

玉米收获机械化技术研究进展

程永辉, 黄彪, 褚澳, 王星博, 陈玮珩

贵州理工学院机械工程学院, 贵州 贵阳

Email: 1045885485@qq.com

收稿日期: 2021年1月28日; 录用日期: 2021年2月17日; 发布日期: 2021年2月24日

摘要

玉米收获机械化是我国农业发展的重中之重, 我国玉米收获机主要分为背负式、牵引式、兼用型以及自走式玉米收获机, 其关键技术在于摘穗装置、剥皮装置、脱粒装置的研究。本文对于玉米收获机种类及其关键技术以及玉米收获机械化研究现状进行了介绍。为促进我国玉米收获机械化发展提供借鉴与参考。

关键词

玉米, 收获装置, 机械化, 研究进展

Research Progress of Corn Harvest Mechanization Technology

Yonghui Cheng, Biao Huang, Ao Chu, Xingbo Wang, Weiheng Chen

School of Mechanical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Email: 1045885485@qq.com

Received: Jan. 28th, 2021; accepted: Feb. 17th, 2021; published: Feb. 24th, 2021

Abstract

The mechanization of Corn Harvest is the most important in the development of agriculture in our country. The main types of corn harvesters in our country are backpack type, tractor type, dual-purpose type and self-propelled type, the key technology lies in the research of ear picking device, peeling device and threshing device. In this paper, the types of Corn Harvester and its key technologies, as well as the research status of corn harvest mechanization were introduced. In order to promote the development of corn harvest mechanization in China, it provides reference and consult.

Keywords

Corn, Harvester, Mechanization, Research Progress

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是玉米生产和消费大国，播种面积、总产量、消费量仅次于美国，均居世界第 2 位。玉米作为我国农民主要的经济收入来源，更是我国主要粮食产量之一。

庞大的玉米种植量，其收获作业是整个玉米生产过程中最重要的一个环节，对整个玉米的产量和质量提升具有很大的影响[1]。玉米收获机械化是促进玉米产业节本增效、提高我国玉米生产综合经济效益和国际竞争力的重要手段[2]。我国对于玉米收获机械化研究方面起步较晚，而发达国家在 20 世纪中期已经实现玉米收获机械化，但由于国情的不同，并不能在我国大范围内的使用[3]。基于此种情况下，国内学者开展对于玉米收获机械化的相关研究。目前国内玉米收获机大致分为背负式、牵引式以及自走式玉米收获机，其主要组成部分为驱动系统、摘穗装置、剥皮装置以及脱粒装置组成。对于玉米收获机的主要指数开展研究式玉米机械化发展的必经之路。通过分析近年来玉米收获机和核心技术的研究现状以此来为我国玉米收获机械化发展提供参考，对我国玉米机械化收获技术的发展前景和趋势加以展望。

2. 玉米收获机研究现状

现有玉米收获机按照拖拉机与玉米收获装置结合方式可分为背负式玉米收获机、自走式玉米收获机以及牵引式玉米收获机等三种类型。

2.1. 背负式玉米收获机

背负式玉米收获机的工作一般与拖拉机相结合，将背负式玉米收获机安装在拖拉机上，驾驶员通过驾驶拖拉机和作业装置来完成玉米收获任务，如图 1 所示。完成收获后可将作业装置拆下，拖拉机用于其他任务[4]。



Figure 1. Knapsack Corn Harvester

图 1. 背负式玉米收获机

国内各方近年来也开展了对于背负式玉米收获机的研制，甘肃省农机推广总站与酒泉市铸陇机械制

造有限公司联合研制的 4YWL-2 型背负式玉米联合收获机[5]，摘穗辊形式为螺旋对辊，该款玉米收获机主要由割台、机架、卧辊式摘穗机构、拨禾机构、果穗输送机构、秸秆粉碎还田机构等部分组成。只需一次作业便可完成摘穗、输送、装箱、秸秆粉碎还田和茎秆整秆割倒收集等多道工序

2.2. 自走式玉米收获机

自走式玉米收获机是一种专门用于玉米收获的一种机械装置，装置自身具有行走、控制、动力系统，如图 2 所示。自走式玉米收获机的主要工作部件包括了割台、升运器、剥皮机、集粮仓、秸秆粉碎器等。根据自走式玉米收获机摘穗形式的不同，可将玉米收获机分为卧式摘穗辊型、摘穗板型和立式摘穗辊型三种类型[6]。



