

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.017

摘穗与秸秆粉碎复式作业机构设计与试验*

崔涛 刘佳 张东兴 杨丽
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】设计了一种摘穗与秸秆粉碎复式作业机构。该机构主要由摘穗板、一对拉茎辊和一个切割刀辊组成。拉茎辊带有凸棱,凸棱上按一定间隔设有开口,切割刀辊上装有缺口圆盘刀片,刀片与拉茎辊凸棱的开口配合,茎秆下拉时,切割刀辊将茎秆切碎,一套机构实现摘穗和秸秆切碎2个功能。建立了茎秆下拉运动方程,分析了茎秆在机构间的运动规律,理论上证明了茎秆下拉的运动轨迹具有较好的直线度。初步试验表明,该机构的摘穗效果良好,籽粒损伤率和果穗损失率低、茎秆折断减少,功耗是摘穗机构与秸秆切碎机构分置时的35%,节能效果显著。

关键词: 板式摘穗 秸秆粉碎 复式作业机构 设计 试验
中图分类号: S225.51 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)10-0095-06

Design and Experiment of Cob-picking and Stalk-chopping United Mechanism

Cui Tao Liu Jia Zhang Dongxing Yang Li
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

A corn cob-picking mechanism with stalk-chopping function was designed. It consists of a cob-picking plate, a pair of stem pull-rollers with rib and a cutting knife roller. Two functions can be achieved by the one mechanism. The corn stalk was chopped by the cutout disk which through the space of pull-roller units when it was being pull down by the two stem pull-rollers. The corn stalks' characteristics of motion in the mechanism were analyzed by a model of motion process. It was found that the motion trail of the corn stalk in the pull-rollers has quite good straightness. And the test results showed that the seed damage, shattering loss and corn stalk broken were decreased a lot by using this mechanism. The cob-picking were nicely achieved when the stalk were chopped. Remarkable power consumption reduced revealed by the 35% lesser average power consumption compared with traditional way.

Key words Panel corn harvesting mechanism, Stalk chopping, United mechanism, Design, Experiment

引言

目前玉米收获机的摘穗机构多为卧辊式和板式^[1]。卧辊式摘穗机构由于果穗与摘穗辊接触时间较长,摘穗辊会对果穗冲击、挤压和摩擦,虽然有一定的剥除苞叶作用,但增大了果穗籽粒损伤和落

粒损失;板式摘穗机构中摘穗板相对果穗静止,果穗损伤小、掉粒和籽粒破碎现象较轻,但易出现茎秆拉断和碎叶夹在果穗中的现象^[2~6]。

玉米秸秆粉碎也是收获过程的一个重要工序。当前,玉米收获机多是在中部或后部加上秸秆粉碎装置,粉碎部件多为锤爪和甩刀,秸秆粉碎方式以击

收稿日期: 2012-05-21 修回日期: 2012-07-09
* 玉米机械化生产工艺与装备系统优化研究与示范项目(200903059)、国家现代玉米产业技术体系建设项目(CARS-02)和农业部土壤—机器—植物系统技术重点实验室资助项目
作者简介: 崔涛, 博士生, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究, E-mail: cuitao850919@163.com
通讯作者: 杨丽, 副教授, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究, E-mail: yl_hb68@126.com

碎和撕裂为主,功耗较大,时常出现整机功率不足的问题^[7-9]。收获作业时割台将玉米秸秆推倒或倾斜,在轮胎正前方的秸秆会被碾压进土壤,难以被锤爪和甩刀粉碎,造成整株残留,影响后续作业。

为了降低秸秆粉碎的能耗并提高秸秆粉碎质量,以板式摘穗机构为基础,本文设计一种复式摘穗机构,在玉米摘穗的同时进行秸秆粉碎。

1 机构组成与工作原理

如图 1a 所示,传统的板式摘穗机构中,有一对相对转动的拉茎辊,其圆周带有 6 条或 4 条纵向凸棱,从拉茎辊前端一直延伸至末端,茎秆被其夹持、下拉,果穗经过摘穗板时被强制分离,即完成摘穗过程。

