

穗茎兼收型玉米收获机茎秆切碎与输送装置设计与试验

张银平¹ 刁培松¹ 杜瑞成¹ 刘林林² 张 将¹

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 滨州黄河河务局供水局, 滨州 256600)

摘要: 针对玉米收获时秸秆回收困难、利用率低的问题,设计了一种穗茎兼收型玉米收获机,对茎秆切碎和输送装置进行了详细设计。通过比较,采用转子铣刀切割器作为茎秆切断装置,运用 ANSYS/LS-DYNA 对转子铣刀刀片厚度、转速、刃角进行了三因素三水平的正交试验,试验表明铣刀转速为 1 400 r/min、刀片厚度为 7 mm、刃角为 20° 时功耗最小;设计了具有不同齿形和转速的单层多辊式输送器,并通过理论分析建立了 4 输送辊线速度之间的关系;对茎秆切碎装置进行了设计,确定动定刀位置和理论切碎长度。最后对样机进行了田间试验,结果表明:实际茎秆切碎长度与理论切碎长度无显著差异($P\leq0.05$),样机各项指标满足设计和行业相关标准要求。

关键词: 玉米收获机; 穗茎兼收; 转子铣刀; 茎秆输送装置

中图分类号: S344 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0208-07

Design and Test of Stalk Chopping and Conveying Device for Corn Combine Reaping both Stalk and Spike

Zhang Yinping¹ Diao Peisong¹ Du Ruicheng¹ Liu Linlin² Zhang Jiang¹

(1. College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China
2. Yellow River Water Supply Bureau of Binzhou, Binzhou 256600, China)

Abstract: Through the research analysis of corn harvester status at home and abroad as well as market demand of the current corn harvester, a new type of corn harvester for the stalk chopping and conveying device reaping both corn stalk and spike were designed emphatically. The advantages and disadvantages of different types of cutter were compared and analyzed, the cutting performance and function of feeding were considered, then the rotor milling cutter was adopted as the stem cutting device. To explore the power consumption influence factors of rotor milling cutter, the 3D simulation software ANSYS/LS-DYNA was used and a three-factor and three-level orthogonal simulation test of the rotor rotating speed, thickness and the blade angle was carried out. The simulation results showed that the rotational speed and blade angle on the level of $P\leq0.10$ had significant effects on power consumption for corn stalks cutting, and the thickness of the blade on the level of $P\leq0.10$ had less influence however. Through the simulation, the best working parameters of rotor milling cutter was determined as the blade speed of 1 400 r/min, thickness of 7 mm and blade angle of 20°, and on this occasion the power consumption was minimum. The single stem feeding device and double stem feeding device were compared and analyzed, and the transmissions were considered in as well, the transmissions of single stem feeding device were simpler. Then different tooth profiles and different speeds of roller conveyors were designed, and the relationship between four conveying rollers linear velocity was established by theoretical analysis, providing basis for transmission design. The different types of stem cutter were compared and analyzed, and rotary chopper was adopted. Then the drum diameter, blade installation form, dynamic location were

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-15

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903059)

作者简介: 张银平(1989—),女,博士生,主要从事旱作农业机械化体系及装备研究,E-mail: zhangyinping929@163.com

通信作者: 刁培松(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事玉米收获机研究,E-mail: dps2003@163.com

designed and calculated, and through calculating, the theoretical length of stalk chopped was 34.6 mm. Finally, the field experiment was carried out. Results showed that the feed rate was 4.06 kg/s, operation speed was 1.2 m/s, and the average stubble height was 9.5 mm, coefficient of variation was 6.32%. The stem length curve was drawn, and the actual chopped stalks length was between 0 ~ 40 mm and percent of pass was 95%. The average real chopped length was 35.2 mm and had no significant difference with the theory chopped length 34.8 mm in the level of $P\leq0.05$. At the same time, the other indicators of the harvester meet the design and relevant national standards.

