

制种玉米父本整秆切除铺放机设计与试验

王锦江¹ 陈志² 杨学军¹ 刘赞东¹ 张铁¹ 董祥¹

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 中国农业机械工业协会, 北京 100083)

摘要: 为了提高制种玉米生产管理的机械化水平,设计了一种父本整秆切除铺放机,主要由切割机构、茎秆输送机构和液压传动系统等组成。切割机构采用斜向无支撑旋转切割方式,根据玉米植株被完全切断的条件,结合设计的一字型刀片结构参数,确定了刀片的旋转角速度,通过刀片的运动分析,验证了刀片结构的合理性;茎秆输送机构采用装有长、短夹齿的回转输送链和压杆相互配合的方式,通过对输送过程中茎秆受力和输送链运动分析,得出了茎秆被牢固夹持并有序输送时的相关技术参数;留茬高度调节由升降油缸驱动平行四边形机构实现,刀片和输送链由负载敏感液压系统传动实现。田间试验表明,设计的制种玉米父本整秆切除铺放机性能稳定、可靠,切断率为100%,铺放整齐率达95%,满足了机械化父本切除作业的要求。

关键词: 制种玉米; 父本; 整秆切除机

中图分类号: S224.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)02-0104-06

Design and Experiment on Seed Corn Whole Stalk Cutting – Placemting Machine of Staminate Plant

WANG Jinjiang¹ CHEN Zhi² YANG Xuejun¹ LIU Yundong¹ ZHANG Tie¹ DONG Xiang¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. China Association of Agricultural Machinery Manufacturers, Beijing 100083, China)

Abstract: The whole stalk cutting – placemting machine of staminate plant was designed to improve the mechanical level during the seed corn cultivation. The machine consisted of cutting mechanism, stalk conveying mechanism and hydraulic driving system. The cutting mechanism was featured with a supportless revolving cutting design with an inclination cutting angle. To fully cut the plant, the revolving angel velocity of blade was figured out by considering the parameter of flat blade. A blade kinematic study was conducted to work out the conditions that preventing omitting, and the reasonability of blade structure was proved. Stalk conveying mechanism was constituted of round conveying chain with long and short clamping device installed and compression bar. The test on stalk forcing and conveying kinematic analysis showed that the technical parameters were obtained while stalk could be steadily held and conveyed effectively. Stubble height can be adjusted by a parallelogram design driven by hydraulic cylinder. Blade and conveying chain were motivated by the load-sensing hydraulic system. Field experiment proved that the whole stalk cutting – placemting machine of staminate plant was reliable and highly efficient with a 100% cutting ratio and the orderliness ratio was higher than 95%, which sufficiently met the staminate plant cutting requirement.

Key words: seed corn; staminate plant; whole stalk cutting machine

引言

为了提高玉米杂交种的质量,根据农艺要求,在

母本授完粉后,必须砍除父本行^[1]。早割父本,有利于改善母本植株通风透光条件,从而提高母本产量^[2]。目前,我国制种玉米父本切除作业以人工为

收稿日期: 2016-06-24 修回日期: 2016-08-20

基金项目: 国家国际科技合作专项(2013DFA31560)和公益性行业(农业)科研专项(201203052)

作者简介: 王锦江(1980—),男,高级工程师,博士,主要从事农业机械设计及关键技术研究,E-mail: lazio320@163.com

通信作者: 陈志(1955—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化工程技术研究,E-mail: chenchi@sinomach.com

主,作业效率低,劳动强度大,作业环境恶劣,生产成本高;父本整秆切除铺放机作业效率高,用工量小,便于青饲料回收,随着现代玉米种业的发展,父本切除的机械化作业必将成为一种趋势。我国对父本整秆切除机研究较少,研究多集中于切除方式、传动系统等领域,而对整秆切除铺放机的设计研究鲜见报道^[1-3]。

