

中国玉米收获技术与装备发展研究*

陈志¹ 郝付平² 王锋德¹ 苏文凤¹ 崔俊伟²

(1. 中国机械工业集团有限公司, 北京 100080; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

【摘要】 阐述了中国玉米种植模式、收获工艺及收获装备与发达国家的差异,以及中国玉米收获机械的研发历程和主要机型。阐述摘穗、剥皮及茎秆处理等通用技术与装置的特点,以及中国在不分行玉米收获技术方面的研究与探索。分析了当前制约中国玉米收获机械化发展的主要因素、国外玉米联合收获机的发展趋势和中国各玉米产区种植与收获特点,指出了中国应在农机农艺融合的基础上,因地制宜地开发适合本地区的玉米联合收获装备。

关键词: 玉米 收获技术 收获装备 发展

中图分类号: S233.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)12-0044-07

Development of Technology and Equipment of Corn Harvester in China

Chen Zhi¹ Hao Fuping² Wang Fengde¹ Su Wenfeng¹ Cui Junwei²

(1. China National Machinery Industry Corporation, Beijing 100080, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The differences of corn planting-harvesting process and harvesting equipment between China and developed countries, corn harvester developing process and major model were introduced. The general technology and equipment of snapping, husking and straw treatment of corn harvesting machine, and the research and exploration of corn harvesting technology regardless of row in China were expatiated. The major factor for restricting development of corn harvest mechanization in China, the development trend of foreign corn harvester, and planting and harvesting characteristics of Chinese corn producing areas were analyzed. Finally, it pointed out that the corn harvester should be designed with combination of agricultural machinery and technology to suit local condition in China.

Key words Corn, Harvesting technology, Harvesting equipment, Development

引言

玉米是中国三大主要粮食作物之一,常年种植面积保持在2400多万 hm^2 ,年总产量12000多万t。随着科学技术进步,玉米已成为食品、化工、饲料、能源等领域的重要原料,其综合利用价值不断提高。但是,中国玉米种植带纵跨寒温带、暖温带、亚热带和热带生态区,分布在高原、丘陵、平原等不同地理环境,辽阔的地域、多样的地貌与气候,导致各地玉米种植模式不同,极大地增加了玉米收获

机械化的难度。与小麦机收水平87.8%、水稻机收水平60%相比,玉米机收水平仅为33%,迫切需要技术革新,以突破玉米收获机械化的“瓶颈”,推进玉米产业的发展^[1]。本文对中国玉米收获技术与装备的发展进行研究,提出中国实现玉米收获机械化的建议。

1 中国玉米收获机械研发历程与研究现状

玉米机械化收获是实现玉米生产全程机械化的重要环节,20世纪末,发达国家玉米收获已基本实

现机械化。美国、德国、乌克兰和俄罗斯等,玉米生产规模化经营,种植行距一致,对行收获即可,并且多采用一年一熟制种植方式,收获时玉米籽粒含水率很低,基本采用摘穗后脱粒的收获工艺,在谷物联合收割机上换装玉米专用割台,通过调整脱粒滚筒的转速和脱粒间隙直接收获玉米籽粒;在收获甜玉米和种子玉米时,采用摘穗—果穗收集—茎秆粉碎还田(或切碎回收)的收获工艺,通过专用的玉米果穗收获机收获玉米果穗^[2-4]。

中国玉米有一熟、两熟等种植农艺,种植行距不统一,收获时籽粒含水率较高,各产区对玉米收获的要求不同,发达国家的玉米收获工艺及装备只能适用于中国部分地区玉米的收获。20 世纪 60 年代初,中国开始进行玉米联合收获技术与装备研发,1967 年中国农机院研制了 YS-3 型牵引式玉米收获机,可进行摘穗、果穗集箱联合作业;1979 年中国农机院与黑龙江省农机所、赵光机械厂联合研制了 4YL-2 型和 4YW-2 型牵引式玉米收获机,是我国