Key words: corn harvest machine; reaping both stalk and spike; rotor milling cutter; stem convey device

引言

随着畜牧业不断发展和玉米茎秆作为燃料、食用菌基料等用途的不断扩大,玉米茎秆的需求量越来越大^[1]。但是茎秆利用率却很低,焚烧严重。

在玉米茎秆机械化收获方面,国外玉米收获机多数是穗茎兼收型,且多数是籽粒直收型。其茎秆切碎装置多采用滚筒切碎器,广泛采用静液压驱动,实现切碎长度无级可调^[2-3]。但是因其机型庞大,只能适合地块较大的地区,再加上价格昂贵,在中国没能得到大规模的应用^[4]。国内的玉米收获机多数是收获玉米果穗,并加装茎秆还田机将茎秆粉碎还田,这种收获方式不能回收茎秆,动力消耗也较大^[4];张道林等^[5-6]设计的立式摘穗玉米收获机,能够实现穗茎兼收,但茎秆切口不整齐,不适应高秆玉米收获;齐自成等^[7]设计的穗茎兼收型玉米收获机采用纵向茎秆切碎器,一行玉米对应一个切碎器,对行性要求高;海山机械制造有限公司的穗茎兼收型玉米收获机采用双层割台,但是茎秆无序喂入,切碎质量差^[8]。总之,国内市场上现有的穗茎兼收型玉米收获机无论产品性能,还是作业质量都与国外有很大差距^[9]。

本文在消化吸收国外穗茎兼收机器的基础上,研制4YZJ-4穗茎兼收型玉米收获机,以实现摘穗、果穗收集、输送、剥皮和茎秆切断、收集、传送、切碎抛送等功能。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

4YZJ-4穗茎兼收型玉米收获机为自走式作业机,主要由底盘、驾驶室、摘穗割台(上割台)和下割台、剥皮机、茎秆切碎和抛送装置等部分组成,其中,下割台包括茎秆切断装置、茎秆收集输送机、单排多辊茎秆输送装置,如图1所示。上割台采用“板式摘穗+拉茎辊”结构。

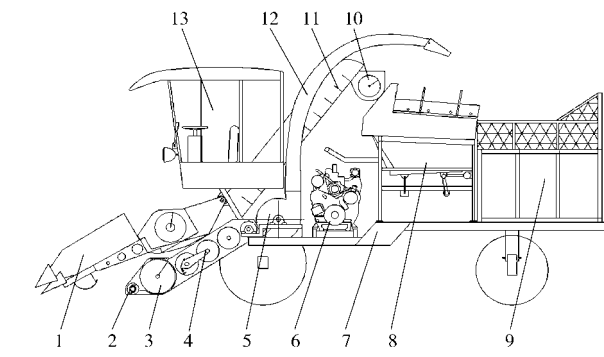


图1 穗茎兼收型玉米收获机总体结构方案

Fig.1 Scheme of combine reaping both corn and stalk

- 1.摘穗割台 2.转子铣刀切割器 3.茎秆收集输送机 4.单层多辊输送装置 5.切碎抛送器 6.发动机 7.机架 8.剥皮装置 9.果穗箱 10.果穗横向输送机 11.果穗升运器 12.抛送筒 13.驾驶室

1.2 工作原理

玉米收获机工作过程中,玉米植株进入两扶禾器中间后,玉米茎秆首先与拨禾链接触,在拨禾链的拨齿强制作用下向后运动,同时在2个相对转动的拉茎辊作用下向下运动,在这个过程中通过摘穗板的作用将果穗摘下(穗茎分离)。果穗被上割台的输送链拨送到上割台后部的果穗收集输送机,由收集输送机将果穗送入果穗升运器,再通过升运器将果穗输送到剥皮机前的横向输送机,由横向输送机分流经剥皮机剥皮后,滑落到果穗箱,实现果穗收获。果穗从植株上被摘下的同时,位于拉茎辊下方的转子铣刀在切向力作用下将茎秆切断,被切断的茎秆进入茎秆收集输送机,茎秆收集输送机将切断的茎秆往中间收拢,然后通过安装有4个具有不同齿形的单层多辊输送装置,茎秆被强制喂入到切碎抛送器,切碎并抛送至集草车。