本文针对制种玉米父本切除作业机械化水平低的现状,设计一种具有高效切割和茎秆输送功能的父本整秆切除铺放机,并通过田间试验,对整机作业质量进行分析。

1 整机结构与工作原理

设计的单行父本整秆切除铺放机主要由动力底盘(采用现代农装科技股份有限公司生产的3WZG-3000A型多功能底盘)、悬挂架、高度调节机构、切割装置、茎秆输送装置、分禾扶禾器、驱动马达等组成,如图1所示。

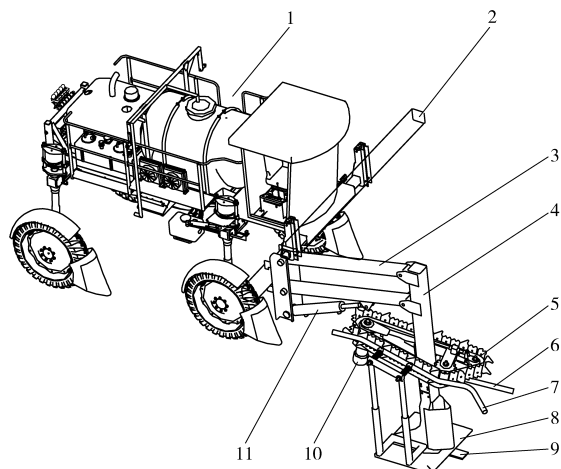


图1 父本整秆切除铺放机结构图

Fig.1 Structure diagram of whole stalk cutting - placing machine of staminate plant

1. 动力底盘 2. 悬挂架 3. 平行四边形机构 4. 机架 5. 茎秆输送机构 6. 分禾扶禾器 7. 压杆 8. 护罩 9. 切割刀片
10. 马达 11. 升降油缸

机具作业前,先根据父本行位置、留茬高度要求和玉米品种,调整切除铺放装置在悬挂架上的位置和茎秆输送装置在机架上的位置,并通过升降油缸调整留茬高度。机具作业时,动力底盘通过液压系统及控制单元将动力传递给切割刀片和茎秆输送装置的驱动马达,使其处于旋转(回转)状态;随着机具的前进,玉米植株在分禾扶禾器的作用下向中间聚拢,进入切割、夹持区域,玉米植株被切断后,在茎秆输送装置的作用下向机具正后方输送,最后随着压杆作用力的消失,与茎秆输送装置脱离,有序铺放在行间,完成父本整秆切除铺放的机械化作业。

2 关键部件设计

2.1 切割机构设计

考虑到制种玉米一般为一行父本配多行母本的种植模式,而且切割点靠近植株根部,为了简化结构,同时降低切割阻力和功率消耗,采用斜向无支撑旋转切割的方式。

2.1.1 刀片结构参数确定

刀片结构参数主要包括刀片型式、材料、厚度和刃角等^[4]。根据制种玉米种植行距,将刀片扫掠面积直径设计为500 mm;由于刀片扫掠面积较大,且只切割一行父本,因此采用结构简单的一字型刀片作为切割元件,刀片结构如图2所示;考虑到刀片作用于父本植株的根部,而玉米根部长有节根,参照甘蔗收获机矩形切刀的结构尺寸^[5],设计刀片长度 a 为493 mm、宽度 b 为85 mm,刀片厚度 δ 为4 mm,刃角 β 为 20° 、刃长 l 为90 mm;刀片材料参照JB/T 7862.2—2001标准选用65Mn制造,刀刃经淬火处理;同时为了使刀片正反面都可使用,将刀片四边开刃。

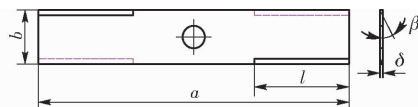


图2 刀片结构图

Fig.2 Structure diagram of blade

2.1.2 刀片倾角

为了实现斜向切割,将刀片倾斜安装在切割机构上,如图3所示。

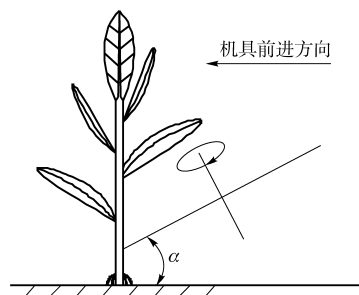


图3 刀片安装角度

Fig.3 Installation angle of blade

斜向切割比横向切割可降低切割阻力和功耗30%~40%,但倾角 α 过大会导致割茬高度和切割面积变大,相关研究表明, α 的取值范围一般为 $5^\circ \sim 15^\circ$,本文设计倾角为 10° ^[6-7]。

