

高留茬玉米秸秆复式割台粉碎还田装置设计与试验

张 姬^{1,2} 于泳涛¹ 杨启勇¹ 张吉旺³ 张智龙¹ 耿爱军¹

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018;
3. 山东农业大学农学院, 泰安 271018)

摘要: 为了在玉米摘穗的同时,将秸秆上半部分回收作饲料,下半部分实现高质量粉碎还田,在4YZQ-2B1型穗茎兼收玉米收获机割台的下方增加了锯盘式玉米秸秆粉碎装置,通过对圆锯片运动及切割机理等的分析,利用ADAMS对此复式割台进行了参数优化和运动分析,并在Pro/Mechanica中,对锯盘刀轴进行了有限元模态分析,得到其固有频率。确定采用平面锯身整体式横截圆锯片,直径为180~380 mm,厚度分为1.2、1.5、2 mm 3种,锯片间距为50 mm,齿形为等腰三角斜磨齿,齿高为7.5 mm,两刀辊中心距为760 mm。高留茬玉米复式割台田间试验结果显示,当机组的作业速度为2 m/s,刀辊转速为850 r/min时,秸秆粉碎长度合格率为92.14%,留茬高度平均值为52.18 mm,均满足秸秆还田机作业标准,能够对玉米秸秆离地粉碎,减轻了刀具的磨损、提高了玉米秸秆还田质量。

关键词: 玉米收获机; 秸秆还田装置; 锯盘式粉碎装置

中图分类号: S226.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)S0-0042-08

Design and Experiment of Smashed Straw Unit for High Stubble Maize Double Header

ZHANG Ji^{1,2} YU Yongtao¹ YANG Qiyong¹ ZHANG Jiwang³ ZHANG Zhilong¹ GENG Aijun¹

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machinery and Equipment, Taian 271018, China
3. College of Agriculture, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: At present, the main mode of maize straw returning is total returning, which has large amount of returning and stubble is not perishable after burying straw. The operation mode of corn straw grinder is near ground crushing, in the process of crushing, the blade is inevitably exposed to soil and worn quickly, which leads to the poor quality of straw pulverization. Therefore, a comprehensive utilization plan of corn straw was put forward. When the corn was harvested and picked, the straw above the ground must be recovered and the remaining must be cut off back to the field. On this basis, the double header was designed on the 4YZQ-2B1 type corn harvester for reaping both corn stalk and spike. The saw-disc pulverizer was added below header, circular saw blades were adopted by the device and arranged in inverted cone, the diameters of blades were gradually reduced from top to bottom. Linear speed of the tooth tip of saw blade tip was proportional to the diameter of circular saw blade, during the process of cutting corn straw, there was a relative velocity between the adjacent saw blades. It had the effect of tearing while cutting straws, which was more beneficial to the pulverization of straw and the subsequent decay. In addition, maize straw was crushed by the circular saw blade while upright, and the saw blade was not exposed to soil to reduce wear. The saw tooth of the saw blade can keep sharp for a long time to ensure the effect of straw sawing and crushing. Combined with the movement and cutting mechanism of circular saw blades, the influence of saw blade thickness on sawing, and the height and amount of saw blade teeth on cutting and re-cutting were analyzed emphatically. At the same time, the parameter optimization and motion analysis of double header was carried out by ADAMS. The operating parameters

收稿日期: 2018-07-15 修回日期: 2018-09-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300606)、中国博士后基金项目(2017M612309)和山东农业大学“双一流”协同创新团队项目(SYL2017XTTD14)

作者简介: 张姬(1987—),女,讲师,博士,主要从事方草捆打结器、秸秆还田、玉米秸秆综合利用研究,E-mail: sdauzhangji@163.com
通信作者: 耿爱军(1973—),女,副教授,主要从事农业机械装备研究,E-mail: gengaj@sdau.edu.cn

of the two rows of picker rollers were analyzed to ensure the consistency of the harvesting monomers in two rows. The trajectory of effective working height of circular saw blades with diameter of 180 mm was analyzed. The result showed that there was a coincidence between the track lines. The saw-disc pulverizer would not produce leakage during operation. Through the Pro/Mechanica in Pro/E, the first order vibration mode of saw blade shaft was simulated, and the natural frequency of saw blade shaft was analyzed. In order to eliminate vibration, trying to let the external excitation and avoid natural frequency or minimize the excitation of natural frequency. The plane saw body integral circular saw blade was adopted by the saw-disc pulverizer, the diameter was 180 ~ 380 mm, and the thickness was divided into 1.2 mm, 1.5 mm and 2 mm. The tooth shape was isosceles triangular profile bevel gear tooth with height of 7.5 mm. And the center distance of the two knife roller was 760 mm. Field experiments on qualified rate of chopping length, returning amount and stubble height of high-stubble maize double-header were carried out. The results showed that the qualified rate of straw chopping length was 92.14%, average stubble height was 52.18 mm when working speed was 2 m/s, rotation rate of the knife roller was 850 r/min, all test indicators were satisfied with standards of straw stubble machine, and the amount of returning to field was 30% to 40% of the full amount, it can achieve the corn stalks smashing from the ground and completely chopping of straw fiber and improve the quality of corn stalks returned to soil. The quality of corn straw returning to field was improved, and the problems of blade wear and poor quality of straw chopping were overcome.