设计的摘穗粉碎复式作业机构如图 1b、1c 所示,由一对拉茎辊和一个切割刀辊组成。为了秸秆的顺利喂入,三辊成“品”字形交错排列。拉茎辊的凸棱按一定间隔设有开口,切割刀辊上装有缺口圆盘刀片,刀片与拉茎辊凸棱的开口相配合。

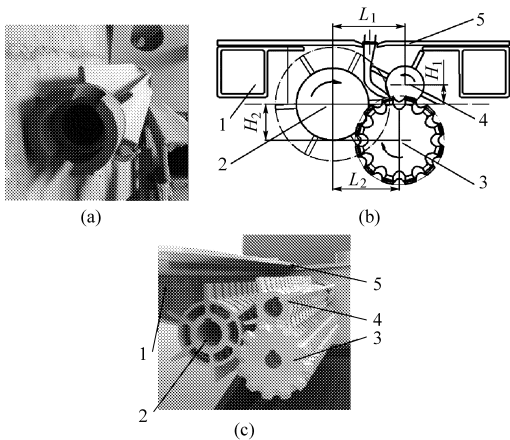


图 1 机构示意图
Fig. 1 Structure of mechanism
(a) 传统拉茎辊 (b) 结构简图 (c) 局部三维视图
1. 机架 2. 拉茎辊 1 3. 缺口圆盘切割刀辊 4. 拉茎辊 2 5. 摘穗板

作业时,玉米植株被拨禾链和螺旋锥导入拉茎辊 1、2 之间,随着拉茎辊的旋转,秸秆在凸棱的夹持下向下运动,果穗则被摘穗板阻挡而与秸秆分离。下拉的秸秆与高速旋转的缺口圆盘刀片接触,在拉茎辊凸棱支撑下被切碎还田。

2 参数设计

2.1 设计依据

随机选取 50 株成熟期玉米植株测量其形态特征(表 1),作为确定机构参数的依据。

2.2 配置参数

如图 1 所示,考虑割台整体结构和传动的需要,拉茎辊 2 轴线与拉茎辊 1 轴线间的水平距离 L_1 为

100 mm,竖直方向距离 H_1 为 32 mm,切割刀辊轴线与拉茎辊 1 轴线水平距离 L_2 为 95.8 mm,竖直方向距离 H_2 为 42.9 mm。

表 1 植株参数
Tab. 1 Plant parameters

参数	平均值	标准偏差
植株高度 L/cm	254.7	20.8
结穗高度/cm	105.0	18.3
植株穗下直径 D/mm	23.9	1.8
果穗大端直径/mm	50.1	2.7

2.3 拉茎辊直径

拉茎辊直径和圆周速度应与收获机作业速度相匹配^[10]。玉米种植密度一般为 60 000 株/hm²,行距在 0.6 m 时,株距 S 为 277.8 mm。取收获机作业速度 v 为 1.25 m/s,则单位时间每一行收获的植株数 $N = v/S$,每一株植株的作业时间 $t = 1/N$ 。由表 1 可知收获期玉米植株高度 L 为 (254.7 ± 20.8) cm。在不考虑茎秆在辊间滑移的情况下,茎秆的下拉速度应等于拉茎辊凸棱边缘的线速度 v_1 ,因此拉茎辊 1 的直径为

$$d_1 = \frac{2v_1}{\omega} \tag{1}$$

其中
$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{2}$$

式中 ω ——拉茎辊角速度,rad/s
 n ——拉茎辊转速,取 $n = 750$ r/min

由此,得到 $d_1 = 0.294$ m。考虑拉茎辊工作长度、茎秆在辊间的滑移,选取拉茎辊 1 凸棱边缘直径 d_1 为 150 mm。为提高拉茎效率,采用六棱拉茎辊。拉茎辊 2 凸棱边缘直径 d_2 为 100 mm,采用四棱拉茎辊,两者之间差速运行。

2.4 摘穗板间距

由表 1 得到玉米收获期的植株穗下直径 D 为 (23.9 ± 1.8) mm,摘穗板间距初步设定为 20 mm,间距中心线与拉茎辊 1、拉茎辊 2 轴心在水平方向上投影的中心线重合,间距可调。