2.1.3 刀片运动分析

以刀片开始运动时的旋转中心 O 为坐标原点,机具前进方向为 x 轴,铅垂方向为 z 轴,建立直角坐标系^[8],如图4所示。

假设刀片从对称线在 xOy 面内投影与 y 轴重合

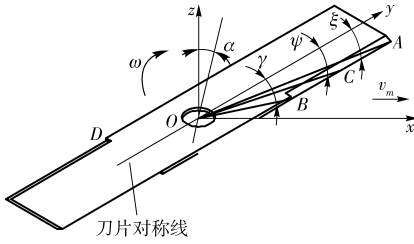


图4 刀片运动坐标系

Fig. 4 Kinematics coordinates of blade

的位置(图所示位置)开始转动,则刀刃上任一点 C 的运动方程为^[9-10]

$$\begin{cases} x = R_C \sin(\omega t + \psi) \cos \alpha + v_m t \\ y = R_C \cos(\omega t + \psi) \\ z = -R_C \sin(\omega t + \psi) \sin \alpha \end{cases} \quad (\xi \leq \psi \leq \gamma, R_B \leq R_C \leq R_A) \quad (1)$$

式中 R_A 、 R_B 、 R_C ——点 A 、 B 、 C 与刀片旋转中心的距离, m

ξ 、 γ 、 ψ ——点 A 、 B 、 C 与刀片旋转中心连接线与刀片对称线的夹角, rad

ω ——刀片旋转角速度, rad/s

v_m ——机具前进速度, m/s

t ——刀片转动时间, s

由式(1)可得,刃顶部点 A 第1次转动到 x 正半轴上时有

$$\begin{cases} x_A = R_A \cos \alpha + v_m t_1 \\ \omega t_1 + \xi = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中 x_A ——点 A 的 x 轴坐标值, m

t_1 ——点 A 的运动时间, s

刃根部点 D 第1次转动到 x 正半轴上时有

$$\begin{cases} x_D = R_B \cos \alpha + v_m t_2 \\ \omega t_2 + \gamma + \pi = \frac{5\pi}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中 x_D ——点 D 的 x 轴坐标值, m

t_2 ——点 D 的运动时间, s

当玉米植株不被漏切时,应满足条件^[11-12]

$$x_D - x_A \leq 0 \quad (4)$$

由式(2)~(4)可得

$$v_m \leq \frac{(R_A - R_B) \cos \alpha}{\pi - \gamma + \beta} \omega \quad (5)$$

从式(5)中可以看出,机具最大作业速度受刀片结构参数、刀片倾角和角速度的影响。同类研究表明,无支撑条件下玉米植株被完全切断时,回转刀片的线速度需达 30 m/s 以上^[12],本文设计刀刃根部线速度为 34 m/s,根据刀片相关参数和倾角计算得 $\omega = 210$ rad/s, $v_m \leq 5.98$ m/s。

由于父本切除作业发生在玉米生长的中后期,

为了减少机具对母本植株的损伤,机具前进速度一般小于 8 km/h。因此,在保证玉米被完全切断的前提下,所设计刀片不会产生漏切的现象。

2.2 茎秆输送机构设计

为了防止切断后的玉米植株杂乱无章倒在行间,影响母本的生长,设计了茎秆输送机构。考虑到茎秆输送距离较短而且植株株距较大,采用一条装有夹齿的回转链和压杆相互配合的方式实现夹持输送功能^[13-15]。该机构主要由固定架、输送链、压杆、长(短)夹齿、张紧装置、主(从)动轮等组成,如图5所示。

