

玉米穗茎联合收获台茎秆切碎输送装置设计与试验

郝付平 陈 志 张宗玲 韩 英 余鹏飞 韩增德
(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 分析了切碎输送装置结构与工作原理,建立了茎秆切口夹角、切段长度、输送效率的数学模型,并计算其理论值。鉴于作业速度变化会引起玉米秸秆喂入量的波动,对茎秆的切口夹角和切段长度,以及碎茎秆的输送效率均有明显影响,因此以作业速度为试验因素,以茎秆切口夹角、切段长度以及输送效率为试验指标,进行了田间试验,测算得出了茎秆切口夹角、切段长度、输送效率的实际值。通过数据回归,分别得出作业速度与茎秆切口夹角、切段长度、输送器输送效率实际值修正系数的理论数学模型,构建了基于田间作业速度的茎秆切碎与输送装置工程设计模型,可为同类装置设计提供参考。

关键词: 穗茎兼收; 切碎装置; 输送装置; 设计; 试验

中图分类号: S225.5+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0067-06

Design and Experiment of Corn Stalk Combined Harvesting Header Stalk Chopping Conveyor

HAO Fuping CHEN Zhi ZHANG Zongling HAN Ying YU Pengfei HAN Zengde
(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The structure and working principle of the chopping conveyor were analyzed, and the theoretical relationship between the angle of the incision, the length of the stem segment and the conveying efficiency of the crushed stem conveyor was established, and the theoretical values of the three were calculated. The change of working speed would cause the fluctuation of the corn stalk feeding amount, which had significant effects on the length of the cut section, the angle of the cut, and the transport efficiency of the broken stem. Taking the working speed as the test factor, the angle of the stem cut, the length of the cut section and the transport efficiency were taken as the test indicators. The field test was carried out, and the angle of the stem cut was calculated. The actual value of the length of the cut section and the conveying efficiency were calculated by data regression, and the mathematical model of the working speed and the angle of the cut, the length of the stem cut, and the actual value of the transport efficiency of the crushed stem conveyor were respectively obtained. Through the speed stalk chopping and conveying device, the model was actively designed to reduce the design deviation of the theoretical calculation model, and provided a reference for the design of the similar device based on the field conditions.

Key words: reaping stalk and spike; roller chopper; conveying device; design; experiment

0 引言

玉米是我国第一大主粮作物,产量居世界第二。玉米主要包括果穗和茎秆,实现果穗与茎秆的同步联合收获,有利于茎秆离田及多元化利用,可有效缓

解茎秆焚烧造成的环境污染。穗茎兼收玉米收获机能够实现果穗和茎秆同步收获,其中割台是核心部件^[1-9]。优化割台参数有利于提高作业质量、降低作业故障率。张银平等^[10]对穗茎兼收玉米收获机进

收稿日期: 2019-04-20 修回日期: 2019-05-29
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0701904)
作者简介: 郝付平(1982—),男,高级工程师,主要从事农业机械关键技术及装备研究,E-mail: 66603648@qq.com
通信作者: 韩增德(1963—),男,研究员,主要从事农业机械关键技术及装备研究,E-mail: jszx000@sina.com

行了田间试验,但未对茎秆切口夹角进行分析。张道林等^[11]在玉米穗茎收获机田间试验中发现,杂草、玉米成熟度等因素影响茎秆切段长度。张宗玲等^[12]以机器作业速度、动刀切割前角、切碎滚筒转速为自变量,以玉米果穗损失率、籽粒破碎率、籽粒损失率、茎秆平均切段长度和几何标准差为试验指标,优化了割台的切碎装置参数,发现当作业速度变化时,喂入量发生较大变化,对秸秆切碎与输送性能产生明显影响,但未对此做进一步试验研究。

本文以作业行进速度为试验因素,以茎秆切口夹角、茎秆切段长度和输送效率为试验指标,分析作业速度对切碎装置和输送装置性能的影响,构建基于田间作业速度的主动设计模型。

1 结构设计与理论分析

玉米穗茎联合收获台主要由分禾器、往复式切割器、夹持输送装置、齐根装置、摘穗装置、输送装置、茎秆切碎与输送装置、传动装置、机架等组成^[13]。其中,茎秆切碎与输送装置决定茎秆的切碎质量与输送效率。