2 关键部件设计

2.1 茎秆切断装置

2.1.1 茎秆切断装置结构设计

茎秆切断装置是穗茎兼收型玉米收获机的一个关键部件,其工作性能直接影响着茎秆的切断效

果^[10]。常用的切断刀型式为:圆盘锯齿型、直刃滚刀型、转子铣刀型、往复刀型,但各有优缺点,如图2所示。

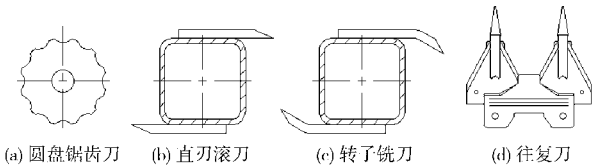


图2 4种茎秆切断刀结构示意图
Fig.2 Four types of cut-off tools

对于圆盘锯齿型、直刃滚刀型来说,其割刀对茎秆的切割效果尚可,但是对于茎秆切断后的瞬时抓取捕捉能力非常低,高速旋转的割刀会对茎秆产生一个较大的离心力和切向力,切断的茎秆部位会在离心力的影响下,沿着离心力的方向往外飞,其运动方向与茎秆顺利喂入的运动方向相反,影响了茎秆的喂入;而往复刀型切割效果是最好的,但是由于切断后的茎秆处于无约束的状态,其完全靠机组向前运行时,自由落入茎秆收集装置,因此茎秆被切断后其喂入效果较差。而转子铣刀型割刀不仅有良好的切割性能,而且在切割茎秆的过程中瞬间对其产生一个与茎秆喂入方向相同的力,可以克服割刀切割时茎秆沿离心力方向飞出的弊端^[11-12]。因此,设计中选择转子铣刀型切断刀。

2.1.2 刀片参数确定

玉米茎秆切断是一个比较复杂的过程,其切断功耗受到多种因素的影响,如切割方式、支撑条件、切割厚度、茎秆含水率、纤维结构等^[13]。就切刀自身而言,切割速度、刀片厚度、刀片刃角是影响切断功耗的重要因素。本文利用 ANSYS/LS-DYNA 对转子铣刀切断茎秆的过程进行仿真分析,通过改变仿真过程中转子铣刀的切割速度、刀片厚度、刀片刃角,分析其对切断功耗的影响,以此得到转子铣刀的最佳参数,仿真模型如图3所示。

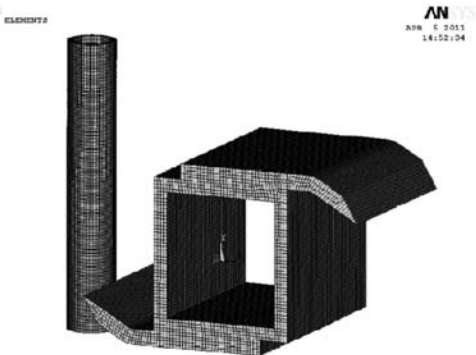


图3 玉米茎秆切断仿真模型
Fig.3 Simulation model of stalk cutting

模型建立时,忽略玉米茎秆截面形状的变化、玉米节及基本组织对茎秆力学性质的影响,将玉米茎

秆形状简化为等壁厚空心圆柱体,并假设玉米茎秆材料是均匀的,外径 25 mm,内径 21 mm^[14]。

仿真设计为三因素三水平试验,试验因素及水平如表1所示,试验设计及结果分析如表2所示,试验结果方差分析如表3所示。

表1 因子水平
Tab.1 Factors and levels

水平	因素		
	刀片厚度/mm	刀片转速/(r·min ⁻¹)	刀片刃角/(°)
1	7	1 400	20
2	8	1 500	25
3	9	1 600	30

表2 试验方案与试验结果
Tab.2 Test plan and results

序号	因素			功耗/W
	刀片厚度/ mm	刀片转速/ (r·min ⁻¹)	刀片刃角/ (°)	
1	7	1 400	20	650
2	7	1 500	25	662
3	7	1 600	30	675
4	8	1 400	25	655
5	8	1 500	30	660
6	8	1 600	20	658
7	9	1 400	30	667
8	9	1 500	20	661
9	9	1 600	25	670

表3 试验结果方差分析
Tab.3 Results of variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方差	F
刀片厚度	109	2	54.5	6.8
刀片转速	165	2	82.5	10.3
刀片刃角	182	2	91	11.3
误差	16	2	8	