玉米收获机最早的定型产品;1988 年中国农机院与北京市、黑龙江省合作引进苏联可进行摘穗—果穗剥皮—青贮联合作业的 KCKY-6 型玉米联合收获机,能基本适应北方地区的农艺要求,但由于价格昂贵未能大面积推广;1991~1999 年中国农机院与北京、新疆、四平和佳木斯联合收割机厂合作开发了 4YZ-3 型和 4YZ-4 型自走式玉米收获机,为中国玉米收获机械的发展提供基础机型。

近年,随着国民经济的发展,农村劳动力转移和用工成本增加,玉米收获机械化需求的日趋迫切和国家扶持力度的加大,从事玉米联合收获机械研发与生产单位已有上百家,生产的机型涵盖摘穗—剥皮—果穗收集—茎秆粉碎还田(或切碎回收)、摘穗—果穗收集—茎秆粉碎还田(或切碎回收)、摘穗—果穗脱粒—籽粒收集—茎秆粉碎还田(或切碎回收)等多种收获工艺,截至 2011 年,玉米收获机保有量已达到 18.9 万台,当年新增玉米收获机 6.1 万台,详见表 1。

表 1 玉米收获机主要机型与特点

Tab. 1 Main models and features of corn harvester

类型	特点
以动力型式分	
牵引式玉米收获机	工作部件自成系统,由拖拉机牵引作业,一般为 2~3 行侧牵引,配套动力 36.75~58.8 kW,生产成本低,但机组较长、转弯半径大,需人工开道,生产效率低,已基本退出市场。
背负式玉米收获机	与拖拉机配套使用,生产成本低,能够提高拖拉机利用率,投资回收期短,在山东、河南、河北等地应用较多,是中国特有的过渡机型。
自走式玉米联合收获机	专门用于玉米收获,配备行走、动力、操纵控制等系统,结构紧凑、配置合理,操作灵活、作业效率高,作业环境舒适,正在逐步替代背负式玉米收获机。
以收获模式分	
谷物收获机配置专用玉米割台联合收获机	通过调节脱粒滚筒转速、脱粒间隙和更换脱粒凹板,收获玉米籽粒,单机利用率高,适用于新疆、陕西、山西、内蒙西部,东北北部等一年一作地区。
小麦、玉米互换割台联合收获机	将小麦割台更换为玉米收获台,加装果穗升运器、果穗箱等装置,收获玉米果穗;提高小麦收获机利用率和经济性,是中国特有的过渡机型。
穗茎兼收型玉米联合收获机	在玉米收获机上配有茎秆切碎回收、切割放铺等装置,实现玉米籽实与茎秆的同时收获,满足玉米秸秆的综合利用。

2 玉米收获机械化通用技术与装置

2.1 摘穗技术与装置

玉米摘穗装置是玉米联合收获机的核心工作部件之一,其性能直接影响整机的作业效果,主要有摘穗辊式、摘穗板与拉茎辊组合式两种。如图 1.2 所示。

摘穗辊式,由一对斜置的摘穗辊组成,摘穗辊表面带有龙爪形凸起,作业时相向旋转,将玉米茎秆向下拉动,粗大的玉米果穗在摘穗辊的挤压下与玉米茎秆脱离,摘下的玉米果穗在输送链条的作用下,进入横向螺旋输送机并向后输送,该种形式结构简单,摘穗时断茎秆少,但茎秆粗大、含水率较高时摘穗辊易堵塞,由于摘下的玉米果穗与旋转的摘穗辊接触,果穗含水率较低时啃穗严重,该种摘穗装置多应用

于我国背负式玉米收获机^[5-7]。

摘穗板与拉茎辊组合式^[8-9],由摘穗板和拉茎辊组成,拉茎辊一般为 4 棱或 6 棱辊,作业时相向旋转的拉茎辊将玉米茎秆向下拉动,在摘穗板的作用下果穗脱离玉米茎秆,输送链条将摘下的玉米果穗送进横向螺旋输送机,该种形式摘下的果穗不与旋转的拉茎辊接触,果穗损伤小,籽粒破碎率低,但茎秆含水率较高时断茎秆较多,需配置专门的排杂装置。欧美发达国家,谷物联合收获机配置玉米收获台直接收获玉米籽粒^[10],断茎秆可直接进入脱粒装置,玉米收获台基本采用摘穗板与拉茎辊组合式摘穗装置;我国自走式玉米联合收获机基本都配置了排杂剥皮装置,收获台也多采用摘穗板与拉茎辊组合式摘穗装置。

