡拾和粉碎效果更差<sup>[5]</sup>。因此,必须设计随地表高低大致仿形的集叶器,并配合甩刀进行捡拾和粉碎作业。

目前,一般农业机械的仿形机构常采用单铰接、平行四连杆和多杆双自由度等型式<sup>[6]</sup>。由于甘蔗叶长而多,散落很不均匀,且地表高低不一,采用单铰接、平行四连杆和多杆双自由度等仿形机构,结构较为庞大,如调整不好,还容易被甘蔗叶缠住造成堵塞,使捡拾可靠性变差。

设计的集叶器,斜杆与限位轮刚性连接,具有相同的协调运动,结构较为简单。

### 2.2 集叶器结构参数

如图2所示,限位轮位置固定不变,斜杆倾角 $\alpha$ 愈小,斜杆长度 $L$ 值就愈大,甘蔗叶集合沿斜杆运动距离也愈长且甩刀捡拾位置高,有利于甘蔗叶收集、提升、进入粉碎室,但结构较庞大; $\alpha$ 愈大,则斜杆长度 $L$ 愈小,可减少斜杆的自重,但甘蔗叶集合沿斜杆运动距离变短,甩刀捡拾位置低,对甘蔗叶喂入不利,甚至甘蔗叶未能集合和提升时,甩刀已运动到前挡板中的定刀位置,不利于甘蔗叶提升与集合,且 $\alpha$ 太大时,斜杆向上集合甘蔗叶时甚至会发生翻滚现象。因此,需要选择合适的斜杆倾角 $\alpha$ 及合适的斜杆底端 $D$ 与机壳前端 $B$ 之间的距离 $H$ 。

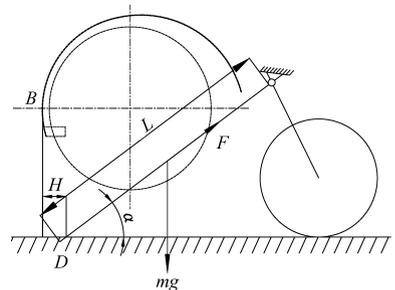


图2 甘蔗叶在集叶器上运动分析图

Fig.2 Movement analysis of the pick-up device

由于斜杆铲尖紧贴地面向前移动,要使静止不动的甘蔗叶沿斜杆向上移动,并保证甘蔗叶不发生翻滚现象,必须满足

$$F > mgsin\alpha + \mu mgcos\alpha \quad (1)$$

式中  $F$ ——斜杆前方甘蔗叶和土壤对进入斜杆的甘蔗叶作用力沿斜杆切线方向分力， $N$

$m$ ——斜杆上甘蔗叶总质量， $kg$

$\mu$ ——斜杆的摩擦因数， $\mu = \tan\theta$

$\theta$ ——甘蔗叶与斜杆间的摩擦角

由式(1)可得到

$$\alpha < \arcsin\left(\frac{F\cos\theta}{mg}\right) - \theta \quad (2)$$

因此可见，斜杆倾角  $\alpha$  不能过大，方能保证集叶器较好地集合与提升甘蔗叶。

### 2.3 集叶器工作过程

#### 2.3.1 局部起伏地表工作过程

由于斜杆与限位轮刚性连接，它们具有完全相同的平面运动，因此当拖拉机后轮进入局部凸起地表时，集叶器斜杆铲尖被抬起，并进入凸起地表，阻力增大，对工作不利，如图3所示；同样，斜杆进入局部凹形地表时，斜杆铲尖则跳过凹形地表，对捡拾凹形地表部分的甘蔗叶不利。

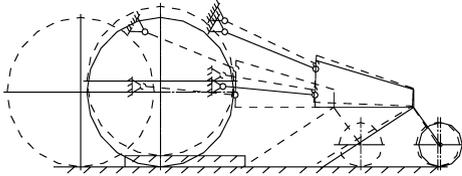


图3 局部起伏地表工作过程示意图

Fig.3 Schematic diagram of process on local undulating surface

#### 2.3.2 长度较大的起伏地表仿形过程

当拖拉机后轮从正常的工作位置进入上坡地段时，如图4所示，斜杆铲尖会被抬起而远离地表面，对捡拾甘蔗叶不利，但随着机具继续前进，限位轮也进入上坡地段时，斜杆铲尖会紧贴地表面，集叶器工作恢复正常；同样，集叶器进入下坡地段时，斜杆铲尖会先插入地面，阻力增大，对工作不利，但随着机具前进，插入量慢慢变小，至限位轮进入下坡地段时，集叶器工作又恢复正常。