2.5 切割圆盘刀

考虑到切割边缘的圆周滑切运动,切割刀片为圆盘刀,高焕文等研究表明缺口圆盘刀的功率消耗小于平圆盘刀,当圆周速度大于 7.4 m/s 时,缺口圆盘刀秸秆切断率和根茬切断率达到 97%^[11-16]。由拉茎辊轴及结构布置方式,确定圆盘刀直径为 117 mm。

为得到试验台较佳的工作状态,缩小试验范围,先进行以拉茎辊转速、摘穗板间隙为变量的预试验。试验发现在摘穗辊转速 750 r/min 时,收获损失最

小,摘穗效果较好,确定三辊之间传动齿轮齿数比为 42:28:22。由传动关系可得缺口圆盘切割刀轴的转速为 1 432 r/min。

根据缺口圆盘的边缘直径计算得出缺口圆盘切割刀边缘的线速度为

$$v_p = \frac{n_p \pi D}{60}$$

(3)

由式(3)得到 $v_p = 8.77$ m/s,大于文献[14]中的 7.4 m/s,满足对秸秆的切割要求。

3 茎秆在下拉辊间的运动轨迹

3.1 拉茎辊作用过程

玉米植株在拉茎辊凸棱的交替作用下向下运

动,为了避免拉茎辊凸棱因茎秆过度挤压和弯折造成茎秆折断,对茎秆在机构中的运动轨迹进行建模分析。由于切割刀辊对茎秆有切割效果,茎秆在缺口圆盘刀外缘轮廓圆以下的部分已经完成切割还田作业,对上部茎秆的下拉过程没有影响,因此茎秆下拉模型分析中不同工作过程的临界状态分别为凸棱接触茎秆和凸棱运动到与切割圆盘刀外缘相切。

拉茎辊凸棱周期性作用于茎秆,假设拉茎辊 1 的运动周期为 1 s,茎秆直径为 25 mm,自由状态下茎秆的中心线与摘穗板间距的中心线重合。以拉茎辊 1 的中心为坐标原点(0,0)建立坐标系,按照时间顺序描述凸棱对茎秆的作用过程,如图 2 所示。

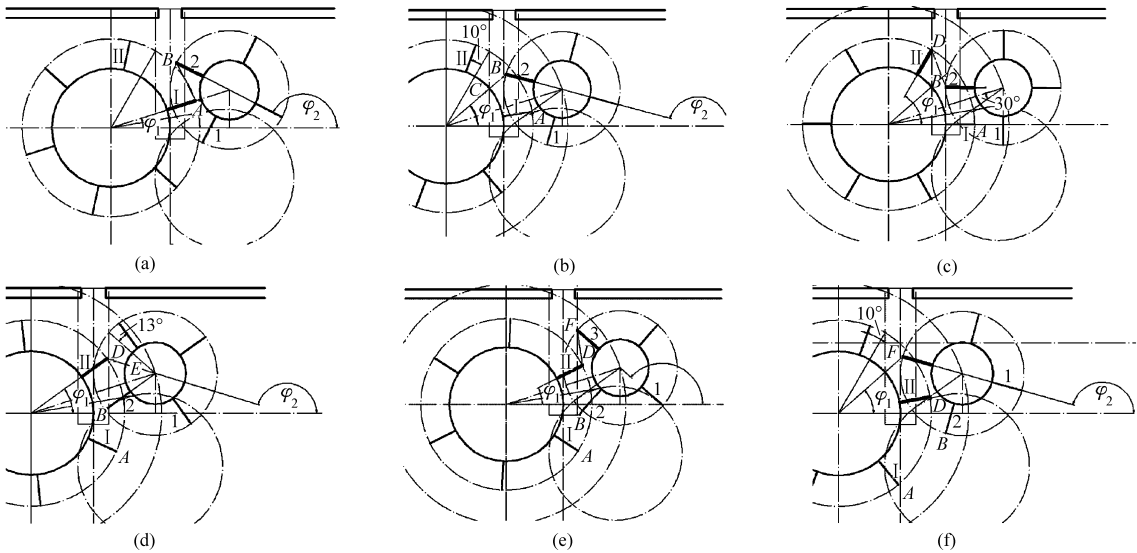


图 2 拉茎辊工作时序过程
Fig. 2 Process of work timing of stalking roller

图 2 中给出了凸棱工作状态改变的 6 个工作时刻,拉茎辊对茎秆的作用是上述状态的有限次重复。以图 2a 所示状态作为起始状态,图 2b~2f 是拉茎状态发生改变的临界位置。其中图 2f 所示的工作状态是图 2a 状态的重复,因此按照前 5 个状态对茎秆状态进行分析。