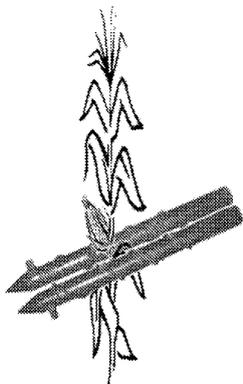


图1 摘穗辊式收获台

Fig.1 Header with snapping rolls

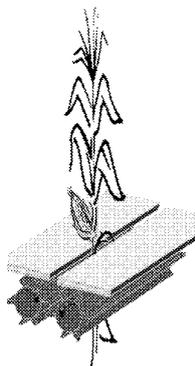


图2 摘穗板与拉茎辊组合式收获台

Fig.2 Combined header with snapping plate and pull stem roller

2.2 剥皮技术与装置

果穗剥皮是玉米收获中的重要环节。收获期遇阴雨天,若不能剥除玉米苞叶,玉米籽粒容易发霉。玉米收获时,果穗成熟度、苞叶紧实度、含水率等生理特性各不相同,往往不能兼顾剥净率与啃穗率,果穗剥皮是目前尚未解决的技术难题。

剥皮装置多采用辊式剥皮原理,依靠剥皮辊对果穗苞叶的摩擦力,将苞叶剥除^[11-16]。摩擦力增大,果穗剥净率增高,啃穗掉粒现象也随之严重;反之,啃穗掉粒少,但果穗剥净率降低。

剥皮装置主要由若干对相对回旋转的剥皮辊和压送器组成,剥皮辊轴线与水平呈 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 倾角,以利于果穗沿轴向下滑,压送器设置在剥皮辊的上方,工作时压送器将玉米果穗压向剥皮辊并向前推送,旋转的剥皮辊将玉米果穗苞叶撕开,并从剥皮的间隙中拉出。剥皮辊布置方式有高低辊式(图3)和平辊式(图4)两种,高低辊式剥皮装置由几对轴心高度不等的剥皮辊组成,呈V形或槽形布置,V形配置的结构较简单,但果穗容易向一侧流动(因上层剥皮辊的回转方向相同),槽形配置果穗横向分布较均匀,性能较好。高低辊式剥皮辊作业时由于每对剥皮辊对果穗的摩擦力大小不同(上辊较小,