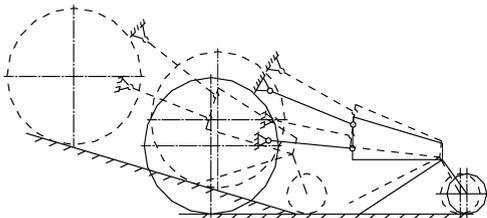


图4 长度较大的起伏地表工作过程示意图

Fig.4 Schematic diagram of process on biggish undulating surface

## 3 田间试验结果与分析

### 3.1 试验条件、机具和性能指标

试验的甘蔗地条件：甘蔗行距约 120 cm，地垄高约 14 cm，地垄宽约 80 cm，甘蔗叶平均厚度 20 cm，甘蔗叶平均长度 120 cm。

试验机具：1GYF-120 型甘蔗叶粉碎还田机，配套动力为 SH50 型拖拉机，作业速度为 II 挡（约 0.97 m/s），甩刀离沟底间隙为 18 cm。

试验的主要性能指标：甘蔗叶捡拾率、粉碎率，单位时间燃油消耗量。重复试验 3 次，取平均值。

### 3.2 集叶器对捡拾和粉碎性能的影响

在不同甘蔗叶含水率时，集叶器对捡拾率和粉碎率影响结果分别如图 5、6 所示。图中  $S$  为标准差。

根据图 5、6 数据，用 SAS 软件<sup>[7]</sup>进行  $t$  检验的结果见表 1，单因素试验方差分析<sup>[8]</sup>的结果见表 2。

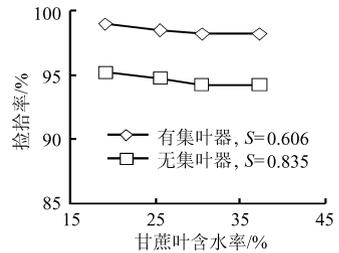


图5 集叶器对捡拾率的影响曲线

Fig.5 Effect of pick-up device on pick-up rate

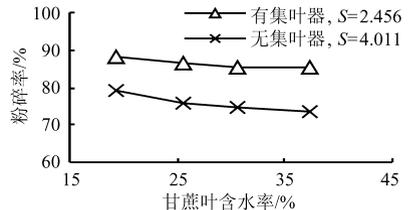


图6 集叶器对粉碎率的影响曲线

Fig.6 Effect of pick-up device on shattering rate

由表 1 可见，装上集叶器前后捡拾率和粉碎率的  $t$  值分别为 13.31 和 7.91，均大于  $t_{0.01}$ ，集叶器对捡拾率、粉碎率均有极显著的影响。主要因为集叶器能将甘蔗叶提升至一定高度，使甘蔗叶喂入高度增加，便于喂入粉碎室，提高了捡拾率。同时集叶器也起支约束作用<sup>[9]</sup>，从而提高了粉碎率。

表 1 捡拾率和粉碎率  $t$  值检验分析表

Tab.1 Analysis of  $t$  values of pick-up rate and shattering rate

指标	种类	平均值	标准差	自由度	$t$ 值	$t_{0.01}$
捡拾率/%	有集叶器	98.45	0.33	6	13.31	3.71
	无集叶器	94.58	0.48			
粉碎率/%	有集叶器	86.40	1.37	6	7.91	3.71
	无集叶器	75.75	2.32			

表2 捡拾率和粉碎率试验方差分析表  
Tab.2 Analysis of variance of pick-up rate and shattering rate

指标	方差来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.01}$
捡拾率/% (有集叶器)	含水率	3	1.102 5	0.367 5	10.26	7.59
	误差	8	0.286 7	0.035 8		
	总计	11	1.389 2			
捡拾率/% (无集叶器)	含水率	3	2.090 0	0.696 7	18.17	7.59
	误差	8	0.306 7	0.038 3		
	总计	11	2.396 7			
粉碎率/% (有集叶器)	含水率	3	18.096 7	6.032 2	65.81	7.59
	误差	8	0.733 3	0.091 7		
	总计	11	18.830 0			
粉碎率/% (无集叶器)	含水率	3	48.262 5	16.087 5	183.86	7.59
	误差	8	0.700 0	0.087 5		
	总计	11	48.962 5			