由表3可知,刀片转速、刀片刃角对玉米茎秆切断功耗影响显著($P \leq 0.10$),刀片厚度对玉米茎秆切断功耗影响不显著($P \leq 0.10$)。由表2可得转子铣刀的最佳参数为:刀片转速 1 400 r/min、刀片厚度 7 mm、刀片刃角 20°,此时刀片切断茎秆所消耗的功耗最小。

2.2 茎秆输送装置

2.2.1 输送装置结构设计

在穗茎兼收型玉米收获机的设计中,茎秆输送装置的性能直接影响茎秆切碎效果。茎秆输送装置的堵塞、茎秆的顺序调直、整体合理布局等是设计方案时所需要考虑的因素。图4所示为茎秆输送装置2种设计方案。

方案a:该方案采用双层辊,茎秆在相对转动的

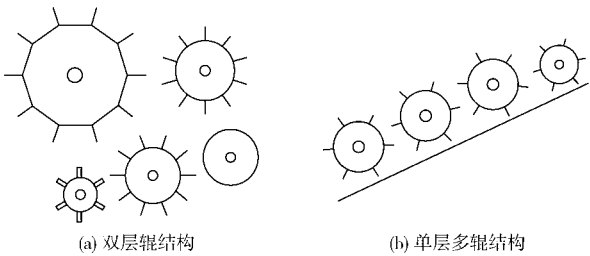


图4 茎秆输送装置原理图

Fig.4 Schematic diagram of stalk transmission equipment

喂入辊作用下被强制喂入,由于喂入辊的数量较多,同时最大直径的喂入辊设计为浮动结构,随着茎秆层厚度变化上下浮动,这增大了结构的复杂程度,加上喂入辊的数量较多,对传动的设计也带来不少困难^[15]。

方案 b:该方案采用单层多辊,茎秆在喂入辊与底板的作用下被强制喂入,前 3 个喂入辊的直径大小相同,且第 1 个喂入辊采用浮动结构。其设计结构简单,传动方案的设计也相对容易。

考虑茎秆切碎装置的安装问题,方案 a 的茎秆输送距离较短,使得其后切碎装置安装位置不够,而方案 b 茎秆输送距离较长,使其后的切碎装置正好位于驾驶室下方,布局合理。通过比较以上 2 个方案,选择方案 b。

由于被喂入到茎秆输送装置的茎秆是杂乱无章的,很容易引起茎秆输送装置堵塞,所以茎秆输送装置上安装的 4 个喂入辊在喂入过程中起着关键作用,为了保证有着良好的输送效果,对喂入辊的大小设计、齿形设计、喂入速度、齿形与茎秆输送装置底板的间距等因素做了严格的考虑,如图 5 所示。前 3 个辊子的齿形设计成三角形的尖齿,以提高辊子的抓取能力,各辊子线速度是递增的,可以实现茎秆调直功能。4 个辊子齿形相交错,使输送方向上无盲区,辊Ⅳ的主要作用是将输送的茎秆压紧喂入,便于切碎器的切碎,故可将此辊的齿形设计为等腰梯形,如图 6 所示。