3.2 茎秆轨迹分析

在圆周运动中,一点的运动轨迹为

$$\begin{cases} x = a + r\cos(\omega t + \varphi) \\ y = b + r\sin(\omega t + \varphi) \end{cases} \quad (t \in (t_1, t_2)) \quad (4)$$

式中 x, y ——圆周运动目标点横、纵坐标
 a, b ——圆周运动原点坐标
 r ——圆周运动半径
 t ——圆周运动瞬时时刻
 φ ——圆周运动目标点初始相位
 t_1, t_2 ——圆周运动起、止运动时刻

辊 2 的中心连线重合,拉茎辊 2 的两条凸棱 1 和 2 对称分布在中心连线两侧,定义此时为时间零点。凸棱 I 旋转 8°后将先一步到达临界点,与切割圆外轮廓线相切,时间区间为 $t \in (0, \frac{8}{360})$ 。

用凸棱顶点连线中点来定义此时秸秆轴线上的一点,随着拉茎辊 1 和拉茎辊 2 的旋转,得出秸秆的下拉轨迹方程。

凸棱 I 顶点 A 的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x_{a1} = 75\cos\left(\frac{18\pi}{180} - 2\pi t\right) \\ y_{a1} = 75\sin\left(\frac{18\pi}{180} - 2\pi t\right) \end{cases} \quad \left(t \in \left(0, \frac{8}{360}\right)\right) \quad (5)$$

凸棱 2 顶点 B 的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x_{a2} = 100 + 50\cos\left(\frac{153\pi}{180} + 3\pi t\right) \\ y_{a2} = 32 + 50\sin\left(\frac{153\pi}{180} + 3\pi t\right) \end{cases} \quad \left(t \in \left(0, \frac{8}{360}\right)\right) \quad (6)$$

图 2a 中拉茎辊 1 的凸棱 I 与拉茎辊 1 与拉茎

秸秆运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x_a = \frac{x_{a1} + x_{a2}}{2} \\ y_a = \frac{y_{a1} + y_{a2}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