下辊较大),果穗产生回转,剥净率较高,但啃穗严重。平辊式剥皮装置剥皮辊轴心处在同一平面内,降低了啃穗,但也降低了果穗剥净率,该种布置形式结构简单、成本低。

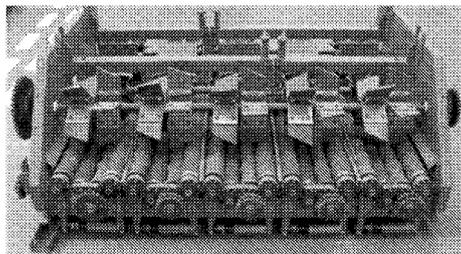


图3 高低辊式剥皮装置

Fig.3 Husking device with high and low roller

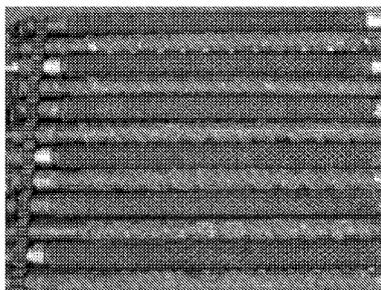


图4 平辊式剥皮装置

Fig.4 Husking device with flat roller

2.3 秸秆处理技术与装置

针对各玉米产区对玉米秸秆的不同需求,在玉米收获机上配置粉碎还田装置或切碎回收装置,在收获玉米果穗的同时,将秸秆粉碎还田或切碎回收。

(1) 秸秆粉碎还田^[17-20]:主要有甩刀式、滚刀式、滚刀甩刀组合式切碎装置,以及灭茬还田机,如图5所示。甩刀式:高速旋转的甩刀设置在拉茎辊下方,通过无支撑切割将玉米茎秆切成段状还田。滚刀式:在摘穗板下方设有一个拉茎切碎辊和与之配套的圆弧凹板,在圆弧凹板支撑下拉茎切碎辊将茎秆拉下并切成段状还田。滚刀甩刀组合式:6棱拉茎辊与4棱拉茎辊配合使用,两拉茎辊的下方设有一圆盘滚刀将茎秆压扁、破裂,设置在圆盘滚刀下方的高速旋转甩刀将裂开的茎秆进一步切断,提高切碎质量。灭茬还田机:通过一组高速旋转的甩刀将田间玉米秸秆粉碎并灭茬。

(2) 秸秆切碎回收^[21-24]:玉米联合收获机作业时,配置在收获台下方(或机器中部)的秸秆切碎回收装置,将秸秆切下并切碎抛送装箱或装车,作为饲料或燃料,如图6所示。

3 玉米收获机械化新技术探索——不分行玉米收获技术

黄淮海玉米区,多为一年两熟制,种植模式复

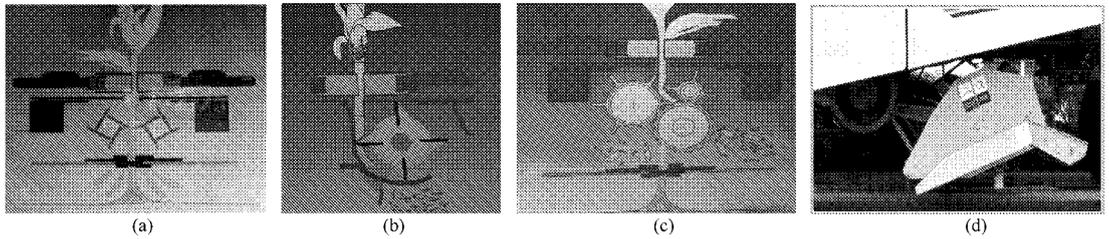


图 5 玉米秸秆粉碎还田装置

Fig. 5 Equipment of straw treatment

(a) 甩刀式 (b) 滚刀式 (c) 滚刀甩刀组合式 (d) 灭茬还田机

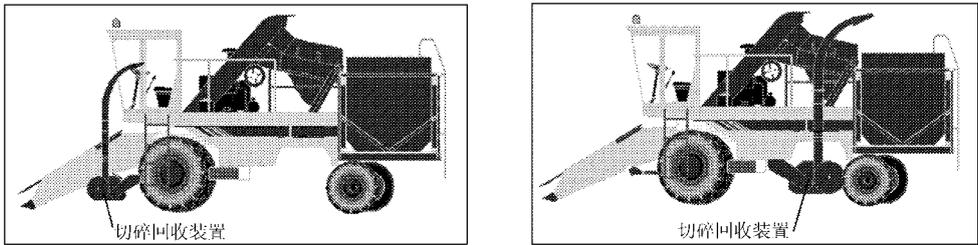


图 6 穗茎兼收型玉米联合收获机示意图

Fig. 6 Corn combine reaping both corn stalk and spike

杂, 种植行距不统一, 而目前中国玉米机械化收获以对行收获为主, 不能适应不同种植行距的玉米收获。因此, 相关企业及科研机构积极开展了不分行玉米收获机械技术的研究与探索, 以提高玉米联合收获机对种植行距的适应性, 促进玉米收获机械化发展。

3.1 窄行距式

普通玉米收获机相邻分禾器间距为 600 mm 左右, 玉米植株在分禾器高度的横向最大偏移量为 300 mm; 采用窄分禾器, 相邻分禾器间距为 450 mm 左右, 玉米植株在分禾器高度的横向最大偏移量为 225 mm, 玉米植株进入摘穗装置后的偏移量减小, 如图 7a 所示。但该型式虽能减小玉米植株进入摘穗装置的弯曲量而提高摘穗质量, 但在相同幅宽下, 增加了摘穗单元个数, 增加了生产成本, 故未能大量进入市场。