2.2.2 喂入辊速度分析

这 4 个喂入辊的速度由小逐渐变大,其主要目

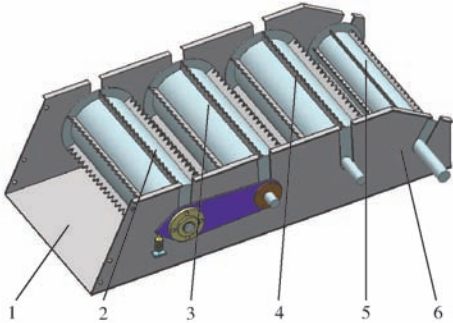


图5 茎秆输送装置的三维图

Fig.5 3D drawing of stalk transmission equipment

1. 喂入口 2. 辊Ⅰ 3. 辊Ⅱ 4. 辊Ⅲ 5. 辊Ⅳ 6. 壳体

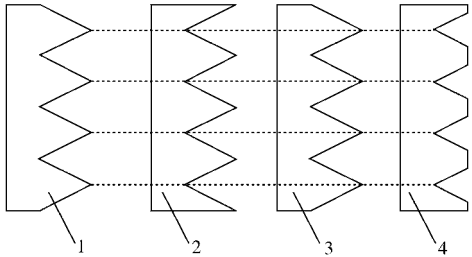


图6 单层多辊茎秆输送装置的齿形

Fig.6 Tooth shape of unilateral-multi rollers for conveying stalks

1. 辊Ⅰ齿形 2. 辊Ⅱ齿形 3. 辊Ⅲ齿形 4. 辊Ⅳ齿形

的:防止茎秆堵塞在茎秆输送装置中;如果茎秆是倾斜进入到茎秆输送装置中,对茎秆有调直的作用,其茎秆的喂入变化如图 7 所示。

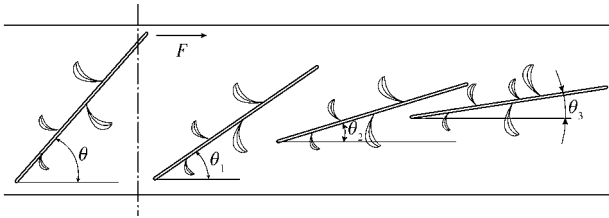


图7 茎秆传输变化图

Fig.7 Drawing of stalk transmission variation

茎秆受力 F 后,会绕着质心转动一定的角度,经过 4 个喂入辊后所转过的角度分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 。假设茎秆以 v_0 的初速度,与茎秆输送装置进入呈 θ 角进入茎秆输送装置,其茎秆的质量为 M 、长度为 L ;4 个喂入辊的线速度分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 。

茎秆绕质心转动的微分方程为

$$J\alpha_1 = \frac{FL\sin\theta}{2} \tag{1}$$

其中

$$J = ML^2/12 \tag{2}$$

$$\omega_1 = \alpha_1 t_1 \tag{3}$$

式中 J ——茎秆的转动惯量

α_1 ——茎秆通过喂入辊Ⅰ时的角加速度

ω_1 ——茎秆通过喂入辊Ⅰ时的角速度

t_1 ——茎秆通过喂入辊Ⅰ所用的时间

假定茎秆做匀加速运动,则

$$t_1 = (v_1 - v_0)/a \tag{4}$$

$$a = F/M \tag{5}$$

式中 a ——茎秆通过喂入辊Ⅰ时的加速度

联立式(1)~(4)可以得到

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{1}{2} FL\sin\theta \times 12 \frac{1}{ML^2} = \frac{6F\sin\theta}{ML} \\ \omega_1 = \frac{M(v_1 - v_0)}{F} \frac{6F\sin\theta}{ML} = \frac{6(v_1 - v_0)\sin\theta}{L} \\ \beta_1 = \frac{6(v_1 - v_0)\sin\theta}{L} t_1 = \frac{6M\sin\theta(v_1 - v_0)^2}{FL} \end{cases} \tag{6}$$

按照类比的方法可以求出

$$\beta_2 = \frac{6M(v_2 - v_1)^2 \sin \theta_1}{FL} \tag{7}$$

$$\beta_3 = \frac{6M(v_3 - v_2)^2 \sin \theta_2}{FL} \tag{8}$$

$$\beta_4 = \frac{6M(v_4 - v_3)^2 \sin \theta_3}{FL} \tag{9}$$

茎秆每经过一次喂入辊后所转角度必小于等于茎秆在进入前与茎秆输送装置水平线的夹角,所以有: $\beta_1 \leq \theta$ 、 $\beta_2 \leq \theta_1 = \theta - \beta_1$ 、 $\beta_3 \leq \theta_2 = \theta - \beta_1 - \beta_2$ 、 $\beta_4 \leq \theta_3 = \theta - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3$ 。可以得出喂入辊的速度关系为

$$0 < v_i - v_{i-1} \leq \sqrt{\frac{FL\theta_{i-1}}{6M\sin\theta_i}} \quad (0 \leq i \leq 4) \tag{10}$$

2.3 茎秆切碎装置

穗茎兼收型玉米收获机茎秆切碎装置主要有滚筒式、盘刀式和销钉式3种类型。该设计采用滚筒式切碎器,如图8所示,其结构紧凑,安装方便,滚筒上可安装较多的切刀,从而获得较短的切碎段,滚筒上的动刀速度一致,切碎质量好^[15]。