Key words: corn harvester; cornstalk macerator; saw-disc pulverizer

0 引言

玉米秸秆直接还田操作简单、成本低以及综合效益高等^[1-6],是当前秸秆主要利用方式。但是玉米秸秆全部还田或者全部回收都存在弊端,秸秆全部还田,还田量过大,影响小麦播种、发芽和出苗,并且大量秸秆不能有效腐解和利用;全部回收则不能发挥秸秆还田改善土壤有机质、促进小麦增产的作用^[7-10]。将玉米植株自地表以上 30% 还田,其余部分(70%)回收作为饲料^[11-19]能够解决上述问题。目前市场上,多数机型将传统的玉米秸秆还田机作为辅助装置安装在玉米收获机上,主要有锤爪式和甩刀式,其为近地面作业,刀片不可避免地与土壤、石块等接触,不仅导致刀刃快速磨损变钝,不能有效切断秸秆纤维,而且作业时需经常更换刀片^[20]。

切割器是秸秆切碎装置的核心部件,其性能对作业质量具有重要作用。目前国内外相关科研机构对圆盘式切割器及其关键技术进行了诸多研究^[21-26]。主要是单个锯盘刀或一对锯盘刀在切断单棵高粗秸秆时如何实现高质量的切断以及较低的功耗。对于由多个不同直径圆锯片组成的锯盘刀辊对玉米秸秆在直立状态下离地粉碎的研究还未见报道。针对上述问题,在现有圆盘式切割器研究基础上,对 4YZQ-2B1 型穗茎兼收玉米收获机割台进行改进设计,增加锯盘式玉米秸秆粉碎装置,在玉米摘穗及上半部分秸秆粉碎回收的同时,将下半部分秸秆离地切碎还田,以达到既实现秸秆适量还田、提高还田质量,又减少刀具的磨损、提高机器作业效率的目的。

1 总体结构及工作原理

按照 60 ~ 70 cm 的留茬高度,参照现有不同型号穗茎兼收型玉米收获机割台的结构,设计了两行高留茬穗茎兼收玉米收获机复式割台。割台主要由摘穗装置、茎秆切碎装置、拨禾装置、果穗输送装置、秸秆抛送装置和机架等组成。在割台下方增加了锯盘式玉米秸秆粉碎装置。

锯盘式玉米秸秆粉碎装置的粉碎部件采用圆锯片,圆锯片呈倒锥形排列,从上到下锯片直径逐渐减小,圆锯片的齿尖线速度与圆锯片直径成正比,在切割玉米秸秆过程中,相邻锯片之间存在相对速度,在对秸秆切割的同时,起到一定的撕拉作用,更有利于秸秆的粉碎和后续的腐烂。此外,圆锯片是在玉米秸秆直立状态下对其粉碎,锯片不接触土壤,土壤颗粒对锯片的磨损几乎为零,锯片锯齿可以长时间保持锋利,保证秸秆锯切粉碎效果。

锯盘式粉碎装置分左右两组,配置在复式割台的下方,如图 1a、1b 所示。

锯盘式玉米秸秆粉碎装置由圆锯片、锯片轴、秸秆支承板和支架等组成,如图 2 所示。锯片轴与割台盘刀轴同轴,二者用联轴器联结。支架上端与割台盘刀粉碎室外壳相连,下端通过装在其上的推力球轴承对锯片轴起固定作用。锯盘式玉米秸秆粉碎装置的锯片轴上安装有多个直径不同的圆锯片,由于秸秆下部靠地面固定支撑,呈悬臂梁结构,圆锯片在锯切时对秸秆有向前的推力,会造成秸秆前倾,而且位置越向上越容易前倾,因此如果从上到下所有圆锯片直径相同,就会出现上部秸秆还没有完全锯

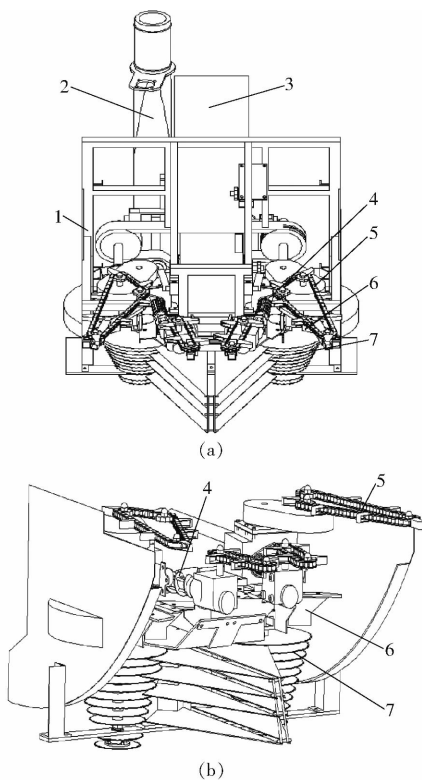


图 1 穗茎兼收玉米收获机割台结构简图
Fig.1 Structure diagram of spike stem and corn harvesting machine header