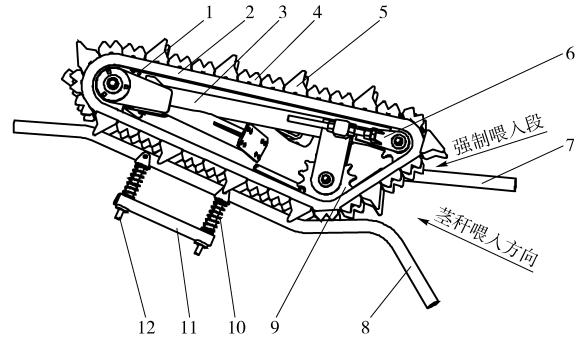


图5 茎秆输送机构结构图

Fig. 5 Structure diagram of stalk conveying mechanism

1. 主动轮 2. 输送链 3. 固定架 4. 短夹齿 5. 长夹齿 6. 张紧装置 7. 分禾扶禾器 8. 压杆 9. 从动轮 10. 压紧弹簧 11. 支撑座 12. 导向轴

图5中,在玉米茎秆的喂入口处,回转链与父本行呈一锐角,随着回转链的运动,茎秆被强制喂入,同时长夹齿起到把茎秆向后拨送的作用;为了减少链条的颤动,防止茎秆脱落,采用 ISO 20A 型带附件的输送链,用于长(短)夹齿的固定和茎秆的输送。

2.2.1 三点夹持机构

为了提高输送机构的夹持能力,将夹齿设计为 U 型结构,端面为直锯齿形(齿顶部圆弧过渡),压杆作用于夹齿的中央,形成三点夹持模式^[5,16],如图6所示。

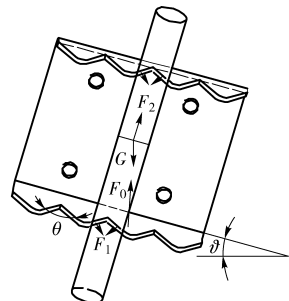


图6 茎秆夹持受力分析图

Fig. 6 Force analysis diagram of stalk clamping

假设茎秆被夹持时各接触面对茎秆的支反力相等(即忽略茎秆重力对支反力的影响),则茎秆不脱

落的条件为

$$\begin{cases} G\cos\vartheta = 4\mu F_1 + F_2 \\ F_1 = \frac{1}{4}F_0\sec\frac{\theta}{2} = \frac{1}{4}kx\sec\frac{\theta}{2} \end{cases} \quad (6)$$

式中 G ——茎秆重力, N

ϑ ——输送机构提升角, ($^\circ$)

μ ——茎秆与夹齿间摩擦因数

F_1 ——接触面对茎秆的支反力, N

F_2 ——茎秆附带叶片形成的支撑力, N

F_0 ——压杆正压力, N

θ ——锯齿夹角, ($^\circ$)

k ——弹簧刚度, N/mm

x ——弹簧变形量, mm

由式(6)可以看出,影响茎秆夹持的因素有压杆正压力、茎秆附带叶片形成的支撑力、茎秆自身重力、夹齿结构以及输送机构倾角等;当输送机构参数、茎秆及夹持位置等参数确定后,弹簧刚度成为最重要的影响因素。

齿形以增大输送能力和齿部不钩茎秆为原则,参考半喂入谷物联合收获机输送链的结构参数^[5],并结合玉米茎秆直径设计锯齿夹角 θ 为 92° 。将长度相等、刚度不同的弹簧分别安装在茎秆输送机构上,并使弹簧初始变形量保持一致,然后把父本植株夹装在茎秆输送机构上(夹持位置约植株高度的 $1/3$ 处),观察父本植株是否脱落,结果表明 $k \geq 1.392$ N/mm时,父本植株能被牢固夹装在茎秆输送机构上,为了提高茎秆在输送机构前端的喂入性能,弹簧刚度也不宜过大,本文 k 取 1.392 N/mm。