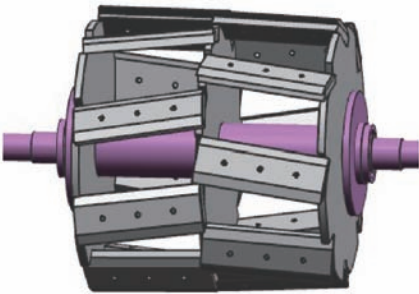


图8 切碎滚筒三维模型

Fig. 8 3D model of chopping cylinder

2.3.1 切碎刀安装形式

为保证切割的平稳性、连续性,使每把刀的切割阻力矩小,采用短刀直刃斜装结构,双边16片人字形配置,优点是负荷比较均匀,有利于滚筒体的平衡,且茎秆易向中间集中,避免切碎滚筒端面的堵塞^[16]。

2.3.2 喂入口配置计算

喂入口配置即为动定刀之间的位置关系,如图9所示。定刀在茎秆的切碎过程中主要起到支撑茎秆和与动刀配合钳住茎秆的作用。

定刀位于切碎器主轴中心的上方时,会出现压断而不是切断茎秆的情况,位于下方距离太大时会使茎秆在动刀后刃面上的摩擦力增大,从而增加功耗。根据农业机械手册给出的公式^[17]

$$H = h' + Rv_m/v_d \tag{11}$$

式中 H ——定刀相对主轴中心的高度

h' ——茎秆厚度,取0.025 m

R ——切碎滚筒半径,取0.3 m

v_m ——喂入速度,取6.5 m/s

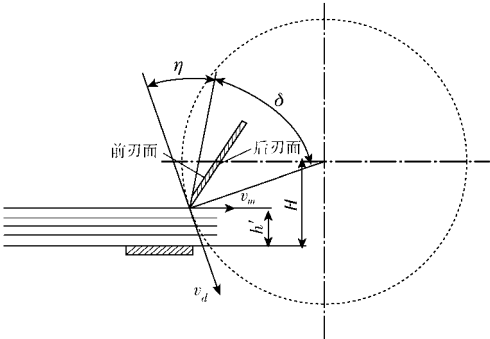


图9 动定刀位置

Fig. 9 Position of moving cutter and fixed cutter

v_d ——动刀刃线速度,取43.96 m/s

代入数据,可以得到 $H = 69$ mm。

2.3.3 理论切碎长度

茎秆的理论切碎长度,是指相邻动刀片切断动作之间茎秆的进给量。切碎长度可通过改变茎秆喂入速度或动刀片数目进行调整。结合切碎器动刀刃线上各点的线速度,计算茎秆理论切碎长度^[17]

$$l = v_m / (nz) \times 6 \times 10^4 \tag{12}$$

式中 n ——切碎器的转速,本设计取1400 r/min

z ——单排动刀片的数量,取8

由此计算可得茎秆切碎长度理论值 $l = 34.8$ mm。

3 田间试验与结果分析

3.1 试验条件

试验于2014年9月,在山东省临淄区凤凰镇富群农机合作社试验地进行,如图10所示。试验地块长220 m,宽200 m。种植玉米品种为登海605,茎秆直径24 mm,平均株高2590 mm,平均穗位高990 mm,平均穗长180 mm,穗行数16~18行,折弯率小于3%,果穗下垂率小于等于2%,倒伏率小于等于3%,籽粒含水率30%,秸秆含水率67.8%,平均株距260 mm,行距60 cm、65 cm。

试验区选择3点长度为50 m的4行玉米,0~20 m作为测试前稳定区,20~40 m为测试区,40~50 m为停车区。试验前将试验区两侧玉米清除,并清除试验区的自然落粒、落穗、断离植株以及结穗高度在35 cm以下的果穗。

3.2 试验内容与方法

(1) 作业速度及喂入量

在测定区内,接取从粉碎茎秆、果穗(苞叶)排出口的排出物,分别称其质量,同时记录通过测定区时间,计算作业速度和喂入量^[18-19]

$$v = S/t \tag{13}$$

$$Q = W/t \tag{14}$$

式中 t ——收获机通过测定区的时间,s



图 10 田间试验

Fig. 10 Field test

S ——测定区长度,取 20 m
 Q ——喂入量,kg/s
 W ——通过测试区时,接取的茎秆和果穗(籽粒)总质量,kg

(2)割茬高度
在稳定测试区内随机选取收获后的 4 行,每行选取 10 株割茬,测量割茬高度,求平均值,重复 3 次^[18]。

(3)茎秆切碎长度
在测定区内,用取样网从粉碎茎秆的抛送筒出口接取 1 kg 样品,取 3 点,混合后人工测量分级,绘制切断长度分布曲线^[18-19]。

(4)茎秆饲料含杂率
在测定区内,用取样袋从粉碎茎秆的抛送筒出口接取 1 kg 样品,用筛网晒出样品中的土、小石块等杂质,并称量,计算含杂率,重复 3 次^[19]。