3.2 锥螺旋喂入式

收获台采用锥螺旋分禾器, 模仿单手抓取动作, 分禾同时向后推送玉米植株, 提高了行距适应性, 如图 7b 所示。该种型式结构复杂, 适用于株高 2 m 以

下的玉米收获, 目前只在山西玉米区得到小批量推广应用。

3.3 喇叭口形双链条喂入式

收获台喂入链条前伸呈“喇叭口”形, 模仿双手抓取动作, 主动抓取玉米植株, 部分机型在相邻分禾器中间还配置了扶禾杆^[25], 如图 7c 所示。喂入链条扩大了强制喂入区域, 提高了机器行距适应性; 扶禾杆减小了玉米植株进入摘穗装置的偏移量, 并扶起倾斜的玉米, 提高摘穗质量。该种机构结构简单、成本低, 适用于株高 3 m 以下的玉米收获, 目前市场上应用较多。

3.4 指状拨禾星轮式

中国农业机械化科学研究院研制的指状拨禾星轮式不分行玉米收获台, 模仿人工一手扶持、一手摘穗的收获过程, 主要由摘穗板、拉茎辊、分禾器、拨禾星轮、扶禾导入辊等组成, 如图 7d 所示。作业时, 扶禾导入辊、拨禾星轮、螺旋拉茎辊形成上、中、下 3 点动态扶持, 实现倾斜玉米的扶起、动态稳定喂入、单株连续直立喂入, 能够适应任意种植行距玉米的收

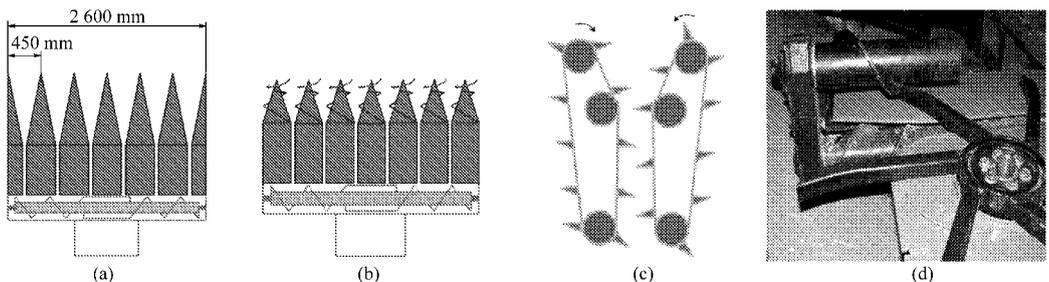


图 7 不分行玉米收获技术与装置

Fig. 7 Corn harvester with regardless of row

(a) 窄行距式 (b) 锥螺旋喂入式 (c) 喇叭口形双链条喂入式 (d) 指状拨禾星轮式

获^[26-27]。由于该种收获台结构复杂,造价较高,尚未批量生产。

4 制约玉米收获机械化推广的因素

中国玉米机械化收获技术历经 50 多年的发展,技术取得了很大的进步,作业性能与国外机型相差不大,但是玉米机械化收获水平依然很低,制约中国玉米收获机械化推广的因素主要有以下几个方面:

(1) 玉米生物特性差异较大增加机收难度

玉米品种多而杂,其生长期、植株形态、结穗高度、果穗大小及苞叶紧密度等生物特性差异较大,同一品种的玉米,在成熟的早、中、晚期生物特性差异性大,早期收获造成断秆过多,而晚期收获又极易啃穗,很难实现在 4 叶黄的最佳收获期收获,给玉米机械化收获带来很大困难。

(2) 多种栽培模式制约玉米机械化收获的发展

由于各地区土质、气候、耕作习惯等差异,导致玉米种植的垄距、行距差异性较大,甚至还有间作、套作等栽培方式,而目前玉米收获以对行收获为主,多样的种植模式已成为制约我国玉米收获机械化发展的主要因素之一。