2.2.2 输送机构提升角与回转线速度

为了避免切断后的茎秆根部与护罩等机构碰撞,根据整机的结构参数,设计提升角 ϑ 为 15° ,如图7所示。

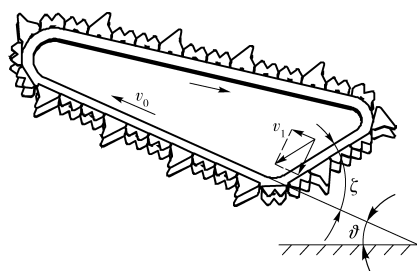


图7 输送链提升角及运动示意图

Fig.7 Diagram of lifting angle and kinematics for conveying chain

玉米茎秆连续喂入,不发生堵塞,实现有序输送的条件为

$$v_0\cos\zeta\cos\vartheta \geq v_m \quad (7)$$

式中 v_0 ——输送链回转线速度, m/s

ζ ——强制喂入角, ($^\circ$)

参照玉米收获机分禾器的锥角参数^[17],设计强制喂入角范围为 $25^\circ \sim 45^\circ$ (角度通过图5中的张紧装置调节),当强制喂入角取 45° 、机具前进速度 v_m 取极大值 8 km/h时,由式(7)计算得 $v_0 \geq 3.25$ m/s,本文设计 v_0 为 3.4 m/s。

2.3 传动系统设计

父本整秆切除铺放机传动系统中的动力源及控制均来自多功能底盘,执行机构包含1个刀片驱动马达和1个输送链驱动马达,考虑整机结构和传动系统布置,采用两个马达串联的方式进行驱动。为了获得稳定的切割速度和茎秆输送速度,减少底盘发动机输出转速和负载工况变化对上述速度的影响,传动系统采用负载敏感技术^[18-20],其原理如图8所示,主要由变量泵、主阀、电磁换向阀、马达等组成,部分液压元件的选型及技术参数见表1。

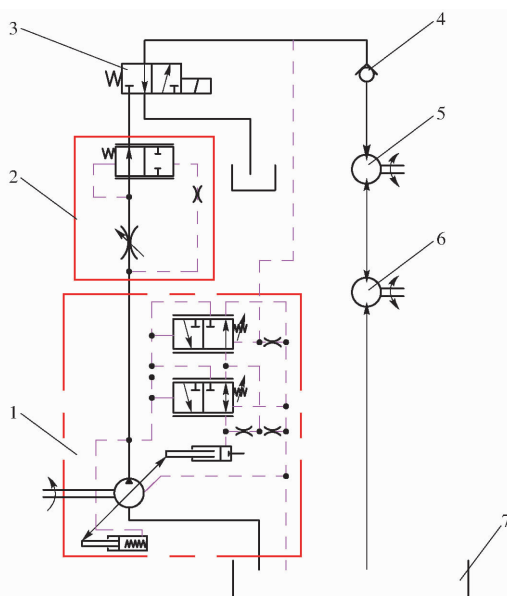


图8 刀片、输送链驱动液压原理图

Fig.8 Diagram of hydraulic system of blade and conveying chain driving

1. 变量泵 2. 主阀 3. 电磁换向阀 4. 单向阀 5. 刀片驱动马达 6. 输送链驱动马达 7. 油箱

表1 液压元件技术参数

Tab.1 Parameters of hydraulic components

名称	型号	主要技术参数
变量泵	MA10VO45DFR	排量:45 mL/r;额定压力:28 MPa;负载敏感控制
电磁阀	4WE6C6	最大流量:80 L/min;最高工作压力:31.5 MPa;电压:DC 24 V
马达(刀片)	2ZGMA0R14	排量:14 mL/r;转速范围:500 ~ 4 000 r/min;额定压力:25 MPa
马达(输送链)	JS-100	排量:100 mL/r;最大转速510 r/min;工作压力:13.8 MPa

3 试验

3.1 试验条件

为考察父本整秆切除铺放机的作业质量,于2015年8月在河北省保定市中国农业机械化科学研究院试验地进行了整机田间试验。父本品种为PH4CV和丹M9-2,种植株距22 cm,生长期12周。