1. 割台机架 2. 秸秆抛送装置 3. 果穗输送装置 4. 摘穗辊
5. 拨禾链 6. 盘刀粉碎装置 7. 锯盘式玉米秸秆粉碎装置

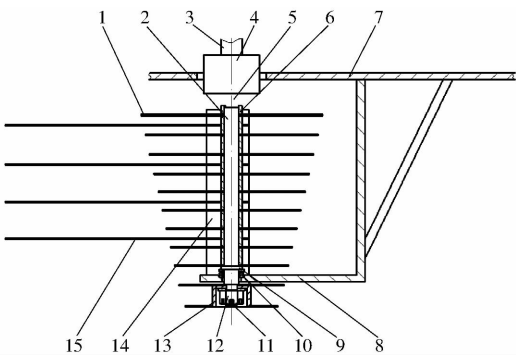


图 2 锯盘式玉米秸秆粉碎装置结构示意图
Fig.2 Structure diagram of saw-type corn stalk shredding device

1. 圆锯片 2. 锯片轴 3. 盘刀轴 4. 联轴器 5. 普通螺母
6. 轴套 7. 盘刀粉碎室外壳 8. 支架 9. 轴肩 10. 推力球轴承
11. 销子 12. 六角开槽螺母 13. 套筒 14. 角钢 15. 秸秆支承板

断时,下部秸秆就被锯断而脱离地面,秸秆脱离地面后就会被圆锯片推着前行而不能被继续锯切,导致上部秸秆不能完全锯断,达不到锯切粉碎的目的。因此,圆锯片直径从上往下依次减小,呈倒锥形,两圆锯片之间用轴套隔开。

玉米收获机作业时,割台在完成摘穗的同时,秸秆切碎立轴盘刀与机架上的定刀配合将玉米秸秆分段切断,上半部分秸秆随着摘穗辊向下挤拉,被盘刀

切成小段后进入收集装置,再通过风机抛送到集料箱,下半部分秸秆由锯盘刀离地粉碎还田。

玉米收获机发动机的动力传递到盘刀轴,再经联轴器传递到锯盘刀的锯片轴,锯片轴带动圆锯片旋转。首先由上面直径大的圆锯片锯切秸秆,最后由下部直径小的圆锯片锯切秸秆,这样可以防止下部圆锯片首先锯切秸秆而使秸秆失去根部支撑,使锯切变得困难。上部秸秆受圆锯片切削力的作用,会沿圆锯片的切线方向倾倒,因此本装置上安装了秸秆支撑板,对倾倒的秸秆进行支撑,辅助圆锯片完成切割。

2 关键部件设计

2.1 圆锯片直径及粉碎装置锥度

锯盘式玉米秸秆粉碎装置切割玉米秸秆时,相邻两圆锯片相对于玉米秸秆的位置如图 3a 所示,上端圆锯片切割到玉米秸秆的中部时,其下端圆锯片刚开始切割玉米秸秆,依此类推,11 片圆锯片依次完成对玉米秸秆的连续切割。根据陈艳军等^[27]的研究,玉米秸秆的直径为 17 ~ 23 mm,取玉米秸秆的平均直径为 20 mm,则相邻圆锯片半径差值为 10 mm。

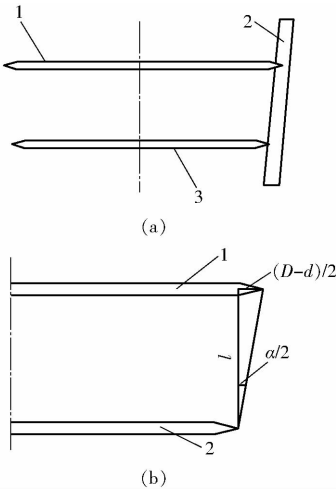


图 3 相邻两圆锯片切割玉米秸秆示意图
Fig.3 Schematic of cutting corn stalks by two adjacent circular saw blades

1. 上端圆锯片 2. 玉米秸秆 3. 下端圆锯片

作业目的是将玉米秸秆粉碎成 50 mm 的小段,便于后期的还田、覆盖和腐烂,所以两圆锯片间距设计为 50 mm。如图 3b 所示,已知直角三角形的两直角边,根据公式

$$\tan(\alpha/2) = \frac{Dd}{2l} \tag{1}$$

式中 α ——锥角
 D ——上端圆锯片直径,mm

d ——下端圆锯片直径, mm

l ——两圆锯片之间高度, mm

则锯盘式玉米秸秆粉碎装置的锥角为 22.6° , 锥度为 $2:5$ 。

为便于锯盘式玉米秸秆粉碎装置在作业时更好地完成对行, 综合考虑其安装位置对割台底部空间的需要, 圆锯片直径从下往上依次设计为 180、200、220、240、260、280、300、320、340、360、380 mm。

2.2 圆锯片厚度

根据文献[28], 在同样的切割速度下, 齿刃厚度 0.5 mm 比 1 mm 和 2 mm 有较高的切断率, 而齿刃厚度在 1~2 mm 之间没有显著差别, 当齿刃厚度超过 1 mm 时对切断率影响很小。根据公式

$$s = KD^{1/2} \quad (2)$$

式中 s ——圆锯片厚度, mm

K ——系数, 取 0.065^[31]