(3) 收获模式制约玉米机收获械化的发展

国内以收获玉米果穗为主,采用摘穗—剥皮—秸秆切碎回收或粉碎还田的收获模式。这一模式下的早期收获若使用板式摘穗则断茎秆较多,排杂处理难度大,后期收获辊式摘穗和剥皮装置又啃穗较多,致使我国玉米收获机械化推广较慢。若采用摘穗—脱粒—秸秆粉碎还田或回收的收获模式直接收获玉米籽粒,若含水率较高,籽粒破碎严重,烘干不及时则会霉烂,通用性不强。

(4) 玉米收获机械化技术装备尚不成熟,制造水平有待提高

近几年,国内玉米收获机保有量逐年增加,仅 2011 年新增玉米收获机就超过 6 万台,但玉米收获机械仍不成熟,不分行玉米收获、果穗剥皮等关键技术与装置仍需进一步提高。目前,从事玉米联合收获机械研发与生产单位虽不少,但普遍存在企业规模小、资金投入少、效益差等问题,致使技术改造和更新缓慢,难以在保证机器可靠性的同时持续提高机器性能。

5 玉米收获技术与装备发展方向

5.1 发达国家玉米收获机械发展趋势

(1) 大型高效:最大割幅已超过 9 m,喂入量最高已达到 10~12 kg/s。

(2) 一机多用^[28]:一种主机配置多种专用割台(大豆、玉米、向日葵、水稻),实现多种作物的收获。

(3) 纵向轴流脱粒:脱粒滚筒转速低,破碎小,脱粒时间长,脱粒分离效果好。

(4) 自动化与舒适化^[29]:隔热、隔噪音的现代化密闭驾驶室,转动部件转速、收获机切割高度、谷物损失量、粮箱填充量、排草堵塞等信息在线实时显示技术,自动对行、割茬高度自动调节、自动控制车速、自动停车等自动控制技术,安全生产的警报输出和互锁补偿系统等得到广泛应用,大大提高了机器的自动化程度与舒适性。

(5) 智能化:当今最先进的集全球卫星定位系统,地理信息系统和遥感系统于一身的“精准农业”技术在智能化玉米收获机上也得到应用。

5.2 中国玉米收获机械发展方向

中国玉米联合收获机械的现状与国外先进技术相比还有很大的差距,应借鉴发达国家发展经验,广泛采用液压、智能控制和电子信息等技术,以提高机器的可靠性和适应性,促进中国玉米联合收获装备向控制智能化、操作便捷化和作业环境舒适化等方向发展;同时结合国内玉米种植模式多样、农机农艺融合度不高和生产制造水平较低的现实,因地制宜地开发适合本地区的玉米联合收获装备,主要有以下几个方面:

(1) 专用型玉米果穗收获机:东北玉米主产区玉米种植模式和玉米品种相对统一,可发展对行专用型玉米果穗收获机。通过研究自动对行、高效剥皮、秸秆处理及割茬调试自动调节等技术,解决当地玉米收获问题。

(2) 不分行玉米联合收获机:黄淮海流域一年两作,种植模式复杂,重点突破不分行收获技术,发展不分行玉米联合收获机,实现跨区作业。

(3) 谷物联合收获机配玉米割台直接收获玉米籽粒:新疆、陕西、山西、内蒙西部、东北北部等一年一作区,重点突破柔性脱粒技术,直接收获玉米籽粒。实现一机多用,提高单机利用率。

(4) 穗茎兼收型玉米联合收获机:内蒙古及西北牧区需要玉米秸秆作饲料,山东、河北、河南等地要求秸秆还田或穗茎兼收。近期,随着生物质能产业的发展,玉米秸秆已成为其主要原料。因而,收获玉米果穗的同时收获玉米秸秆,实现玉米全价值利用已成为必然趋势。