3.2 试验指标

父本整秆切除铺放机的性能指标主要包括切除率和铺放整齐率等。

切除率计算公式为

$$Q = \frac{N_1}{N_0} \times 100\% \quad (8)$$

式中 Q ——切除率, %

N_0 ——父本株数, 株

N_1 ——成功切除的父本株数, 株

铺放整齐率计算公式为

$$Z = \frac{N_2}{N_1} \times 100\% \quad (9)$$

式中 Z ——整齐率, %

N_2 ——整齐铺放的父本株数(将倒在母本行中或倚靠在母本植株上的玉米植株记为不整齐,其余为整齐), 株

3.3 试验方法

试验时,调整留茬高度为150 mm,机具分别在前进速度为5、6、7、8 km/h的工况下对两品种父本进行切除试验;试验后,在每种工况下的父本行内取5个区域,每个区域包含60株玉米(连续),观察并记录试验结果,将记录的结果求和。田间作业情况及作业效果如图9、10所示。



图9 田间父本切除作业

Fig.9 Field experiment of staminate plant cutting

3.4 试验结果与分析

田间父本整秆切除铺放试验统计结果如表2、3所示。

从表2、3中可以看出,机具前进速度在5~8 km/h范围内,两种父本植株的切断率都达到100%,铺放整齐率达到95%以上,两项指标均能满足相应的技术要求。



图10 父本切除铺放作业效果

Fig.10 Effect of staminate plant cutting - placement

表2 试验统计结果(PH4CV)

Tab.2 Statistical result of cutting - placement experiment (PH4CV)

参数	机具前进速度/(km·h ⁻¹)			
	5	6	7	8
父本数/株	300	300	300	300
被切除的父本数/株	300	300	300	300
整齐铺放的父本数/株	289	291	286	290
切断率/%	100	100	100	100
整齐率/%	96.3	97.0	95.3	96.7

表3 试验统计结果(丹M9-2)

Tab.3 Statistical result of cutting - placement experiment (Dan M9-2)

参数	机具前进速度/(km·h ⁻¹)			
	5	6	7	8
父本数/株	300	300	300	300
被切除的父本数/株	300	300	300	300
整齐铺放的父本数/株	286	293	288	289
切断率/%	100	100	100	100
整齐率/%	95.3	97.7	96.0	96.3

田间作业过程中,父本整秆切除铺放机工作稳定,留茬高度和茎秆夹持位置可根据实际情况进行调节,条铺的茎秆可作为青贮饲料回收或待玉米种穗收获后进行还田处理,能够满足父本机械化切除作业的要求。为了提高生产效率,该机具还可扩展为多行作业机型。

4 结论

(1)设计了一种制种玉米父本整秆切除铺放机,采用斜向无支撑旋转方式进行切割,采用装有长、短夹齿的回转输送链和压杆相互配合的方式进行茎秆输送,采用液压系统进行动力传递。

(2)设计了一种切割刀片,设置了其倾角参数,根据玉米植株被完全切断的条件,确定了刀片旋转角速度为210 rad/s,通过对切除过程中刀片的运动分析,验证了刀片结构参数的合理性。

(3)设计了链式茎秆输送机构,通过对输送过程中茎秆受力和输送链运动分析,确定了输送机构

的主要技术参数为:弹簧刚度 1.392 N/mm,锯齿夹角 92°,提升角 15°,输送链回转线速度 3.4 m/s。切除铺放机工作稳定,切断率为 100%,铺放整齐率达 95% 以上,能够满足机械化父本切除作业的要求。