由表2可见,所有 $F$ 值均大于 $F_{0.01}$ ,有集叶器后 $F$ 值小于无集叶器时的相应值,甘蔗叶含水率对捡拾率和粉碎率均有极显著的影响,且装上集叶器后甘蔗叶含水率对捡拾率和粉碎率的影响减小。从一般秸秆粉碎机理可知,在相同体积的情况下,含水率越高,则甘蔗叶质量以及甩刀捡拾和粉碎所需惯性力就越大,且秸秆特性为含水率越高柔韧性越好,越不易断裂<sup>[10]</sup>,捡拾率和粉碎率则越低。而有集叶器,甘蔗叶喂入高度升高,含水率高时,甩刀捡拾和粉碎所需惯性力则相对小些。

### 3.3 集叶器对拖拉机的影响

在不同甘蔗叶含水率时,集叶器对单位时间燃油消耗量影响结果见图7,图中 $S$ 为标准差。

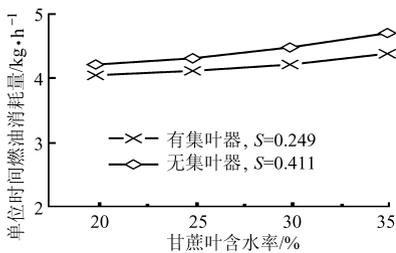


图7 集叶器对单位时间燃油消耗量的影响曲线

Fig.7 Effect of pick-up device on oil consumption per unit time

根据图7,集叶器装上前单位时间燃油消耗量的 $t$ 值均为1.79,小于 $t_{0.01}$ ,甘蔗叶含水率相同时集叶器对油耗的影响不显著。单位时间燃油消耗量因素试验方差分析的结果见表3,比值 $F$ 均大于 $F_{0.01}$ ,有集叶器的 $F$ 值小于无集叶器时的相应值,甘蔗叶含水率对燃油消耗量有极显著的影响,且有集叶器时,甘蔗叶含水率对燃油消耗量的影响减小。

表3 燃油消耗量试验方差分析表  
Tab.3 Variance analysis of oil consumption

种类	方差来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.01}$
有集叶器	含水率	3	0.186 3	0.062 1	82.80	7.59
	误差	8	0.006 0	0.000 8		
	总计	11	0.192 3			
无集叶器	含水率	3	0.507 6	0.169 2	285.95	7.59
	误差	8	0.004 7	0.000 6		
	总计	11	0.512 3			

同时,在天气较干燥时,由于甩刀离地间隙较高,作业粉尘相对少些,工作环境有所改善,有利于拖拉机进气和散热系统的运行,水箱散热器不容易造成堵塞,有效提高了机具作业效率,保证了机具作业的可靠性和适应性。

### 3.4 集叶器结构对捡拾和粉碎性能的影响

不同的斜杆倾角 $\alpha$ 及不同的斜杆底铲铲尖与机壳前端之间距离 $H$ 对捡拾率和粉碎率影响结果见表4。表中 $S$ 为标准差。

表4 集叶器结构对捡拾和粉碎性能的影响

Tab.4 Effect of pick-up device structure on pick-up rate and shattering rate

指标	斜杆倾角 $\alpha/(^\circ)$				S	斜杆铲尖与机壳前端距离 $H/\text{cm}$				S
	30	45	60	75		50	60	70	80	
	捡拾率/%	95.2	98.3	97.8		95.8	1.40	95.5	98.5	
粉碎率/%	85.2	89.2	89.1	87.3	1.71	89.0	89.2	88.9	87.5	0.76

由表4可见,斜杆倾角 $\alpha = 45^\circ$ 时,捡拾率和粉碎率均最高, $\alpha = 60^\circ$ 时,捡拾率和粉碎率也较高,因此斜杆倾角可取 $45^\circ \sim 60^\circ$ ;同样,斜杆铲尖与机壳前端的距离可取 $60 \sim 70 \text{ cm}$ 。

## 4 结论

(1) 集叶器能从垄沟底提升甘蔗叶至一定高度,使喂入高度增加,较好地解决了甩刀无法将沟底的甘蔗叶捡拾起来的问题,与无集叶器相比,捡拾率提高了 $3.4\% \sim 4.3\%$ 。

(2) 通过理论分析并结合试验得出:集叶器斜杆倾角为 $45^\circ \sim 60^\circ$ ;斜杆铲尖 $D$ 与机壳前端 $B$ 之间距离为 $60 \sim 70 \text{ cm}$ 。

(3) 田间试验结果表明:采用集叶器的甘蔗叶粉碎还田机捡拾和粉碎效果均好,尤其是在较潮湿天气时效果更加显著,而油耗没有显著增加。同时在天气较干燥时,工作环境有所改善。