圆锯片直径越大, 直径与厚度比就会越大, 稳定性就会越差, 在尽量不增加切割功率的情况下, 同时为了提高圆锯片的强度、工作寿命和稳定性, 需尽量增大圆锯片的厚度。所以初步设计直径 180、200、220、240 mm 的圆锯片厚度为 1.2 mm, 直径 260、280、300、320 mm 的圆锯片厚度为 1.5 mm, 直径 340、360、380 mm 的圆锯片厚度为 2 mm。

2.3 锯齿高度

如图 4 所示, 锯齿圆盘切割器锯齿刃口 AA_1 和 BB_1 的轨迹都是两条平行的余摆线^[29]。 $CDEF$ 是两齿刃的重复区, $EGHK$ 为漏割区。

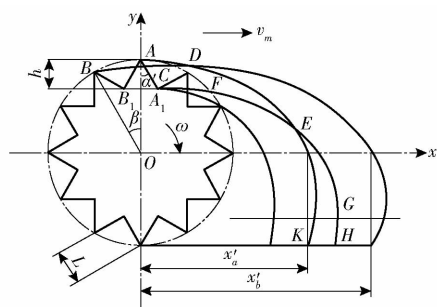


图 4 锯齿圆盘切割器切割图

Fig. 4 Cutting of a sawtooth disc cutter

齿刃上 A 点的位移为

$$\begin{cases} x_a = v_m t - R \sin(\omega t) \\ y_a = R \cos(\omega t) \end{cases} \quad (3)$$

齿刃上 B 点的位移为

$$\begin{cases} x_b = v_m t + R \sin(\omega t - \beta) \\ y_b = R \cos(\omega t - \beta) \end{cases} \quad (4)$$

式中 β ——相邻两齿刃的夹角, $(^\circ)$

ω ——圆锯片角速度, rad/s

v_m ——机组作业速度, m/s

R ——圆锯片半径, mm

为了消除漏割区域, 应有

$$x'_b - x'_a = h = L \cos \alpha' \quad (5)$$

式中 α' ——齿刃的方位角, $(^\circ)$

h ——齿刃的工作高度, mm

L ——齿刃的有效工作长度, mm

将 x'_a, x'_b 代入式(5)可得

$$h = \frac{60 v_m}{mn} \quad (6)$$

式中 n ——圆锯片转速, r/min

m ——圆锯片齿数

机组作业速度为 1.0~2.5 m/s, 圆锯片齿数为 30~40 齿, 转速为 850 r/min, 求得 h 为 1.76~5.88 mm, 为使秸秆粉碎还田装置尽量不产生漏割现象, 保证切割质量, 采用较大的伸出高度 $h = 7.5$ mm, 而在实际切割过程中, 为了防止产生漏割, 允许出现重割的现象。

2.4 极限状态齿数

极限状态齿数应根据圆锯片旋转一周时间内机器的前进距离与各锯齿运动轨迹带的纵向宽度和 mh 相等来确定^[30], 如图 5 所示。

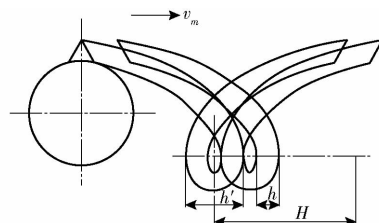


图 5 圆锯片齿数的确定

Fig. 5 Determination of number of teeth of circular saw

为了避免漏割, 需要圆锯片旋转一周机器前进距离为

$$H = mh \quad (7)$$

$$H = v_m \frac{60}{n} = \frac{2\pi v_m}{\omega} \quad (8)$$

该高留茬穗茎兼收玉米收获机最大作业速度 $v_{\max} = 2.5$ m/s, $h = 7.5$ mm, $n = 850$ r/min。则其极限状态圆锯片齿数 $m = 23.5$, 圆整后 $m = 24$, 锯盘式玉米秸秆粉碎装置圆锯片最小齿数为 30, 超过 24 个, 所以不会出现漏割的现象, 可以保证充分切割玉米茎秆。

当各参数一定时, 可求得允许的最大机器前进速度

$$v_{\max} = \frac{hmn}{60} \quad (9)$$

该秸秆粉碎还田装置 $h = 7.5$ mm, 刀盘转速 $n = 850$ r/min, 齿数 $m_{\max} = 40$ 。代入公式得 $v_{\max} = 4.25$ m/s, 而秸秆粉碎还田装置实际工作时的最大

行走速度达不到这个速度,因此,在玉米秸秆粉碎还田装置正常工作速度范围内,不会产生漏割的现象。

2.5 其他参数

为了更好地切断秸秆纤维,并且使用最小的力,选择横截锯齿,齿形为等腰三角斜磨齿;圆锯片采用普通锯片,材料为含碳量在 0.75 ~ 0.84 的碳素工具钢 T8A^[31];两刀辊之间的中心距为 760 mm。