1.1 切碎装置

1.1.1 结构设计

切碎装置由切刀、定刀和滚筒凹板等组成,结构如图1所示。由安装在切碎滚筒上的切刀与定刀共同完成茎秆切碎。其中,切碎滚筒直径 $D_q=260\text{ mm}$,圆周方向切刀数 $z=8$,转速 $n_q=1\,350\text{ r/min}$ 。

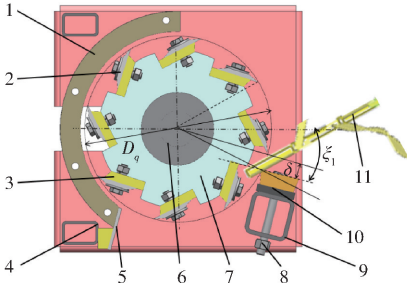


图1 切碎装置结构

Fig.1 Structural of cutting roller

- 1. 滚筒凹板 2. 切刀 3. 切刀座 4. 机架 5. 压条 6. 刀轴
- 7. 辐盘 8. 偏心螺栓 9. 垫铁 10. 定刀和定刀座 11. 玉米茎秆

1.1.2 茎秆切口夹角理论模型

对单根茎秆切碎过程进行分析,如图2所示。图中A点为切刀切碎起始点,B点为切碎结束点,O点为切碎滚筒旋转中心。忽略切刀片安装角和切刀片的磨刃角对茎秆切割的影响,切碎茎秆切口夹角 α_l 可表示为

$$\cot\alpha_l = \frac{\Delta l}{d} = \frac{\pi\alpha_n R n_l}{180 n_q d} \tag{1}$$

其中

$$\alpha_n = \zeta_1 + \arcsin \frac{\delta}{R} - \arcsin \left(\sin \left(\zeta_1 + \arcsin \frac{\delta}{R} \right) - \frac{d}{R} \right) \tag{2}$$

式中 n_l ——拉茎辊转速,r/min

d ——茎秆直径,mm

R ——拉茎辊半径,mm

Δl ——碎茎秆切口直角边长度,mm

α_n ——切割茎秆切刀转角,(°)

ζ_1 ——定刀与竖直平面夹角

δ ——定刀上表面与切碎旋转中心线的距离

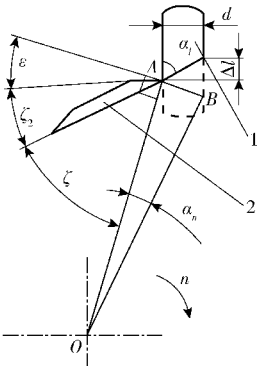


图2 茎秆切碎分析图

Fig.2 Sketch of stem chopping analysis

1. 茎秆 2. 切刀

1.1.3 茎秆切碎长度理论计算模型

茎秆理论切段长度 l_l 可表示为^[14-15]

$$l_l = \frac{2\pi n_l R}{n_q z} \tag{3}$$

当切碎茎秆有切口时,茎秆长度 l_{ls} 为

$$l_{ls} = l_l + d \cot\alpha_l \tag{4}$$

切碎滚筒直径设计值 $D_q=260\text{ mm}$,圆周方向切刀数 $z=8$,切割前角 $\zeta=48^\circ$,切刀的磨刃角 $\zeta_2=22.5^\circ$ ^[16-18],切碎滚筒转速与拉茎辊转速比为1.5,利用式(3)计算出碎茎秆理论长度 l_l 为29.31 mm。

设计定刀与竖直平面的夹角 $\zeta_1=14^\circ$,定刀上表面与切碎旋转中心线所在平面的距离 $\delta=27\text{ mm}$, d 取结穗处茎秆直径平均值19.16 mm,利用式(4)计算得碎茎秆的理论切段长度为31.17 mm。