通过对图 2 其他图像的分析,得到每一个状态中的秸秆运动轨迹方程。在 Matlab 中进行计算^[17],得出秸秆在 5 个时序中的运动轨迹如图 3 所示。

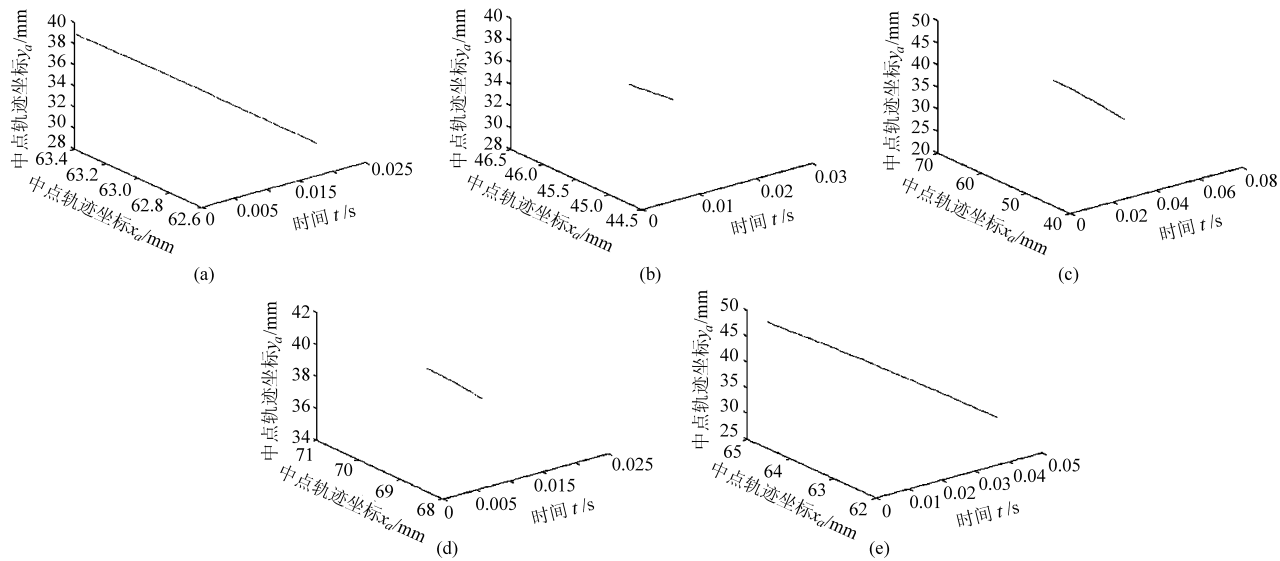


图 3 辊间秸秆轨迹
Fig. 3 Stem track between rollers

由图 3 可以看出,秸秆下拉轨迹具有良好的直线度,无秸秆弯曲现象,有利于避免较大弯折造成的秸秆折断。模型的建立有效地阐述了拉茎辊周期性回转作用下秸秆的下拉规律。

3.3 切割刀辊秸秆粉碎

拉茎辊下秸秆被切割时,如图 4 秸秆 a 所示状态,此时秸秆切割过程相当于轮刀式切碎装置,此时秸秆理论切碎长度为

$$l_t = \frac{6 \times 10^4 v_z}{n_1 Z \sin \alpha} \quad (8)$$

其中 $v_z = v_s + v_c$ (9)

式中 v_z ——喂入速度, m/s α ——割台倾角
 v_s ——拉茎辊速度, m/s
 v_c ——拨禾链速度, m/s
 n_1 ——切割刀辊转速, r/min

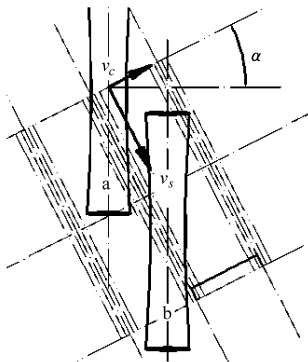


图 4 秸秆粉碎
Fig. 4 Stalk chopping

Z ——刀片数目, 缺口圆盘中 $Z = 12$

如图 4 秸秆 b 所示,当相邻圆盘刀同时切割秸秆时,中部秸秆理论长度为

$$l'_t = \frac{d}{\sin \alpha} \quad (10)$$

式中 d ——拉茎辊单元距离

4 摘穗粉碎效果试验

4.1 试验设备和材料

试验台架主要由机架、调速电动机和扭矩转速传感器等构成。调速电动机通过万向节与扭矩转速传感器连接,再通过万向节连接到试验台主轴,驱动机构工作。

为了使室内试验与田间试验情况尽量一致,室内试验随机选取田间试验地块的植株安排试验。田间试验采用实验室农机参数遥测系统进行测试。由于收获机机构限制,分开测量摘穗割台和秸秆还田机功耗。试验于 2011 年 11 月在天津市武清区徐官屯进行。

4.2 试验结果

4.2.1 摘穗、粉碎效果测定

室内试验选取摘穗板间距为 20 mm,主轴转速 750 r/min,随机选取 32 根玉米植株连续喂入,取收获速度 1 m/s 时植株喂入速度 4 棵/s。果穗损失率、籽粒损失率、籽粒损伤率为零,较多果穗含有苞叶;对切碎后的秸秆进行取样称量^[18-19],秸秆粉碎

长度小于 50 mm 的部分占秸秆总质量的 27% , 秸秆粉碎长度大于 50 mm 小于 100 mm 的部分占秸秆总质量的 53% , 部分秸秆长度超过 120 mm。

4.2.2 功耗影响测定

对设计机构和对比收获机的功率消耗进行实时测量,结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出,新机构与对照的前置摘穗、后置秸秆粉碎还田机构相比功耗显著降低,仅需后者 35% 的消耗即可完成作业。