3.3 试验结果与分析

田间试验结果如表 4 所示,喂入量为 4.06 kg/s,作业速度为 1.2 m/s;割茬高度平均值为 9.5 mm,变异系数为 6.32%,分析变异系数较大的原因可能是因为地块不平,导致割台距离地面的高度有差异。其他技术指标均符合相关标准要求。

表 4 穗茎兼收型玉米收获机械试验结果
Tab.4 Testing results of combine harvester for both spike and stalk

参数	数值
配套动力/kW	110
割茬高度/cm	9.5
喂入量/(kg·s ⁻¹)	4.06
作业小时生产率/(hm ² ·h ⁻¹)	7.8
籽粒损失率/%	0.95
果穗损失率/%	1.03
果穗清洁率/%	97.5
果穗夹带籽粒损失率/%	0.17
籽粒破碎率/%	0.1
茎秆切碎合格率/%	95
饲料含杂率/%	1.54
使用可靠性/%	98

茎秆切碎效果如图 11 所示,长度分布如图 12 所示,从图 12 可以看出,茎秆长度在 0 ~ 40 mm 之间,集中在 30 ~ 35 mm,平均切碎长度 35.3 mm,切碎长度合格率为 95%,符合秸秆回收或还田要求。对茎秆切碎长度进行方差分析显示实际茎秆切碎长度与理论茎秆切碎长度(34.8 mm)无显著差异($P \leq 0.05$)。



图 11 茎秆切碎情况

Fig. 11 Result of chopped stem

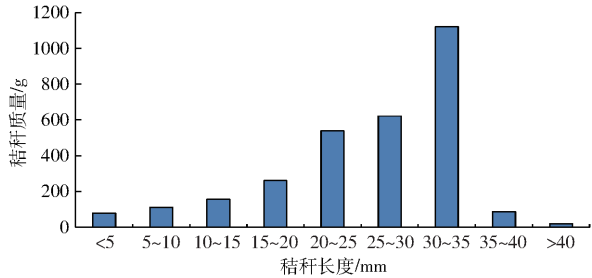


图 12 茎秆切碎长度分布

Fig. 12 Distribution of stem chopped length

4 结论

(1)设计了穗茎兼收型玉米收获机茎秆切碎与输送装置。利用 ANSYS/LS-DYNA 对转子铣刀刀片转速、厚度以及刃角进行了三因素三水平仿真试验,得到转子铣刀转速为 1 400 r/min、刀片厚度为 7 mm、刀片刃角为 20°时,切割茎秆所消耗的功耗最小,为样机设计提供依据。

(2)分析了茎秆输送装置各输送辊之间的速度关系,推导出理论公式,为输送辊转速设计提供了依据。

(3)选择了滚筒式切碎器,设置了滚筒参数,得到了最佳的喂入口位置 $H = 69$ mm;计算了茎秆切碎的理论长度 $l = 34.8$ mm。

(4)所研制的穗茎兼收型玉米收获机经田间试验测试,结果表明茎秆切碎长度在 0 ~ 40 mm 之间,集中在 30 ~ 35 mm,切碎合格率为 95%,实际茎秆切碎长度与理论切碎长度无显著差异($P \leq 0.05$),各项指标符合设计要求和行业相关标准^[19],为玉米收获提供了一种新机型。