圆锯片主要性能参数如表 1 所示。

表 1 锯片性能参数

Tab.1 Saw blade performance parameters

编号	直径/mm	厚度/mm	齿数
1	180	1.2	30
2	200	1.2	30
3	220	1.2	30
4	240	1.2	30
5	260	1.5	35
6	280	1.5	35
7	300	1.5	35
8	320	1.5	35
9	340	2.0	40
10	360	2.0	40
11	380	2.0	40

2.6 仿真分析

对割台和锯盘式玉米秸秆粉碎装置的圆锯片进行模拟仿真,进一步优化参数,实现复式割台的优化设计。将建好的割台模型导入 ADAMS 软件进行仿真分析,如图 6 所示。具体步骤为:定义材料属性;添加约束;添加驱动;自由度检验;仿真分析;后处理结果分析。

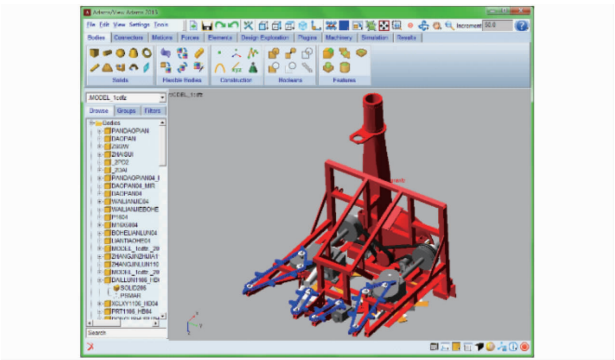


图 6 割台 ADAMS 仿真分析结果

Fig.6 Header ADAMS simulation analysis result

通过图 7 的仿真结果可以看到,摘穗辊转速平均值为 594.9 r/min,锯片轴和盘刀立轴转速为 825.035 r/min,两个分动箱摘穗辊输出转速一致,两行收获单体工作时能够保持一致性。

根据圆锯片的结构参数和运动参数,利用 ADAMS 软件对直径 180 mm 的圆锯片进行了仿真分析,结果如图 8 所示,可以看出,圆锯片相邻两齿

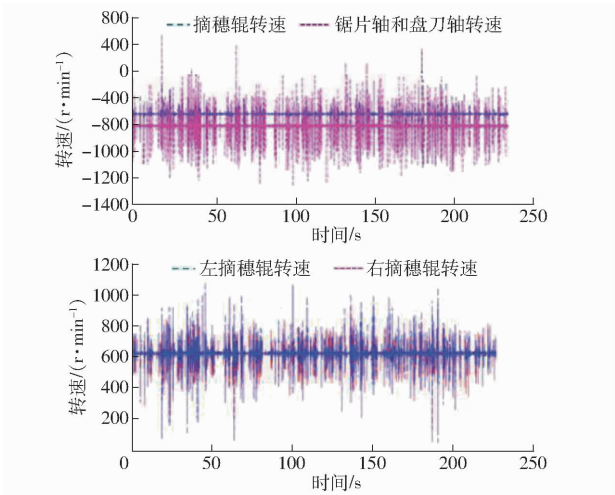


图 7 割台仿真分析结果

Fig.7 Header simulation results

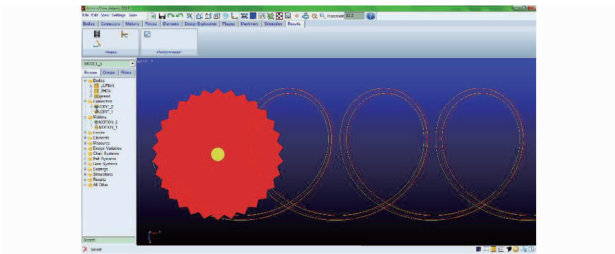


图 8 圆锯片运动仿真分析结果

Fig.8 Analysis of circular saw motion simulation

齿刃有效工作高度的运动轨迹线之间没有间隙,因此,如上述理论分析,锯盘式玉米秸秆粉碎装置不会产生漏割。

2.7 刀轴有限元模态分析

锯盘刀轴在机器运动中有固有频率,如果外部激励的频率与这个固有频率接近,就会使圆盘刀轴产生共振,最终导致结构受到破坏。因此要分析出锯盘刀轴的固有频率,尽量让外部激励避开固有频率或最大限度减少固有频率的激励,从而消除振动。

在 Pro/Mechanica 模块中,通过建立刀轴有限元模型、定义模型的材料属性、添加约束、划分网格并运行分析 5 个步骤,找出系统动能和势能的平衡点,即固有频率。图 9 为锯盘刀轴的一阶振动模式。

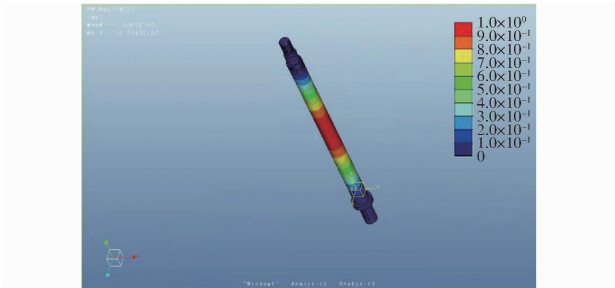


图 9 锯盘刀轴的一阶振动模式

Fig.9 Saw blade shaft first-order vibration mode

从图 9 中可以看出,锯盘刀轴的一阶固有频率为 659.45 Hz。因此,在设计锯盘刀轴时,尽量避开这个固有频率,从而消除机器的振动。从图中可以看出,锯盘刀轴最易发生变形的位置是轴的中间部分,在施加载荷和约束后得到轴中间部分最大变形量为 1 mm,变形量很小,满足设计的要求。