4.3 试验结果分析

设计机构能够完成摘穗、粉碎作业,降低整机作业功耗。摘穗效果较好,符合国家标准;秸秆还田效果由于机构单元轴向垂直方向间隙略大,造成部分秸秆泄漏。

5 结论

(1) 设计的摘穗与秸秆粉碎复式作业机构能够在摘穗的同时完成秸秆粉碎作业,籽粒损伤率和果穗损失率低,摘穗效果良好。

(2) 茎秆在拉茎辊和刀辊间的运动轨迹具有较好的直线度,茎秆在运行过程中不会发生较大弯曲,能有效避免因秸秆折断造成含杂率高的问题。

(3) 三辊的设计将下拉摘穗和秸秆粉碎过程相

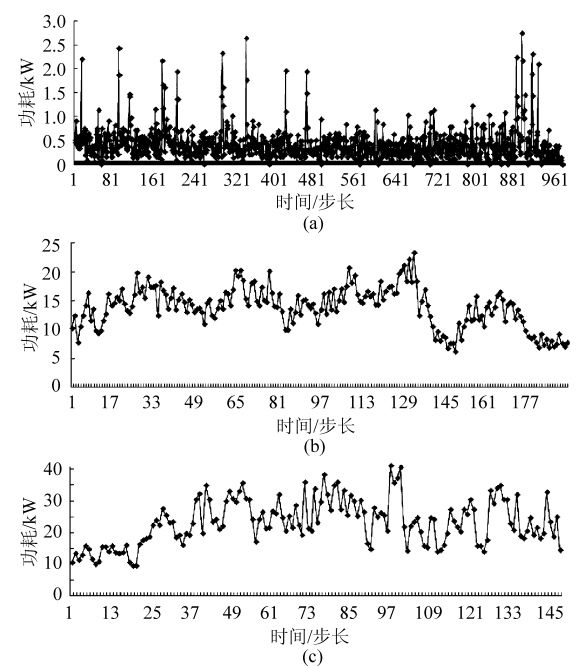


图 5 功率消耗影响

Fig. 5 Influence of power consumption
(a) 复式机构(单行) (b) 传统辊式收获机构(4 行)
(c) 常用甩刀式还田机(4 行)

结合,有效地简化了整机结构,降低了整机质量。与传统机构相比,能显著降低摘穗与粉碎作业功耗,降低了玉米收获机整体动力需求,达到节能降耗的目的。

参 考 文 献

- 贺俊林,佟金,胡伟,等. 辊型和作业速度对玉米收获机摘穗性能的影响[J]. 农业机械学报,2006,37(3):46~49.
He Junlin,Tong Jin,Hu Wei, et al. Influence of snapping roll type and harvesting speed on 4YW-Q corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006,37(3): 46~49. (in Chinese)
- 贺俊林,佟金. 我国玉米收获机械的现状与发展[J]. 农机化研究,2006,28(2):29~31,36.
He Junlin,Tong Jin. Situation of corn-harvesting mechanization and suggestions for its developing in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2006,28(2):29~31,36. (in Chinese)
- 籍俊杰,刘焕新,郝金魁,等. 国内外玉米收获机械发展综述[J]. 当代农机,2006(4):18~21.
- 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,2007,29(10):206~208.
Hao Fuping,Chen Zhi. Actuality of domestic and foreign corn harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007,29(10):206~208. (in Chinese)
- 闫洪余,陈晓光,吴文福. 玉米收获机械分类解析[J]. 农机化研究,2007,29(10):213~215.
Yan Hongyu, Chen Xiaoguang, Wu Wenfu. Analysis on corn harvesters classification [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007,29(10):213~215. (in Chinese)
- 范国昌,王惠新,籍俊杰,等. 影响玉米摘穗过程中籽粒破碎和籽粒损失率的因素分析[J]. 农业工程学报,2002,18(4):72~74.
Fan Guochang,Wang Huixin, Ji Junjie, et al. Analysis of influence factor on seed damage rate and loss rate in harvesting corn [J]. Transactions of the CSAE,2002,18(4):72~74. (in Chinese)
- 张文儒,郭玉福. 对玉米收获机械发展几个问题的分析[J]. 农业机械,2000(7):38
- 程军. 对玉米收获机械几个问题的分析[J]. 江苏农机化,2007(3):27.
- 刘声春,张道林,张继磊,等. 我国玉米收获机研制现状及发展展望[J]. 农机化研究,2009,31(11):241~242,246.
Liu Shengchun,Zhang Daolin, Zhang Jilei, et al. Research situation and development trend of domestic corn harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009,31(11):241~242,246. (in Chinese)
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 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,2005,31(5):

18~21.

