

玉米秸秆田间粉碎性能试验研究

张超凡^{1,2}, 张群威^{1,2}, 耿令新², 汤志军²

(1. 河南工业大学 漯河工学院 机电工程系, 河南 漯河 462000; 2. 河南科技大学 农业装备工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 为了弄清玉米秸秆田间粉碎时机车前进速度、粉碎刀具转速对秸秆粉碎功耗和粉碎合格率的影响,运用二次回归正交试验对田间玉米秸秆粉碎性能进行研究。田间试验发现:当玉米秸秆粉碎刀具转速从540r/min逐渐上升至630r/min时,秸秆粉碎合格率和粉碎功耗随着粉碎刀具转速的升高而升高;当机车前进速度由2.9km/h上升至3.16km/h时,粉碎功耗随着前进速度的增加而升高,但粉碎合格率则随着前进速度的增加而减小。同时,通过参数优化获得:当机车前进速度为2.9km/h、刀辊转速为597r/min时,得到秸秆粉碎性能最佳工作指标,即粉碎功耗为2.98kW,粉碎合格率为90.02%。

关键词: 玉米秸秆; 田间粉碎; 试验研究

中图分类号: S222.29

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2020)09-0156-04

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2020.09.027

0 引言

玉米是我国重要的粮食作物,种植面积仅次于小麦和水稻。我国大多地区玉米收获后,秸秆采取直接粉碎还田,通过机械方式粉碎还田后,不仅可以增加土壤有机质、培肥地力、改善土壤结构、增强保水、保肥能力和改良土壤,且是保护环境、发展生态农业、实现有机农业和可持续发展农业的有效途径^[1]。近年来,由于国家对秸秆还田综合利用的重视,农业机械研发单位相继推出适应于我国实际国情的与中小型拖拉机配套使用的秸秆还田机具^[2]。但是,由于缺乏对玉米秸秆田间粉碎性能的试验研究,上述秸秆还田机具在推广过程中还是存在机车前进速度和粉碎效果不匹配等问题。为了弄清玉米秸秆田间粉碎时机车前进速度、粉碎刀具转速对秸秆粉碎功耗和粉碎合格率的影响,以新型玉米秸秆粉碎机作为试验样机,以粉碎合格率和粉碎功耗作为试验指标,在田间进行玉米秸秆粉碎性能试验,弄清玉米秸秆粉碎机具运动参数对粉碎合格率和粉碎功耗的影响规律,并通过参数优化获得其最佳工作指标,为秸秆粉碎机具的改进设计提供可靠数据。

1 田间试验

1.1 田间玉米生长状况

试验选择玉米人工收获秸秆长势均匀的地块,同时取样,在实验室测得玉米秸秆含水率。田间玉米秸秆生长物理参数如表1所示。

表1 田间玉米秸秆生长物理参数

Table 1 Statue of cornstalk in the field

玉米株距/mm	玉米行距/mm	茎秆含水率/%	单株茎秆平均直径/mm	茎秆平均质量/g	茎秆平均高度/cm
344	530	74.7	23	437.5	242

1.2 试验设计

玉米秸秆田间粉碎作业对象选取当年自然生长的玉米秸秆,一次作业两行,每次试验测量长度为15m。由于茎秆的粉碎转速和机车的前进速度从茎秆粉碎开始到达稳定状态,需要有一段缓冲的时间,因此测量时,在试验长度内第5m和10m处各做标记。当机车行进到5m处标记时开始采集数据,当机车行进到10m处标记时,拖拉机开始减速停车,停止采集数据。每段试验长度做完后,把6~9m处作为试验样品取样阶段,即捡取该测量长度内超长的茎秆,实验室内测出它的质量并计算出该次粉碎试验合格率。

田间粉碎试验以粉碎合格率和粉碎功耗为试验指标,通过采用回归正交的试验方法,找出机车前进速

收稿日期: 2019-04-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0701805-01)

作者简介: 张超凡(1976-),男,河南漯河人,副教授,硕士(E-mail: 350493450@qq.com)。

通讯作者: 耿令新(1972-),男,河南洛阳人,副教授,博士(E-mail: Genglingxin@163.com)。

度和粉碎刀具转速的最优组合,从而获得玉米秸秆粉碎机田间作业时的最佳参数。田间试验中的机车前进速度主要靠拖拉机的档位来调节,粉碎刀辊转速主要通过更换图1中的皮带轮和链轮来实现。为了使动力输出轴保持平稳的转速,试验时,拖拉机的油门固定在某一特定位置。试验指标测量如下:

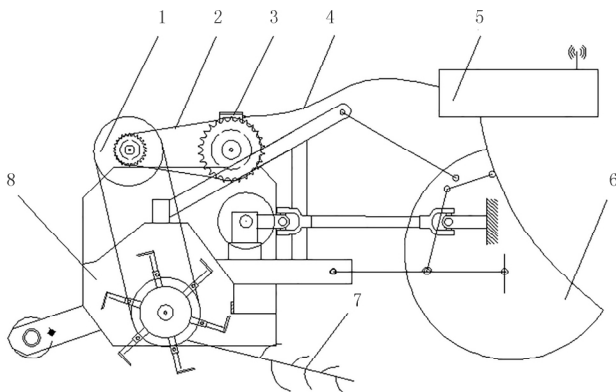
1) 粉碎功耗。粉碎刀具空转不切割玉米秸秆时测得的功耗定义为空转功耗 $P_{空}$,粉碎刀具田间工作时测得的功耗为实际功耗 $P_{实}$,则秸秆粉碎功耗 $P = P_{实} - P_{空}$ 。

2) 粉碎合格率。实验室测出试验范围内玉米秸秆的总质量 $W_{总}$;再测出超长的秸秆质量 $W_{超长}$,按照文献要求粉碎后茎秆长度小于 100mm 为合格^[2],则合格茎秆质量与粉碎茎秆的总质量之比为粉碎合格率,即

$$\eta = (1 - \frac{W_{超长}}{W_{总}}) \times 100\%$$

1.3 田间功耗测量

田间粉碎功耗测量装置采用无线数据采集系统,主要由机载传感器系统、机载移动信号调理系统、机载无线数据采集系统、无线数据通讯系统,以及基于点对点网络数据接收和处理基站系统等4部分构成。无线数据采集与处理系统最大的优点是采用12V 电池供电,可以方便用于移动机械的功率测试中。测试时,机载无线数据采集与测试系统与地面处理基站系统通过点对点无线 AP 网络进行数据传输和交换,最大传输距离可以达到 210m。粉碎刀具的转速转矩功率测量原理已经在文献[3]中详细描述。田间测试时,机载传感器配置方案如图1所示。



1. 带轮 2. 链条 3. 转速转矩传感器 4. 信号传输线
5. 无线数据采集与测试系统 6. 机车 7. 玉米秸秆 8. 秸秆粉碎机

图1 机载传感器配置方案示意图

Fig.1 Settlement of transducer on the machine

由于玉米秸秆粉碎机为后置全悬挂式,由机架、

齿轮传动箱、皮带传动系统及刀辊等组成,刀辊位于整台机器的下方。其结构简单紧凑,如果把转速转矩传感器直接与秸秆粉碎刀辊轴相连,则外伸尺寸太大且传动困难。本研究将转速转矩传感器轴和粉碎刀辊轴平行配置,机车输入动力经转速转矩传感器驱动粉碎刀辊轴旋转,这样通过测量转速转矩传感器轴上负载功率来间接获得其秸秆粉碎消耗功率。

2 试验结果及分析

2.1 试验因素

根据田间试验的实际情况,设计两因素水平的二次回归正交试验。回归正交试验方法的特点是:一方面利用正交试验法的正交性,即利用均衡搭配和综合可比性两条基本原理,可以有计划、合理地在正交表上安排较少的试验次数;另一方面利用回归分析法中最小二乘原理,通过试验数据,建立起回归方程,然后把两者的特点有机地结合起来,构成了回归正交试验方法。试验时选取两个试验因素,即机器的前进速度和粉碎刀具的转速。其中,机车前进速度用 x_1 表示,刀具转速用 x_2 表示。零水平重复5次试验^[4],同时确定出星号臂^[4] $\gamma = 1.27$ 。田间试验因素水平设计安排如表2所示;田间粉碎试验结果如表3所示。

表2 田间试验因素水平安排表

Table 2 Table of levels of the experimented factors in the field

Z_j	$Z1_j$ /km · h ⁻¹	$Z2_j$ /r · min ⁻¹
γ	3.16	630
1	2.89	610
0	1.90	540
-1	0.92	470
$-\gamma$	0.66	450