1.2 碎茎秆输送装置

1.2.1 结构设计

如图3所示,碎茎秆输送装置位于切碎装置的后下侧,主要由螺旋输送机、抛送器、壳体等组成,其中螺旋输送机与抛送器为同轴差速传动。工作时,螺旋输送机旋转,将茎秆横向推送至端部高速旋转的抛送器,再由抛送器抛送到集草箱中。其中,螺旋输送机直径为400 mm,螺距400 mm,与壳体间的间隙为5 mm,转速为400 r/min。

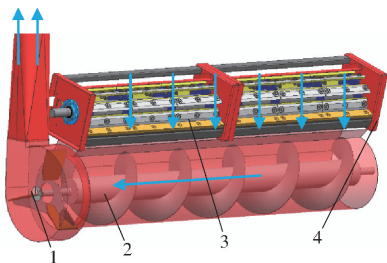


图3 碎茎秆输送装置示意图

Fig.3 Schematic of broken stalk conveying device

1. 抛送器 2. 螺旋输送器 3. 切碎滚筒 4. 壳体

1.2.2 输送能力理论计算模型

碎茎秆螺旋输送装置的理论生产率(推运量)^[19]可以表示为

$$Q_{sl} = V\rho\psi C = \frac{\pi[(D_s - d_s)^2 - d_s^2]}{24} N_s P_s \rho\psi C \times 10^{-10}$$

(5)

式中 Q_{sl} ——碎茎秆输送器理论生产效率,kg/s
 ρ ——碎茎秆容积密度,kg/m³
 ψ ——茎秆在输送器中的充满系数,取 0.3 ~ 0.4
 D_s ——输送器外径,mm
 d_s ——输送器内径,mm
 N_s ——输送器转速,r/min
 P_s ——输送器螺距,mm
 C ——输送器倾斜输送系数,无倾斜,取 $C = 1$
 V ——物料体积流量,m³/s

取 $\rho = 110 \text{ kg/m}^3$ ^[20], $\psi = 0.35$, $D_s = 400 \text{ mm}$, $d_s = 150 \text{ mm}$, $N_s = 400 \text{ r/min}$, $P_s = 400 \text{ mm}$, $C = 1$ 计算出理论生产率 $Q_{sl} = 11.08 \text{ kg/s}$ 。

2 田间试验

2.1 试验目的

通过作业速度单因素试验,分析作业速度对茎秆切口夹角、切段长度和输送生产效率的影响规律,以构建基于田间工况的茎秆切口夹角、切段长度和输送生产效率设计模型。

2.2 试验条件

2016 年 9—10 月,在河北省涞水县涞水镇庄町村进行田间试验。玉米品种为郑 958,行距平均值为 607.1 mm,株距平均值为 290.9 mm,平均根部茎秆直径为 28.02 mm,果穗大端直径为 55.10 mm,果穗下垂率为 5.6%,以上数据为 30 个数据的平均值。

玉米穗茎兼收割台搭载在静液压驱动底盘上进行试验,发动机转速恒定,通过液压手柄控制作业速度,不会引起工作部件运动参数变化。试验时,往复式切割器距离地面 100 mm,切碎滚筒切刀切割前角

为 52°,切碎滚筒转速为 1 350 r/min。

2.3 试验方法

按照 GB/T 21961—2008《玉米收获机械试验方法》的规定,测定区为 10 m,稳定区和停车区的玉米在试验前清理干净。作业速度为 3、4、5、6 km/h 时进行收获试验,每种作业速度重复进行 3 次试验。

2.4 试验指标计算方法

用取样网从碎茎秆抛送筒出口接取不少于 2 kg 的碎茎秆,随机取出 500 g 样品进行处理,按长度 0 ~ 10 mm、10 ~ 20 mm、20 ~ 30 mm、30 ~ 40 mm、40 ~ 50 mm、50 ~ 60 mm、60 ~ 80 mm 和 80 mm 以上进行分级^[13],分别测出样品中每个长度分段内碎茎秆的平均长度 $\bar{z}_i$ 以及物料质量 m_i ,如图 4 所示。根据标准 GB/T 10394.3—2002 的规定计算平均切段长度为

$$\ln z = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \ln \bar{z}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

(6)

式中 z ——茎秆平均切段长度,mm

茎秆切口夹角计算公式为

$$\alpha_s = \operatorname{arccot}(\Delta l/d)$$

(7)