3 田间试验与结果分析

3.1 田间试验目的及条件

为了检测锯盘式玉米秸秆粉碎装置粉碎效果,将其安装到高留茬穗茎兼收玉米收获机割台的下方,通过联轴器、万向节、支架和销子将其挂接到 4YZQ-2B1 型穗茎兼收玉米收获机上,依据 GB/T 24675.6—2009《保护性耕作机械 秸秆粉碎还田机》、NY/T 1004—2006《秸秆还田机质量评价技术规范》等相关标准,于 2016 年 9 月在山东农业大学试验基地进行田间试验,如图 10 所示。

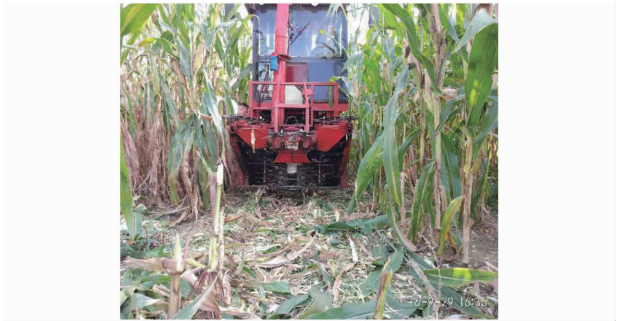


图 10 田间试验
Fig. 10 Field test

试验玉米选用山东省主要种植品种之一的郑单 958,试验之前,采用 202-2 型恒温干燥箱(上海第二五金厂)进行秸秆样品的含水率检测,测得玉米秸秆的平均含水率为 80.46%。对大田成熟的玉米株高和结穗高度等进行了采样统计分析,结果如表 2 所示。

表 2 玉米秸秆的田间调查数据
Tab.2 Field data of corn stalks

编号	株距/ cm	自然高度/ cm	最低结穗 高度/cm	茎秆直径/ mm
1	26.7	245	97	20.5
2	27.5	248	98	21.1
3	24.6	259	114	21.6
4	30.2	262	123	19.5
5	27.2	253	107	23.2
6	26.8	267	123	22.1
7	28.8	258	110	20.3
8	29.2	264	99	22.8
9	26.7	241	104	24.2
10	27.1	253	100	23.6
平均值	27.5	255	107.5	21.9

3.2 剪切长度合格率试验

在秸秆还田机作业后的工作区域内,每个行程

在测区长度方向上等间距测定 3 点,每点随机测定 1 m²面积,收集所有的秸秆(秸秆的粉碎长度不包含其两端的韧皮纤维)称量。从中挑出切段长度不合格的秸秆称量。计算每点秸秆切碎长度合格率和工况平均值。结果如图 11、表 3 所示。

$$F_{ni} = \frac{M_{zi} - M_{bi}}{M_{zi}} \times 100\% \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \quad (10)$$

$$\overline{F_n} = \frac{\sum_{i=1}^6 F_{ni}}{6} \quad (11)$$

式中 F_{ni} ——测点 i 秸秆粉碎长度合格率, %
 M_{zi} ——测点 i 秸秆总质量, kg
 M_{bi} ——测点 i 不合格秸秆总质量, kg
 $\overline{F_n}$ ——工况秸秆粉碎合格率, %



图 11 秸秆粉碎效果
Fig. 11 Straw crushing effect

表 3 秸秆粉碎合格率
Tab.3 Straw crushing pass rate

测点	长度不合格秸秆质量/g	秸秆总质量/g	合格率/%
1	61.8	885.2	93.02
2	55.0	952.5	94.23
3	88.5	875.8	89.89
4	72.6	939.1	92.27
5	65.7	948.5	93.07
6	78.2	927.7	91.57
7	96.6	900.3	89.28
8	70.9	912.2	92.23
9	58.8	935.5	93.71
平均值	72.01	919.64	92.14

3.3 留茬高度试验

每个行程在测区长度方向上测定 3 点,测定每点 1 m²范围内秸秆留茬高度,计算每点和工况的平均留茬高度。结果如图 12、表 4 所示。

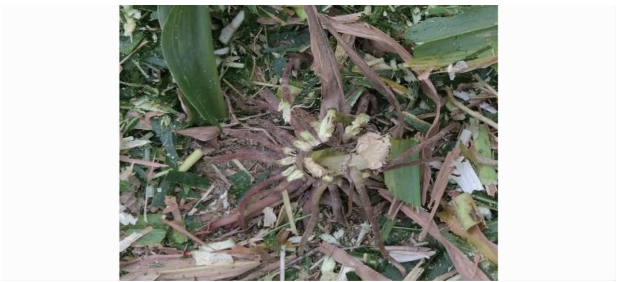


图 12 玉米留茬高度
Fig. 12 Corn stubble height

表 4 留茬高度
Tab.4 Stubble height

测点	株数	茬高平均值/mm
1	10	48.5
2	8	52.2
3	10	55.7
4	9	53.1
5	9	46.0
6	8	57.6
平均值		52.18