6 结束语

中国玉米种植和利用方式的多样性,决定了收获模式以及收获机械化技术装备的多样性和复杂

性。因此,国家在政策、资金和组织上应予以重点支持,加大对玉米摘穗、剥皮及秸秆处理等关键技术的研发力度,因地制宜地开发适合当地需求的玉米联

合收获机。同时,引入市场准入机制,保障产品性能和质量;增强示范引导和推广力度,加快玉米收获机械化进程。

参 考 文 献

- 1 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)
- 2 Cheng Yulai, Zhang Benhua, Yang Yufen, et al. Study and manufacture of wheat combine harvester for interridge of corn [C]// Innoation of Agricultural Engineering Technologies for the 21st Century, 1999: I-5~I-8.
- 3 Shinnars K J, Boettcher G C, Hoffman D S, et al. Single-pass harvest of corn grain and stover; performance of three harvester configurations [J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(1):51~60.
- 4 Thomas Burnell Colbert. Iowa farmers and mechanical corn pickers, 1900—1952 [J]. Agricultural History, 2000, 74(2):530~544.
- 5 佟金,贺俊林,陈志,等. 玉米摘穗辊试验台的设计和试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11):48~51.
Tong Jin, He Junlin, Chen Zhi, et al. Research and development of testing device with snapping rolls for corn harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11):48~51. (in Chinese)
- 6 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)
- 7 闫洪余,吴文福,韩峰,等. 立辊型玉米收获机摘穗辊型对工作性能的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5):76~80.
Yan Hongyu, Wu Wenfu, Han Feng, et al. Effects of the type of snapping rolls of vertical corn harvester on harvesting performance [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5):76~80. (in Chinese)
- 8 Dennis E Bollig. Corn head with tension control for deck plates; US, US20080092507A1 [P]. 2006-10-18.
- 9 Trenkamp Michael J, Gravel Loras F. Shredder attachment for combine corn head; US, 5330114 [P]. 1994-07-19.
- 10 白钰,杨自栋,耿端阳,等. 浅述我国玉米联合收获机技术进展及发展趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2010, 48(7):3~6, 32.
Bai Yu, Yang Zidong, Geng Duanyang, et al. Improvement and development trend of corn harvester technology [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2010, 48(7):3~6, 32. (in Chinese)
- 11 陈志,韩增德,郝付平,等. 玉米联合收获机排杂剥皮装置优化设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12):78~80.
Chen Zhi, Han Zengde, Hao Fuping, et al. Optimum designing and experiment of separating unit of corn harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12):78~80. (in Chinese)
- 12 章慧全. 玉米剥皮机的研究设计[J]. 农业科技与装备, 2009(6):45~47.
Zhang Huiquan. Design of corn husker [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2009(6):45~47. (in Chinese)
- 13 Ready Machine Inc. Method and apparatus for partially husking corn; US, US85185692A [P]. 1992-12-08.
- 14 Dee Charles. Method of converting corn picker/husker to reduce kernel loss and damage; US, US4251193A [P]. 1994-10-11.
- 15 Razorback Farms Inc. Self-contained mobile system and method for selectively processing fresh corn; US, US20020042472 [P]. 2002-08-06.
- 16 Hughes Company Inc. Husker rolls; US, US19990356146 [P]. 2001-06-26.
- 17 Deere & C. Drive arrangement for corn head equipped with or without a corn stalk chopper; US, US20100870243 [P]. 2011-05-10.
- 18 Hoffman Daniel Stephe. Converting a corn head row unit for harvesting corn stalks in addition to ears; US, US20090504772 [P]. 2011-01-20.
- 19 Zhang M, Sword M L, Buckmaster D R, et al. Design and evaluation of a corn silage harvester using shredding and flail cutting [J]. Transactions of the ASAE, 2003, 46(6):1 503~1 511.
- 20 Kathirvel K, Suthakar B, Manohar Jesudas D, et al. Influence of crop and machine parameters on conveying efficiency and inclination of maize stalks in an experimental fodder harvester [J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2010, 41(3):30~35.
- 21 贾洪雷,王增辉,马成林,等. 玉米秸秆切碎抛送装置的试验研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6):96~99.