茎秆切口夹角单次试验测算 8 组碎茎秆,求平均值。

实际输送效率 Q_{ss} 计算公式为

$$Q_{ss} = M/s_c$$

(8)

式中 M ——抛送筒抛出茎秆的质量,kg

s_c ——抛送筒出料时间,s



图4 碎茎秆分类

Fig.4 Classification of broken stem

3 试验结果与分析

3.1 碎茎秆切口夹角

由于受作业速度影响,切口夹角理论值 α_l 与实际值 α_s 存在一定差异,为此引入切口夹角修正系数 k_1 ,定义为

$$k_1 = \frac{\cot\alpha_s}{\cot\alpha_l} \tag{9}$$

由式(1)、(7)分别计算 $\cot\alpha_l$ 与 $\cot\alpha_s$, 结果见表 1。

表 1 茎秆切口夹角修正系数

Tab.1 Stem incision angle correction factor

机器作业速度/ (km·h ⁻¹)	$\cot\alpha_l$	$\cot\alpha_s$	k_1 平均值
3	0.73	0.44	0.61
4	0.73	0.68	0.94
5	0.73	0.71	0.97
6	0.73	0.84	1.14

从表 1 可知,随着机器作业速度 v 的增加,切口夹角修正系数 k_1 随之增大,在 4 ~ 5 km/h 的作业速度下,修正系数在 1 左右,比较接近理论计算值,拟合趋势见图 5。通过数据回归得到作业速度 v 的增加与切口夹角修正系数 k_1 的数学模型为

$$k_1 = 0.073\,3v^3 - 0.59v^2 + 1.586\,7v - 0.46 \tag{10}$$

决定系数 $R^2 = 0.999$,说明作业速度 v 与切口夹角修正系数 k_1 呈高度的三次多项式关系。

表 2 茎秆切段长度试验结果

Tab.2 Test result of length of broken stem

机器作业速度 /(km·h ⁻¹)	不同长度等级秸秆质量/g								几何平均	修正	修正系数
	0 ~ 10 mm	10 ~ 20 mm	20 ~ 30 mm	30 ~ 40 mm	40 ~ 50 mm	50 ~ 60 mm	60 ~ 80 mm	80 mm 以上	长度/mm	系数	平均值
3	0.56	17.54	102.13	154.58	63.09	60.94	77.37	23.81	43.96	1.41	1.36
	7.84	66.77	95.30	100.63	70.53	78.06	50.16	30.72	41.38	1.33	
	6.98	67.23	94.29	99.34	72.35	79.01	49.27	32.34	41.61	1.33	
4	2.98	23.12	128.64	130.13	60.78	37.66	83.15	33.56	43.56	1.40	1.37
	3.49	24.68	124.78	132.45	70.53	65.47	43.49	35.11	42.24	1.36	
	2.73	21.22	128.01	129.88	78.12	69.49	41.02	29.54	41.89	1.34	
5	7.96	32.18	100.53	114.80	63.37	74.65	72.00	34.51	44.31	1.42	1.42
	8.08	33.63	98.53	116.11	62.42	76.43	68.42	36.38	44.30	1.42	
	6.52	34.49	101.64	112.76	64.16	72.04	74.31	34.08	44.31	1.42	
6	4.15	47.51	94.10	95.02	53.04	88.10	71.49	46.59	45.68	1.47	1.46
	4.56	48.55	94.98	96.28	54.60	86.06	69.98	45.00	45.27	1.45	
	4.10	47.12	93.11	94.38	52.70	87.17	73.26	48.16	45.97	1.47	

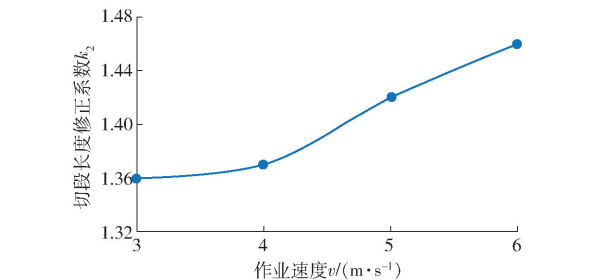


图 6 作业速度与切段长度修正系数关系曲线
Fig.6 Relationship curve of operating speed and segment length correction coefficient