2.2 粉碎功耗试验结果分析

由表2的田间粉碎功耗测试结果可得回归方程为

$$\hat{y}_1 = 2.145 + 0.685x_1 + 0.536x_2 - 0.346x_1x_2 + 0.053x_1' + 0.222x_2'$$

参考文献资料[4],粉碎功耗回归方程方差分析如表4所示。

F 检验为

$$F = \frac{S_{回} / f_{回}}{S_{剩} / f_{剩}} = 13.6$$

由于 $F = 13.6 > F_{0.1}(5, 8) = 2.73$,说明粉碎功耗方程在 $\alpha = 0.1$ 水平回归效果显著^[4]。

表3 田间粉碎试验结果

Table 3 Results of smashing straw test in the field

试验序号	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x'_1	x'_2	P /kW	η
1	1	1	1	1	0.445	0.445	2.93	0.91
2	1	1	-1	-1	0.445	0.445	2.47	0.89
3	1	-1	1	-1	0.445	0.445	2.79	0.93
4	1	-1	-1	1	0.445	0.445	0.95	0.91
5	1	1.27	0	0	1.051	-0.555	3.35	0.88
6	1	-1.27	0	0	1.051	-0.555	0.76	0.92
7	1	0	1.27	0	-0.555	1.051	2.95	0.93
8	1	0	-1.27	0	-0.555	1.051	1.71	0.92
9	1	0	0	0	-0.555	-0.555	2.06	0.92
10	1	0	0	0	-0.555	-0.555	2.06	0.91
11	1	0	0	0	-0.555	-0.555	1.90	0.92
12	1	0	0	0	-0.555	-0.555	2.08	0.91
13	1	0	0	0	-0.555	-0.555	1.86	0.92

表4 粉碎功耗回归方程的方差分析

Table 4 Variance analysis of horsepower regressive equation

方差来源	平方和	自由度	均方和
$S_{总}$	6.92	12	0.58
$S_{回}$	6.20	5	1.24
$S_{剩}$	0.73	8	0.09

2.3 粉碎合格率试验结果分析

由表3 田间粉碎试验结果可得粉碎合格率回归方程为

$$\hat{y}_2 = 90.367 - 1.572x_1 + 1.667x_2 + 0.375x_1x_2 - 0.595x'_1 + 0.152x'_2$$

粉碎合格率回归方程的方差分析如表5 所示。

F 检验为

$$F = \frac{S_{回}/f_{回}}{S_{剩}/f_{剩}} = 3.23$$

由于 $F = 3.23 > F_{0.1}(5, 8) = 2.73$,说明粉碎合

格率方程在 $\alpha = 0.1$ 水平上回归效果显著^[4]。

表5 粉碎合格率回归方程的方差分析

Table 5 Variance analysis of smashing regressive equation

方差来源	平方和	自由度	均方和
$S_{总}$	60.33	12	5.03
$S_{回}$	40.35	5	8.07
$S_{剩}$	19.98	82.45	

2.4 参数优化设计

粉碎机具田间作业时,在满足粉碎合格率的情况下,为了适应不同的作业环境,给机车预留足够的功率储备,要求粉碎功率消耗越小越好。所以,处理数据时以粉碎功耗 y_1 为目标函数,粉碎合格率 y_2 为约束函数进行参数优化,其数学模型建模如下:

目标函数为 $F(X) = -y_1$;性能约束函数为 $G(X) = y_2 \geq 90$;最优边界约束条件为 $-1.27 \leq X_j \leq 1.27, j = 1, 2$;田间作业参数: $1 \leq X_1 \leq 1.27, 0 \leq X_2 \leq 1.27$ 。

数学模型中 X_j 是两个试验参数在引子编码空间的取值。

根据上述条件,可以得到最终优化结果: $X_1 = 1$, $X_2 = 0.73$, 即机车前进速度为 2.9km/h, 粉碎刀具转速 597r/min。最佳粉碎性能指标: 秸秆粉碎功耗 $y_1 = 2.98\text{kW}$, 秸秆粉碎合格率 $y_2 = 90.02\%$ 。