- Jia Honglei, Wang Zenghui, Ma Chenglin, et al. Chopping and throwing mechanism of corn straw [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(6): 96~99. (in Chinese)
- 22 丛宏斌, 李汝莘, 李洪江, 等. 玉米收获机茎秆堆放装置设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 107~111.
Cong Hongbin, Li Ruxin, Li Hongjiang, et al. Design of stacking mechanism for corn straw on combine [J]. Transaction of the CSAE, 2010, 26(5): 107~111. (in Chinese)
- 23 丛宏斌, 李明利, 李汝莘, 等. 4YQK-2型茎秆青贮打捆玉米收获机设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 96~100.
Cong Hongbin, Li Mingli, Li Ruxin, et al. Design of 4YQK-2 combine harvester for corn and straw ensilage [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 96~100. (in Chinese)
- 24 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)
- 25 贺俊林, 胡伟, 郭玉富, 等. 扶禾杆在不对行导入玉米茎秆中的运动仿真[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 125~128.
He Junlin, Hu Wei, Guo Yufu, et al. Kinematic simulation of no-row feed-in mechanism with guide-rod for corn harvester [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 125~128. (in Chinese)
- 26 陈志, 韩增德, 颜华, 等. 不分行玉米收获机分禾器适应性试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 50~52.
Chen Zhi, Han Zengde, Yan Hua, et al. Orthogonal validation experiment on crop divider of corn-harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 50~52. (in Chinese)
- 27 贺俊林, 佟金, 陈志, 等. 指形拨禾轮分禾机构的虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2007, 38(6): 53~57.
He Junlin, Tong Jin, Chen Zhi, et al. Virtual design and kinematic simulation for feed-in mechanism with finger rotor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(6): 53~57. (in Chinese)
- 28 Calmer Marion. Universal corn head mounting system; US, US20050120694 [P]. 2005-06-09.
- 29 朱纪春, 陈金环. 国内外玉米收获机械现状和技术特点分析[J]. 农业技术与装备, 2010(4): 23~24.
Zhu Jichun, Chen Jinhuan. Present situation and technical characteristics analysis of com combine harvester in home and abroad [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2010(4): 23~24. (in Chinese)

(上接第 117 页)

- 10 孙宏宇, 董玉平, 周淑霞, 等. 基于 Fluent 的固定床生物质气化炉冷态压力场研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 94~97.
Sun Hongyu, Dong Yuping, Zhou Shuxia, et al. Analysis of fixed-bed biomass gasifier cold internal pressure field based on Fluent [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 94~97. (in Chinese)
- 11 段存福, 郑传林. 沉砂池运行条件的改进[J]. 山东商业职业技术学院学报, 2004, 4(2): 77~78.
Duan Cunfu, Zheng Chuanlin. The improvement of gritchamber with rotational flow [J]. Journal of Shangdong Institute of Commerce and Technology, 2004, 4(2): 77~78. (in Chinese)
- 12 柴诚敬, 张国亮. 化工流体流动与传热[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- 13 明宗富, 雒征. 沉砂池泥砂运动规律的研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(2): 67~70.
Ming Zongfu, Luo Zheng. Study on laws of sediment movement in settling basins [J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, 1997, 30(2): 67~70. (in Chinese)
- 14 蒋定生, 高鹏, 徐学选, 等. 水窖沉砂池结构形式试验设计[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 27~31.
Jiang Dingsheng, Gao Peng, Xu Xuexuan, et al. Trial study on designing of sand-settling tank for runoff harvesting [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 27~31. (in Chinese)
- 15 姚爱莉, 杨可俊, 赵跃新, 等. 高效处理鸡粪沼气的研究和设计[J]. 中国沼气, 1990, 8(8): 30~33.
- 16 刘焕芳, 宗全利. 一种新型平流式沉砂池的设计[J]. 工业水处理, 2005, 25(4): 71~74.
Liu Huanfang, Zong Quanli. Design of a new-type rectangular sediment tank [J]. Industrial Water Treatment, 2005, 25(4): 71~74. (in Chinese)
- 17 李涛. 沉砂池的设计及不同池型的选择[J]. 中国给水排水, 2001, 17(9): 37~42.