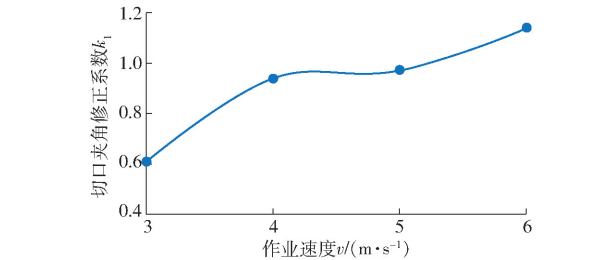


图 5 切口夹角修正系数与作业速度关系曲线
Fig.5 Relationship curve of cut section angle correction coefficient and advance speed

3.2 茎秆切段长度

碎茎秆实际切段长度与理论切段长度的关系式定义为

$$l_{ss} = k_2 l_{ls} \tag{11}$$

式中 l_{ss} ——平均切段长度的实际测量值,mm
 k_2 ——切段长度修正系数

茎秆切段长度试验结果如表 2 所示,由表 2 可知,随着机器作业速度的增加,茎秆切段长度修正系数增大,表明在理论茎秆切段长度不变的基础上,随着机器作业速度增加,茎秆实际平均切段长度增加,拟合趋势见图 6。

通过数据回归得到作业速度 v 的增加与切段长度修正系数 k_2 的数学模型

$$k_2 = 0.007\,5v^2 - 0.002\,5v + 1.352\,5 \tag{12}$$

决定系数 $R^2 = 0.980\,7$,说明作业速度 v 与切段长度修正系数 k_2 呈二次多项式关系。

玉米植株株距 s_z 为 270.27 ~ 333.33 mm,机器作业速度为 3 km/h 时,两株玉米植株喂入的平均时间间隔为

$$t = \frac{s_z}{v} = 0.326 \sim 0.402\,s \tag{13}$$

拉茎辊的设计直径 $D_l = 112\text{ mm}$, 设计转速 $n = 966\text{ r/min}$, 在上述时间内的拉茎长度

$$L = \frac{\pi D_l n t}{60} = 1\,845.83 \sim 2\,276.15\text{ mm} \quad (14)$$

作业时, 割台拉茎辊前端离地高度 $h = 705.5\text{ mm}$, 则植株的切碎长度为

$$H = h + L = 2\,551.33 \sim 2\,981.65\text{ mm} \quad (15)$$

玉米植株株高为 $2\,120.3 \sim 2\,716.5\text{ mm}$, 当机器作业速度为 3 km/h 时, 茎秆基本上是单根切碎, 极少存在同时切碎 2 根的情况。当机器作业速度为 4 km/h 时, 即 1.11 m/s , 可得喂入的平均时间间隔为 $0.243 \sim 0.3\text{ s}$, 拉茎长度为 $1\,375.88 \sim 1\,698.62\text{ mm}$, 玉米植株的切碎长度为 $2\,081.38 \sim 2\,404.12\text{ mm}$, 同时切碎两根茎秆的概率增加, 随着机器作业速度进一步增加, 单位时间内需要切碎的茎秆增多, 切碎层厚度增加, 切断时间延长, 导致茎秆切段长度变长, 引起修正系数变大。

3.3 碎茎秆输送效率

碎茎秆螺旋输送机理论生产率按式(5)求取, 取 $\rho = 110\text{ kg/m}^3$ ^[20], $\psi = 0.35$, $D_s = 400\text{ mm}$, $d_s = 150\text{ mm}$, $N_s = 400\text{ r/min}$, $P_s = 400\text{ mm}$, $C = 1$ 。

定义碎茎秆输送机实际输送效率为

$$Q_{ss} = k_3 Q_{sl} \quad (16)$$

式中 k_3 ——碎茎秆输送机输送效率修正系数

Q_{ss} ——实际测得的输送机生产效率, kg/s

计算的输送机理论生产效率和测得的实际生产效率结果如表 3 所示。对表 3 中数据进行回归拟合如图 7 所示, 可以看出 k_3 随着机器作业速度的增加而增大, 当作业速度大于 5 km/h 时, k_3 增加趋势平缓。这是因为充满系数达到一定值时, 仅利用螺旋输送机叶片压缩物料, 输送效率提高不明显。