率较低。

膨化亚麻籽的颗粒酥松、分层、形状无规则,脆性大、不结实,有光泽,颗粒间由无数大小空洞相互链接。由图4~6可知,膨化的分层越多,颗粒越疏松,则膨化亚麻籽体外消化率越高。说明挤压膨化工艺改变了亚麻籽的膨化微观结构,使得亚麻籽的消化率增加:一方面,动物消化道内的各种消化酶很容易进入颗粒内部,与亚麻籽充分接触,增大了消化酶和亚麻籽颗粒的接触面积,提高了亚麻籽的消化率;另一方面,在膨化亚麻籽添加到饲料或者食物中后,混合料中的其他营养成分和微量元素可以填充到膨化亚麻籽颗粒的空洞内并充分混合,防止微量元素在运输过程中损失<sup>[13]</sup>。

### 3 结论

(1) 亚麻籽体外消化率的因素影响程度依次为含水率、喂料速度、螺杆转速、温度,其中螺杆转速和温度影响不显著。为提高膨化亚麻籽体外消化率,应选择中间温度、低含水率、高或低螺杆转速、高喂料速度。在选择参数时,还应着重考虑温度和螺杆转速的交互作用。

(2) 原亚麻籽粉的微观形状有大片凝结,且致密、无光泽。膨化亚麻籽的颗粒疏松、分层、形状较规则,脆性大,有光泽,颗粒间由无数大小空洞相互链接。膨化的分层越多,颗粒越疏松,则膨化亚麻籽体外消化率越高。

### 参 考 文 献

- 1 石永峰. 亚麻籽的保健功效及其有害成分的分离方法[J]. 中国油脂, 1996, 21(5): 26~29.
- 2 张建华, 倪培德, 华欲飞. 亚麻籽中的生氰糖苷[J]. 中国油脂, 1998, 23(5): 58~60.
- 3 刘金荣, 赵文斌, 江发寿, 等. 亚麻籽与籽油的营养成分及理化特性研究[J]. 营养学报, 2003, 25(2): 157~158.
- 4 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 204~206.
- 5 王洪武, 周建国, 林炳鉴. 新型双螺杆食品挤压机加工复合组织蛋白的研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 66~69.
- 6 申德超, 李宏军. 玉米胚挤压膨化系统参数优化试验[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 65~68.
- 7 Wu W Y, Huff H E, Hsieh F. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff[C]. 2004 IFT Annual Meeting.
- 8 Hsu H W, Vavak D L, Satterlee L D, et al. A multienzyme technique for estimating protein digestibility[J]. Journal of Food Science, 1977, 42(5): 1 269~1 273.
- 9 Gonthier C, Mustafa A F, Berthiaume R, et al. Effects of feeding micronized and extruded flaxseed on ruminal fermentation and nutrient utilization by dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(6): 1 854~1 863.
- 10 王军, 王敏, 于智峰, 等. 基于相应曲面法的苦荞麸皮总黄酮提取工艺优化[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7): 205~208.
- 11 谭鹤群. 亚麻胶浸提与喷雾干燥工艺研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- 12 吴灵英. 亚麻籽及其饼粕在鸡饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2002, 23(3): 32~34.
- 13 Pedersen B, Eggum B O. Prediction of protein digestibility by in vitro procedures multienzyme pH-stat procedure[J]. Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde, 1983, 49: 265~277.

(上接第70页)

### 参 考 文 献

- 1 梁兆新, 曾伯胜, 古梅英, 等. 甘蔗叶碎叶技术及效益分析[J]. 中国农机化, 2004(3): 23~25.
- 2 广西农机推广总站. 蔗叶粉碎还田机械化技术[J]. 广西农业机械化, 2006(1): 34.
- 3 陈超平. 甘蔗叶粉碎回田机的研制与应用[J]. 热带作物机械化, 1996(1): 10~12.
- 4 梁明. 4F-1.8型甘蔗叶粉碎还田机研制[J]. 现代农业装备, 2005(9~10): 101~102.
- 5 金跃进, 杨坚, 梁兆新, 等. 甘蔗碎叶机的试验研究[J]. 农机化研究, 2004(4): 137~138.
- 6 北京农业工程大学. 农业机械学[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- 7 林德光. 计算机程序设计语言 SAS 教程[M]. 儋州: 华南热带农业大学出版社, 2000.
- 8 陈魁. 试验设计与分析[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- 9 毛罕平, 陈翠英. 秸秆还田机研制现状[J]. 农业机械学报, 1996, 27(2): 152~154.
- 10 王岳. 轴流装置脱粒和茎叶破碎机理的研究[J]. 农业机械学报, 1987, 18(1): 80~91.