玉米秸秆能够被粉碎成 50 mm 的小段,远小于秸秆粉碎还田机作业标准的 100 mm;秸秆粉碎长度合格率为 92.14%,高于秸秆粉碎还田机作业标准的 85%;玉米秸秆还田量为全量还田的 30%~40%,还田量适宜;留茬高度平均值为 52.18 mm,小于作业标准的 80 mm;玉米秸秆纤维能够完全切断,避免长的纤维聚集成团,影响后续小麦的播种、出苗及越冬。

4 结 论

- (1)改进的高留茬玉米复式割台,在完成玉米摘穗的同时,能够将秸秆在穗部以下 20 cm 处切断,上部秸秆通过立轴盘刀粉碎后回收作饲料,下部秸秆通过锯盘式秸秆粉碎装置粉碎还田。该复式割台实现了玉米秸秆的综合利用以及玉米秸秆的离地粉碎,能够将玉米秸秆纤维完全切断,提高了玉米秸秆还田质量,克服了传统还田机刀片易磨损、秸秆粉碎质量差的问题。
- (2)设计的锯盘式玉米秸秆粉碎装置,采用平面锯身整体式横截圆锯片,直径 180~380 mm,厚度分为 1.2、1.5、2 mm 3 种,齿形为等腰三角斜磨齿,齿高 $h=7.5$ mm,两刀辊中心距为 760 mm。
- (3)当机组的作业速度为 2 m/s,刀辊转速为 850 r/min 时,秸秆粉碎长度合格率为 92.14%,高于秸秆粉碎还田机作业标准的 85%,留茬高度平均值为 52.18 mm,小于作业标准的 80 mm,均满足设计要求。

参 考 文 献

1 毕于运,高春雨,王亚静,等.中国秸秆资源数量估算[J].农业工程学报,2009,25(12):211-217.
BI Yuyun, GAO Chunyu, WANG Yajing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12):211-217. (in Chinese)

2 崔明,赵立欣,田宜水,等.中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J].农业工程学报,2008,24(12):291-296.
CUI Ming, ZHAO Lixin, TIAN Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12):291-296. (in Chinese)

3 田慎重,郭洪海,董晓霞,等.耕作方式转变和秸秆还田对土壤活性有机碳的影响[J].农业工程学报,2016,32(增刊2):39-45.
TIAN Shenzhong, GUO Honghai, DONG Xiaoxia, et al. Effect of tillage method change and straw return on soil labile organic carbon[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(Supp.2):39-45. (in Chinese)

4 李娟,李军,程科,等.渭北旱塬玉米田保护性轮耕土壤固碳效果与增产增收效应[J].农业工程学报,2016,32(5):104-111.
LI Juan, LI Jun, CHENG Ke, et al. Soil organic carbon sequestration, yield and income increment of rotational tillage measures on Weibei highland maize field[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(5):104-111. (in Chinese)

5 王增丽,王珍,冯浩.秸秆粉碎氮化还田对土壤体积质量及持水特性的影响[J].农业工程学报,2011,27(11):211-215.
WANG Zengli, WANG Zhen, FENG Hao. Effects of pulverized and ammoniated straw on soil bulk density and soil water-holding characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11):211-215. (in Chinese)

6 董勤各,冯浩,杜健.秸秆粉碎还田与化肥配施对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2010,26(增刊2):156-162.
DONG Qinge, FENG Hao, DU Jian. Effects of chemical fertilizer combined crushed straw application on yield and water use efficiency of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp.2):156-162. (in Chinese)

7 王刚,贾洪雷,赵佳乐,等.玉米留高茬切割器的设计及留茬效果试验[J].农业工程学报,2014,30(23):43-49.
WANG Gang, JIA Honglei, ZHAO Jiale, et al. Design of corn high-stubble cutter and experiments of stubble retaining effects[J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(23):43-49. (in Chinese)

8 杜长征.我国秸秆还田机械化的发展现状与思考[J].农机化研究,2009,31(7):234-236.
DU Changzheng. Present status and consideration about straw returning mechanization in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009,31(7):234-236. (in Chinese)

9 于琳浩,耿爱军,杨启勇,等.玉米秸秆还田现状与对策探析[J].农业装备与车辆工程,2015,53(11):4-6.
YU Linhao, GENG Aijun, YANG Qiyong, et al. Study on present situation of maize straws returning and countermeasure [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2015,53(11):4-6. (in Chinese)

10 楚天舒,杨增玲,韩鲁佳.中国农作物秸秆饲料化利用满足度和优势度分析[J].农业工程学报,2016,32(22):1-9.
CHU Tianshu, YANG Zengling, HAN Lujia. Analysis on satisfied degree and advantage degree of agricultural crop straw feed utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(22):1-9. (in Chinese)

11 王丙文,迟淑筠,田慎重,等.不同留茬高度秸秆还田冬小麦田甲烷吸收及影响因素[J].农业工程学报,2013,29(5):170-178.
WANG Bingwen, CHI Shuyun, TIAN Shenzhong, et al. CH₄ uptake and its affecting factors in winter wheat field under different