表 3 碎茎秆输送装置输送效率试验结果

Tab.3 Production efficiency of broken stem conveyer

作业速度/ ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	输送效率/($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)		修正系数	
	理论值	实际值	单次值	平均值
3	11.08	2.63	0.24	0.24
	11.08	2.64	0.24	
	11.08	2.75	0.25	
4	11.08	3.18	0.29	0.29
	11.08	3.16	0.29	
	11.08	3.12	0.28	
5	11.08	3.93	0.35	0.35
	11.08	3.93	0.35	
	11.08	3.75	0.34	
6	11.08	4.02	0.36	0.36
	11.08	3.92	0.35	
	11.08	4.15	0.37	

对 k_3 的平均值和机器作业速度进行回归分析,

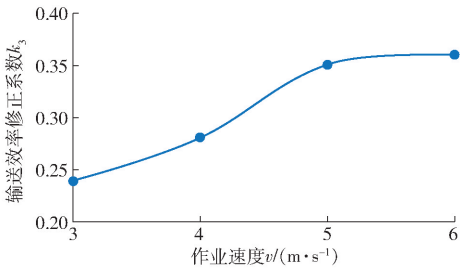


图 7 作业速度与输送效率修正系数关系曲线

Fig.7 Relationship curve of working speed and correction coefficient of conveying of broken stalk conveyor

得到

$$k_3 = -0.0075v^2 + 0.0805v + 0.1625 \quad (17)$$

决定系数 $R^2 = 0.959$, 表明回归方程预测值与实际值相关性高。

4 工程设计模型构建

通过田间试验数据可以看出, 作业速度的变化会引起茎秆喂入量的变化, 对茎秆切口夹角、茎秆切段长度、输送器的输送效率的影响明显, 因此, 茎秆切口夹角、茎秆切段长度、输送器的输送效率的工程设计模型在理论设计模型的基础上引入变量作业速度 v , 切碎与输送装置的设计参数更接近实际情况, 对于产品设计具有实际的指导意义。

茎秆切口夹角工程设计模型为

$$\cot\alpha_s = k_1 \cot\alpha_l = k_1 \frac{\Delta l}{d} = k_1 \frac{\pi\alpha_n R n_l}{180 n_q z d} = (0.0733v^3 - 0.59v^2 + 1.5867v - 0.46) \frac{\pi\alpha_n R n_l}{180 n_q z d} \quad (18)$$

茎秆切段长度工程设计模型为

$$l_{ss} = k_2 l_{ls} = (0.0075v^2 - 0.0025v + 1.3525) \cdot \left(\frac{2\pi n_l R}{n_q z} + d \cot\alpha_s \right) \quad (19)$$

碎茎秆输送装置输送效率工程设计模型为

$$Q_{ss} = k_3 Q_{sl} = (-0.0075v^2 + 0.0805v + 0.1625) \frac{\pi[(D_s - 2r_s)^2 - d_s^2]}{24} N_s P_s \rho \psi C \times 10^{-10} \quad (20)$$

5 结论

(1) 分析了切碎输送装置结构与工作原理, 通过理论分析建立了茎秆切口夹角、茎秆切段长度、碎茎秆输送机输送效率的关系式, 并计算出理论值。

(2) 当作业速度为 $3、4、5、6\text{ km/h}$ 时, 进行了田间试验, 测算得出了茎秆切口夹角、茎秆切段长度、碎茎秆输送机输送效率的实际值, 并分析了作业速