2.5 动力参数对秸秆粉碎性能的影响

为了能够直观地分析各运动参数对粉碎功耗和粉碎合格率的影响规律,把回归方程在最优点进行降维处理,使试验指标依某一参数变化,降维分析绘制出机器前进速度、刀辊转速与粉碎功耗和粉碎合格率的关系曲线,如图2所示。机车前进速度与粉碎功耗和粉碎合格率的关系曲线,如图3所示。

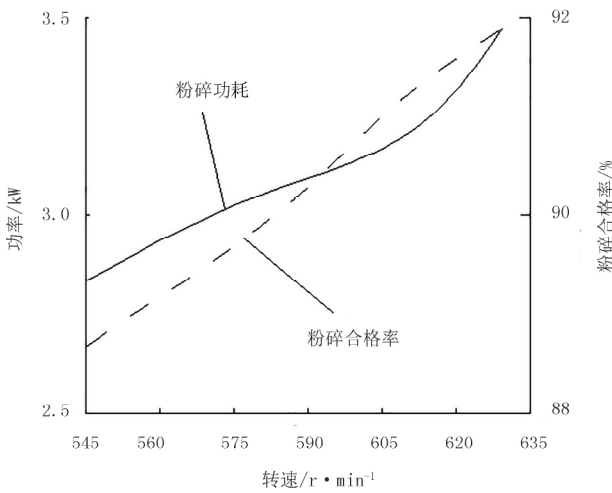


图2 刀辊转速与粉碎功耗和粉碎合格率的关系曲线

Fig.2 The influential curve of crushing ratio and power consumption by the working speed of machine

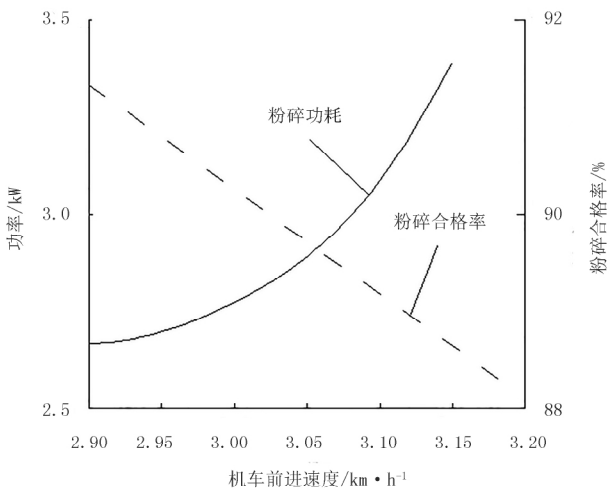


图3 机车前进速度与粉碎功耗和粉碎合格率关系曲线

Fig.3 The influential of crushing ratio and Power consumption by the working speed of machine

由图2可知:在田间试验范围内,粉碎刀辊转速从

540r/min 逐渐增大到 630r/min 时,可以发现粉碎合格率和粉碎功耗都随着转速的升高而升高。原因在于随着粉碎刀具转速提高,刀具动能增加,即在单位时间内的做功增加,从而粉碎功耗也随着升高。在机车前进速度保持不变的情况下,提高转速,等于减小了秸秆粉碎节距,秸秆超长相对减少,因此粉碎合格率随着转速的升高而升高。

由图3可知:机车前进速度从 2.9km/h 逐渐上升到 3.16km/h 时,可以发现粉碎功耗随着机车前进速度的增加而升高,粉碎合格率则随着前进速度的增加而减小。原因在于随着机车前进速度的增加,等于增加了单位时间内秸秆的喂入量,即增加了单位时间内玉米茎秆的粉碎数量,秸秆粉碎功耗因此就随着增加。在粉碎刀辊转速保持不变的情况下,增大前进速度,实际上等于增大了茎秆粉碎节距,秸秆超长相对减少,因此粉碎合格率呈下降趋势。

3 结论

1) 当机车前进速度为 2.9km/h、刀辊转速 597r/min 时,最优粉碎性能指标为粉碎功耗 $y_1 = 2.98\text{kW}$, 粉碎合格率 $y_2 = 90.02\%$ 。

2) 在田间试验范围内,即刀辊转速从 540r/min 增大到 630r/min 时,粉碎合格率和粉碎功耗都随着转速的升高而升高。

3) 在田间试验范围内,当机车前进速度从 2.9km/h 升到 3.16km/h 时,粉碎功耗随着前进速度的增加而升高,粉碎合格率则随着前进速度的增加而减小。

参考文献:

- [1] 夏萍,江家伍. 机械化秸秆还田技术及配套机具(综述)[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(1): 106-108.
- [2] 郝辉林. 玉米秸秆机械粉碎还田前景分析[J]. 农机化研究, 2001(2): 30-31.
- [3] 张超凡,师清翔,李济顺,等. 遥测系统在玉米秸秆粉碎功耗田间测试中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 112-116.
- [4] 高允彦. 正交及回归试验设计方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [5] 吴子岳,高焕文,陈君达. 秸秆切碎灭茬机的设计与试验[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(1): 60-64.
- [6] 吴子岳,高焕文,陈君达,等. 秸秆切碎灭茬机的模型研究与参数优化[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 44-46.
- [7] 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.

(下转第 165 页)

eration process was completed in a seeder simultaneously, such as seedling tray, fertilization, slurry, slurry removal, grouting mud, sowing and so on. According to the technical requirements of rice sowing, the sowing machine was designed, and the sowing performance of the seeder was tested in the field. Sowing speed can reach more than 1200 trays per hour. Field seedling raising experiments were carried out with hybrid rice seeds and conventional rice seeds, the results showed that the seeds of hybrid rice are $1.5\text{kg} / 667\text{m}^2$, and the average seed per tray of hybrid rice is 75g , 2357.3 seedlings per trays, the germination rate is 85.99% and the seedling rate is 87% ; The average seed use of conventional high quality rice is 125g per tray and 4172 seedlings per tray according to $2.5\text{kg}/667\text{m}^2$, the germination rate is 85.96% , the seedling rate was 86.98% , the sowing uniformity of each tray and the total sowing uniformity are above 93% ; the rate of missing stump was 4.50% , also the sowing amount qualified rate of each seedling block area correspond to the position of the transplanter cutting is no less than 85% ; The cost of operation was 4.67 yuan per hectare less than that of factory seedling raising. In the process of field test, the performance of the machine meets the standards and the requirements of real production. For the machine, the operation is more fluent and stable, also more economical.

Key words: rice nursing seedlings seeder; planting experiment; nursing seedlings in nursery bed

(上接第159页)

[8] 贾洪雷,陈忠亮. 新型旋耕碎茬通用机的研究与设计[J]. 农业机械学报, 1998, 29: 26-30.

[9] 耿令新,师清翔,刘师多,等. 玉米秸秆粉碎装置结构运动参数对粉碎性能的影响[J]. 农业装备技术, 2005(5): 18-21.

[10] 吴凤生,金梅. 4Q-31型稻麦秸秆粉碎还田装置的结构设计[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 248-250.

[11] 刘国平,栾海德,杨丰. DMF-2(4)型大垄灭茬施肥耕整机的研究设计[J]. 农机化研究, 1999(1): 28-31.

[12] 韩树明,张立明,王庆会,等. 旋耕灭茬机传动参数的优化设计[J]. 农机化研究, 2000(3): 61-64.

Abstract ID: 1003-188X(2020)09-0156-EA

Experimental Analysis on Cornstalk Breaking in the Field

Zhang Chaofan^{1,2}, Zhang Qunwei^{1,2}, Genglingxin², Tang Zhijun²

(1. College of Mechanical and Electronics Engineering, Luohe Institute of Henan University of Technology, Luohe 462000, China; 2 Institute of Agricultural Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: In order to show how the velocity of the machine and the rotate speed of axis influence the power consumption and the percent smashing quality, Cornstalk breaking in the field is studied through Orthogonal experiment. The results show that in the experiment, when the rotate speed of axis varies from 540 RPM to 630 RPM, the power consumption and the percent smashing quality grow with the increasing rotation. when the velocity of the machine varies from 2.9km/h to 3.16km/h, the power consumption grows but the percent smashing quality slow down with the increasing velocity. The results also show that when the rotate speed of axis is 2.9km/h and the rotary speed of knife axis is 597r/min, the optimal parameters of consumed power is 2.98kW and the percent smashing quality is 90.02%. Consequently, the result is proved to be great value for farther studying and designing new cornstalk breaking machine.

Key words: cornstalk; breaking; experimental research