Geng Lingxin, Shi Qingxiang, Liu Shiduo, et al. Impact of corn millstone's structure and motion parameters on crushing capability[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2005, 31(5): 18~21. (in Chinese)

- 12 张红霞, 刘师多, 师清翔, 等. 玉米秸秆粉碎刀具和刀速对粉碎功耗和质量的影响[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2003, 24(2): 1~4.
Zhang Hongxia, Liu Shiduo, Shi Qingxiang, et al. Influence of macerator's blades disposal and rotatory speed on power consumption and smashing quality of cornstalk[J]. Journal of Henan University of Science and Technology: Natural Science, 2003, 24(2): 1~4. (in Chinese)
- 13 吴子岳, 高焕文, 张晋国. 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 38~41.
Wu Ziyue, Gao Huanwen, Zhang Jinguo. Study on cutting velocity and power requirement in a maize stalk chopping process [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 38~41. (in Chinese)
- 14 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): 47~50, 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 Agricultural Machinery, 2007, 38(5): 47~50, 54. (in Chinese)
- 15 马洪亮, 高焕文, 魏淑艳. 驱动缺口圆盘玉米秸秆根茬切断装置的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 86~89.
Ma Hongliang, Gao Huanwen, Wei Shuyan. Driven gap disc cutting mechanism for treating corn stalk and rootstalk [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(5): 86~89. (in Chinese)
- 16 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, 16(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, 16(4): 36~41. (in Chinese)
- 17 王学辉, 张明辉. Matlab 6.1 最新应用详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002
- 18 GB/T 21962—2008 玉米收获机械 技术条件[S]. 2008.
- 19 JB/T 6678—2001 秸秆粉碎还田机[S]. 2001.

(上接第 52 页)

参 考 文 献

- 1 陈建能, 王英, 赵雄, 等. 步行式插秧机新型推秧装置的反求设计及仿真[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 78~82.
Chen Jianneng, Wang Ying, Zhao Xiong, et al. Reverse design and simulation of the walking-type rice transplanter's new seedling-pushing mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 78~82. (in Chinese)
- 2 Chen Jianneng, Zhao Yun, Yu Gaohong, et al. Establishment and verification of dynamics model of seedling-pushing device in transplanting mechanism with planetary elliptic gears[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 71~76.
- 3 浙江理工大学. 一种步行式插秧机的旋转式分插机构强制推秧装置: 中国, ZL 201020646689.2[P]. 2011-07-20.
- 4 赵匀. 机构数值分析与综合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 213~217.
- 5 武秀东, 王介人, 刘悦. 对摆杆从动件外啮合盘形凸轮机构压力角计算公式的讨论[J]. 长春光学精密机械学院学报, 1995, 18(4): 32~34.
Wu Xiudong, Wang Jieren, Liu Yue. Cam mechanism with oscillationg follower[J]. J. Changchun Inst. Opt. & Fine Mech., 1995, 18(4): 32~34. (in Chinese)
- 6 曾向阳, 谢国明, 王学平. UG NX 基础及应用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 7 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- 8 俞高红, 谢仁华, 赵匀. 椭圆齿轮传动后插旋转式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 45~48.
Yu Gaohong, Xie Renhua, Zhao Yun. Kinematic analysis and experiment of backward rotary transplanting mechanism with elliptical gears transmission [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 45~48. (in Chinese)
- 9 龚永坚, 刘丽敏, 俞高红, 等. 水稻插秧机后插式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(9): 41~43.
Gong Yongjian, Liu Limin, Yu Gaohong, et al. Study on rearward separate-planting mechanism of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(9): 41~43. (in Chinese)
- 10 赵良省. 噪声与振动控制工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 15~17.
- 11 陈小平. 声音与人耳听觉[M]. 北京: 中国广播电视出版社, 2006: 45~50.