- stubble height of straw returning[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5):170-178. (in Chinese)
- 12 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊1): 238-243.
CAI Taiyi, JIA Zhikuan, HUANG Yaowei, et al. Effects of different straw mulch rates on soil water conservation and water-saving benefits in spring maize field[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 238-243. (in Chinese)
- 13 李新华, 郭洪海, 朱振林, 等. 不同秸秆还田模式对土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 130-135.
LI Xinhua, GUO Honghai, ZHU Zhenlin, et al. Effects of different straw return modes on contents of soil organic carbon and fractions of soil active carbon[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(9): 130-135. (in Chinese)
- 14 赵红香, 宁堂原, 聂良鹏, 等. 不同收割高度玉米秸秆产量和营养成分的比较[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20):4354-4361.
ZHAO Hongxiang, NING Tangyuan, NIE Liangpeng, et al. Comparison of yields and nutrient compositions between different harvesting heights of maize stover[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(20):4354-4361. (in Chinese)
- 15 张静, 温晓霞, 廖允成, 等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 612-619.
ZHANG Jing, WEN Xiaoxia, LIAO Yuncheng, et al. Effects of different amount of maize straw returning on soil fertility and yield of winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3):612-619. (in Chinese)
- 16 章建新, 王爽. 收割高度对不同类型玉米饲用品质和产量的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 104-106, 114.
ZHANG Jianxin, WANG Shuang. The cutting height effect forage quality and yield on different types of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(2): 104-106, 114. (in Chinese)
- 17 JOHNSON L, HARRISON J H, HUNT C, et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review[J]. Journal of Dairy Science, 1999, 28(12): 2813-2825.
- 18 OLIVEIRA F C L, JOBIM C C, SILVA M S, et al. Productivity and nutritional value of silage of corn hybrids with different heights of harvest[J]. Revista Brasileira De Zootecnia, 2011, 40(4): 720-727.
- 19 PRASAD J, GUPTA C P. Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1975, 20(1): 79-87.
- 20 赵学林, 韩增德, 崔俊伟, 等. 玉米茎秆切碎装置现状分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(7): 245-248, 252.
ZHAO Xuelin, HAN Zengde, CUI Junwei, et al. Analysis of the current situation of the corn stalk chopping device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(7): 245-248, 252. (in Chinese)
- 21 KROES S, HARRIS H D. A kinematics model of the dual basecutter of a sugarcane harvester[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1995, 62(3): 163-172.
- 22 KROES S, HARRIS H D. Effects of base cutter parameters on permissible cane harvester speed[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1995, 24(1): 43-48.
- 23 ODOURI M F, GUPTA C P. Kinematics of revolving knife disk-type sugarcane base cutter I fundamental mathematical relationships[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 1992, 23(4): 9-14.
- 24 孙永海, 常振臣. 大豆收割机圆盘式切割器切割参数的研究[J]. 农业机械学报, 1999, 30(4): 27-31.
SUN Yonghai, CHANG Zhenchen. Study on cutting parameters of disc cutters on soybean reaper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 1999, 30(4): 27-31. (in Chinese)
- 25 马洪亮, 高焕文, 李洪文, 等. 驱动圆盘刀切断玉米秸秆和根茬的土槽试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 47-54.
MA Hongliang, GAO Huanwen, LI Hongwen, et al. Experimental study on corn stalk and rootstalk cutting by driven disc[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2007, 38(5): 47-54. (in Chinese)
- 26 刘枫, 罗罡, 刘文亮. 立辊式玉米收获机切割器的研究[J]. 价值工程, 2011(34): 12-13.
LIU Feng, LUO Gang, LIU Wenliang. Research on the cutter of vertical-roll type maize harvesting machine[J]. Value Engineering, 2011(34): 12-13. (in Chinese)
- 27 陈艳军, 吴科斌, 张俊雄, 等. 玉米秸秆力学参数与抗倒伏性能关系研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 89-92.
CHEN Yanjun, WU Kebin, ZHANG Junxiong, et al. Study on the relationship between mechanical parameters and lodging resistance of corn stover[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2011, 42(6): 89-92. (in Chinese)
- 28 黄若忱. 悬挂式玉米秸秆揉碎机盘刀的设计[J]. 当代农机, 2008(2): 72-74.
- 29 倪长安, 蔺公振, 姬江涛, 等. 圆盘切割器切割玉米茎秆的试验与分析[J]. 洛阳工学院学报, 1995(4): 36-41.
NI Chang'an, LIN Gongzhen, JI Jiangtao, et al. Test and analysis of the disk cutter on cutting corn stalk[J]. Journal of Luoyang Institute of Technology, 1995(4): 36-41. (in Chinese)
- 30 范国昌, 马大敏, 籍俊杰, 等. 锯齿式双圆盘切割器的研究[J]. 河北农业技术师范学院学报, 1998(2): 41-44.
FAN Guochang, MA Damin, JI Junjie, et al. On saw tooth cutters of double disk[J]. Journal of Hebei Agrotechnical Teachers College, 1998(2): 41-44. (in Chinese)
- 31 李黎. 木材切选原理与刀具[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 67-85.