度与茎秆切口夹角、茎秆切段长度、碎茎秆输送器输送效率修正系数的关系,分别得出了回归模型。

送效率理论模型的基础上,引入变量作业速度 v ,得到工程设计模型,该模型可用于指导同类装置设计,

(3)在茎秆切口夹角、茎秆切段长度、输送器输

以减小理论计算模型的设计偏差。

参 考 文 献

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11): 1941–1959.
LI Shaokun, ZHAO Jiuran, DONG Shuting, et al. Advances and prospects of maize cultivation in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 1941–1959. (in Chinese)
- [2] 陈翠英,王新忠,何增富. 谷物联合收获机油菜收获割台的设计[J]. 农业机械学报,2003,34(5): 54–60.
CHEN Cuiying, WANG Xinzong, HE Zengfu. Design of header for rape harvesting using grain combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(5): 54–60. (in Chinese)
- [3] 李海同,万星宇,徐阳,等. 油菜收获机割台螺旋输送器间隙自适应调节机构研究[J]. 农业机械学报,2017,48(11): 115–122.
LI Haitong, WAN Xingyu, XU Yang, et al. Clearance adaptive adjusting mechanism for header screw conveyor of rape combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 115–122. (in Chinese)
- [4] 王兆凤,杨在宾,杨维仁,等. 不同收获期玉米植株剪切力及其饲料营养特性的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2012,43(1): 38–42.
WANG Zhaofeng, YANG Zaibin, YANG Weiren, et al. Shearing force and feed characteristics of maize plant in different harvest periods[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 2012, 43(1): 38–42. (in Chinese)
- [5] 郭颖杰,胡晓丽,刘庆福. 不同收获期玉米秸秆剪切力学性能的研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(21): 9133–9135.
GUO Yingjie, HU Xiaoli, LIU Qingfu. Study on shearing force of maize stalk at different harvesting time[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(21): 9133–9135. (in Chinese)
- [6] 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): 44–50.
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): 44–50. (in Chinese)
- [7] PHILIPPE S, ALAIN P L. Ash content and calorific energy of corn stover components in Eastern Canada[J]. Energies, 2015, 8(6): 4827–4838.
- [8] LIU Changqi, HUANG Yaji, WANG Xinye, et al. Emergy analysis for transportation fuels produced from corn stover in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 174: 213–225.
- [9] 农业部新闻办公室. 主要农作物全程机械化取得明显进展[EB/OL]. 2017–12–05. http://www.moa.gov.cn/ztlz/negzhy2017/pandian/201712/t20171219_6105958.htm, 2018–1–22.
- [10] 张银平,刁培松,杜瑞成,等. 穗茎兼收型玉米收获机茎秆切碎与输送装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2016,47(增刊): 208–214.
- [11] 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)
- [12] 张宗玲,韩增德,李晓栋,等. 玉米穗茎兼收割台切碎装置参数优化[J]. 农业机械学报,2018,49(增刊): 266–274.
ZHANG Zongling, HAN Zengde, LI Xiaodong, et al. Optimization of parameters for stalk chopper of corn harvester for reaping both corn stalk and spike[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 266–274. (in Chinese)
- [13] 张宗玲,韩增德,刘立晶,等. 玉米穗茎兼收割台夹持输送装置参数优化[J]. 农业机械学报,2018,49(3): 114–121.
ZHANG Zongling, HAN Zengde, LI Lijing, et al. Parameters optimization for gripping and delivering device of corn harvester for reaping both corn stalk and spike[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 114–121. (in Chinese)
- [14] 赵学林. 穗茎兼收型玉米收获机茎秆切碎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)
- [15] 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)
- [16] O'DOHERTY M J, GAL G E. Laboratory studies of the effect of blade parameters and stem configuration on the dynamics of cutting grass[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1991, 49: 99–111.
- [17] ZHANG Zongling, LI Shujun, HAN Zengde, et al. Design and test of a new type header of corn harvester for reaping both corn stalk and spike[C]//2017 ASABE Annual International Meeting, Washington, 2017.
- [18] O'DOHERTY M J. A review of research on forage chopping[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1982, 27(4): 267–289.
- [19] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 2007.
- [20] 刘谦文,杨有刚. 基于 ANSYS/LS_DYNA 的旋耕刀强度和功耗研究[J]. 中国农机化学报,2017, 38(6): 16–19.
LIU Qianwen, YANG Yougang. Research on strength and power consumption of rotary blade based on ANSYS/LS_DYNA[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(6): 16–19. (in Chinese)