(4)田间试验表明,设计的制种玉米父本整秆

参 考 文 献

- 1 甘肃农牧厅.制种玉米栽培技术[M].兰州:甘肃科学技术出版社,2015.
- 2 高连军,何文平,张伯东.玉米制种田割除父本对母本产量的影响[J].种子世界,2002(3):29.
- 3 王瑞锋,张军,白伟学,等.制种玉米父本秸秆还田机的研制及应用前景[J].新疆农机化,2015(3):11-12.
- 4 金鑫,杜新武,王世光,等.胡萝卜收获机根茎分离装置设计与试验[J/OL].农业机械学报,2016,47(3):82-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160312&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.012.
- JIN Xin, DU Xinwu, WANG Shiguang, et al. Design and experiment of stems cutting device for carrot harvester [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(3):82-89. (in Chinese)
- 5 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:中国农业科学技术出版社,2007.
- 6 杨坚,梁兆新,莫建霖,等.甘蔗切割器切割质量影响因素的试验研究[J].农业工程学报,2005,21(5):60-63.
- YANG Jian, LIANG Zhaoxin, MO Jianlin, et al. Experiment research on factors affecting the cutting quality of sugarcane cutter [J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(5):60-63. (in Chinese)
- 7 滕绍民.自走式青饲收割机不分行割台切割机理的研究[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2004.
- 8 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等.甘蔗收割机单圆盘根切器虚拟样机研究[J].农业机械学报,2007,38(8):78-81.
- LIU Qingting, OU Yinggang, QING Shangle, et al. Virtual prototype study on single disc basecutter of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):78-81. (in Chinese)
- 9 卿上乐,区颖刚,刘庆庭.甘蔗收割机单圆盘切割器运动学分析[J].农业机械学报,2006,37(1):51-54.
- QING Shangle, OU Yinggang, LIU Qingting. Kinematics of single disc basecutter of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(1):51-54. (in Chinese)
- 10 ODUORI M F, SAKAI J, GUPTA C P. Kinematics of revolving-knife disc-type sugarcane basecutter [J]. AMA, 1992,23(4):9-15.
- 11 万霖,车刚,汪春,等.4QZR-30型青贮饲料收获机设计与试验[J].农业机械学报,2008,39(3):187-190.
- WAN Lin, CHE Gang, WANG Chun, et al. Design and experiment of 4QZR-30 silage harvester machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(3):187-190. (in Chinese)
- 12 冯佐龙.4QZ-12型青饲料收获机关键部件的研究[D].保定:河北农业大学,2008.
- 13 胡志超,王海鸥,王建楠,等.4HLB-2型半喂入花生联合收获机试验[J].农业机械学报,2010,41(4):79-84.
- HU Zhichao, WANG Haiou, WANG Jiannan, et al. Experiment on 4HLB-2 type half feed peanut combine harvest [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):79-84. (in Chinese)
- 14 于昭洋,胡志超,王海鸥,等.大蒜果秧分离试验装置的设计与测试[J].农业工程学报,2013,29(16):7-9.
- YU Zhaoyang, HU Zhichao, WANG Haiou, et al. Design and testing of head-stem segregation equipment for garlic [J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(16):7-9. (in Chinese)
- 15 王家胜,尚书旗.自走式双行胡萝卜联合收获机的研制及试验[J].农业工程学报,2012,28(12):38-43.
- WANG Jiasheng, SHANG Shuqi. Development and experiment of double-row self-propelled carrots combine [J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(12):38-43. (in Chinese)
- 16 杨然兵,尚书旗.花生联合收获机柔性夹持装置设计与试验[J].农业机械学报,2010,41(8):67-70.
- YANG Ranbing, SHANG Shuqi. Design and test analysis of peanut combine flexible clamping device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):67-70. (in Chinese)
- 17 陈志.玉米全价值收获关键技术与装备[M].北京:科学出版社,2014.
- 18 黄虎,陈光柱,蒋成林.全液压钻机负载敏感液压系统设计及仿真分析[J].液压与气动,2015(3):71-74.
- HUANG Hu, CHEN Guangzhu, JIANG Chenglin. The design and simulation of load sensing hydraulic system in fully hydraulic driver drill [J]. Chinese Hydraulic & Pneumatics, 2015(3):71-74. (in Chinese)
- 19 景俊华.负载敏感系统的原理及其应用[J].流体传动与控制,2010,43(6):21-23.
- JING Junhua. Principle and applications of load-sensing system [J]. Fluid Power Transmission and Control, 2010,43(6):21-23. (in Chinese)
- 20 黄新年,张志生,陈忠强.负载敏感技术在液压系统中的应用[J].流体传动与控制,2007,24(5):28-30.
- HUANG Xinnian, ZHANG Zhisheng, CHEN Zhongqiang. Application of load sensing technique in hydraulic systems [J]. Fluid Power Transmission and Control, 2007,24(5):28-30. (in Chinese)