参 考 文 献

- 1 刘宇,史同瑞,朱丹丹,等.玉米秸秆利用现状及其生物发酵技术研究进展[J].中国畜牧杂志,2014,50(6):61-64.
LIU Yu,SHI Tongrui,ZHU Dandan,et al. Utilization status of corn stalk and research progress of the biological fermentation technology[J]. Chinese Journal of Animal Science,2014,50(6):61-64. (in Chinese)
- 2 SRIVASTAVA A K, GOERING C E, ROHRBACH R P. Engineering principles of agricultural machines[M]. Niles: American Society of Agricultural and Biological Engineers,2006.
- 3 SHINNERS K J, JIROVEC A G, SHAVER R D, et al. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2000,16(4):323-331.
- 4 陈志,郝付平,王锋德,等.中国玉米收获技术与装备发展研究[J].农业机械学报,2012,43(12):44-49.
CHEN Zhi, HAO Fuping, WANG Fengde, et al. Development of technology and equipment of corn harvester in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(12):44-49. (in Chinese)
- 5 张道林,孙永进,赵洪光,等.立辊式玉米摘穗与茎秆切碎装置的设计[J].农业机械学报,2005,36(7):50-52,76.
ZHANG Daolin, SUN Yongjin, ZHAO Hongguang, et al. Design of a vertical-roll type of corn picker and stalk chopper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7):50-52,76. (in Chinese)
- 6 张道林,孙永进,赵洪光.自走式穗茎兼收型玉米联合收获机的设计与试验[J].农业工程学报,2005,21(1):79-82.
ZHANG Daolin, SUN Yongjin, ZHAO Hongguang. Design and experiment of the self-propelled combine harvester for corn and stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1):79-82. (in Chinese)
- 7 齐自成,张进凯,李寒松,等.穗茎兼收玉米收获机秸秆处理功能拓展及中试[J].农机化研究,2015,34(7):140-144.
QI Zicheng, ZHANG Jinkai, LI Hansong, et al. Stalk treatment function expansion and pre-production of the combine harvester for corn and stalk[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2015,34(7):140-144. (in Chinese)
- 8 赵学林.穗茎兼收型玉米收获机茎秆回收装置设计与研究[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2014.
ZHAO Xuelin. Design and research for the stalk chopping and recovery device of corn combine reaping both stalk and spike[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences,2014. (in Chinese)
- 9 郝付平,陈志.国内外玉米收获机械研究现状及思考[J].农机化研究,2007(10):206-208.
HAO Fuping, CHEN Zhi. Actuality of domestic and foreign corn harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(10):206-208. (in Chinese)
- 10 路鲁.穗茎兼收型玉米收获机关键部件研究[D].淄博:山东理工大学,2012.
LU Lu. Research on the key components of new corn harvester for both stalk and spike[D]. Zibo: Shandong University of Technology,2012. (in Chinese)
- 11 江苏工学院.农业机械学[M].北京:中国农业机械出版社,1987.
- 12 袁彩云.穗茎兼收型玉米收获机关键部件研究[D].淄博:山东理工大学,2011
YUAN Caiyun. Research on the key components of corn harvester for both stalk and spike[D]. Zibo: Shandong University of Technology,2011. (in Chinese)
- 13 高欣.玉米秸秆力学特性试验研究[D].武汉:华中农业大学,2013.
GAO Xin. Experimental study of mechanical properties of corn stalk [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2013. (in Chinese)
- 14 刁培松,袁彩云,张道林,等.基于ANSYS/LS-DYNA的转子铣刀茎秆切割试验[J].农机化研究,2011(12):116-122.
DIAO Peisong, YUAN Caiyun, ZHANG Daolin, et al. Experiment of the rotor cutter chop stalk on ANSYS/LS-DYNA[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011(12):116-122. (in Chinese)
- 15 肖戟,李剑飞,牛云鹏.玉米联合收获机典型切碎部件的研究[J].机械设计与制造,2011(7):130-132.
XIAO Ji, LI Jianfei, NIU Yunpeng. Study on typical chopping parts of corn combine harvester[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(7):130-132. (in Chinese)
- 16 庞声海,王乃信.直刀刃滚刀式切碎器的分析与设计[J].农业机械学报,1983,6(2):46-54.
PANG Shenghai, WANG Naixin. Analysis and design on the cylinder-type for age cutter head with straight knife edge[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1983,6(2):46-54. (in Chinese)
- 17 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,1988.
- 18 GB/T 21961—2008 玉米收获机械 试验方法[S].2008.
- 19 NY/T 1355—2007 玉米收获机 作业质量[S].2007.