Figure 2. Self-propelled Corn Harvester
图 2. 自走式玉米收获机

国内现有的自走式玉米收获机种类主要以多行机为主，适合于地势平坦的大规模地块进行玉米收获工作，赤峰巨昌机械有限公司开发的 4YZ-2 型自走式玉米收获机[7]，如图 3 所示，具有一机多用、轻便灵活，不受种植行距限制，无需人工开道，既适合于平原大地块玉米收获，又适合于山地、丘陵小地块玉米收获，弥补了大机型的不足。牛文祥等基于黑龙江省玉米收获特点，设计了 4YZY-4 型自走式液压驱动玉米收获机[8]，该款自走式玉米收获机改变传统的机械式传动，所有动力均采用液压传动，该自走式玉米收获机采用静液压无级变速行走系统，具有无级变速和带负荷转向性能，行走控制和换向方便、灵活、作业效率高等特点。

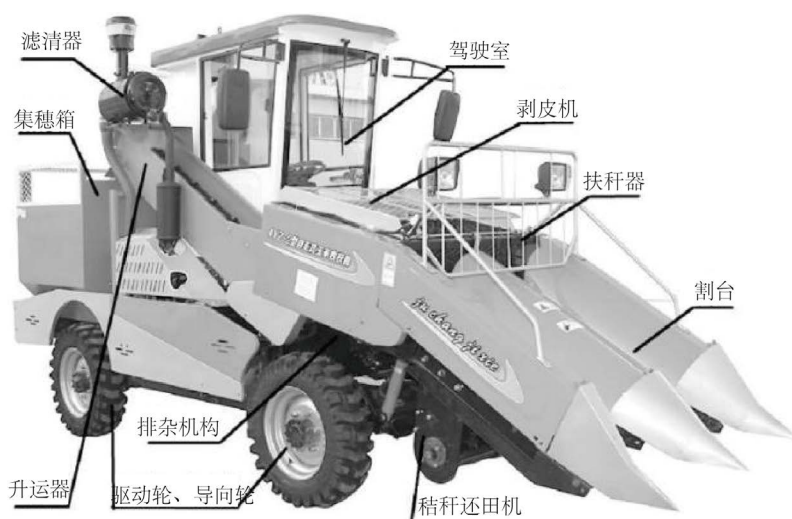


Figure 3. 4YZ-2 self-propelled Corn Harvester
图 3. 4YZ-2 型自走式玉米收获机

2.3. 兼用型玉米收获机

该机型的创新点在于结构上保持原有小麦收割机的部分工作部件及功能，更换玉米割台、加装玉米输送槽和秸秆还田机，实现玉米收获功能；通过互换割台，可以兼收水稻、小麦等农作物。其优点在于收割台结构紧凑、性能可靠、零部件通用性高；解决了小麦收获机使用季节性限制，实现了夏收小麦、秋收玉米，一机两用，从而提高单机效率。

2.4. 牵引式玉米收获机

牵引式玉米收获机(如图4所示)主要与拖拉机配套使用，以拖拉机作为动力来源，工作装置自成体系，作业时，由拖拉机牵引工作[9]。



Figure 4. Tractor Corn Harvester
图4. 牵引式玉米收获机

近年来，在牵引式玉米收获机的研发中，吉林省农业机械研究院吴光华等[10]设计的牵引式茎秆回收型玉米收获机采用独特设计的复合式摘穗辊，通过结构配置，在田间一次作业可完成割秆、摘穗、果穗装车，更换茎秆处理部件可将茎秆整株放铺或切碎回收或粉碎还田。与国内外的机型相比，具有很强的竞争能力。

目前，我国玉米收获机械的存在形式主要有以上4种。这4种机型都是基于1921年澳大利亚人艾伦提出的“辊式收获”的技术路线设计制造的。“辊式收获”原理是：收获机割台安装1对或数对摘穗辊，玉米植株按行依次进入两辊之间，利用摘穗辊相互挤搓实现摘穗。这种“辊式收获”的玉米收获机普遍存在收获损失大、作业效率低、零部件易损坏、对地区和农艺适应能力差等问题。

2.5. 各类型玉米收获机优缺点分析

在现有的玉米收获机类型中背负式玉米收获机可将工作装置拆下，拖拉机用于其他任务。该类型的玉米收获机利用效率高、价格低，适合收获不同结穗高度、不同行距的玉米，而且工作性能稳定。但是由于需要和拖拉机结合使用，自身的尺寸，相对偏大。自走式玉米收获机具有作业效率高，机具可靠性好，作业质量更有保障以及维修方便，但其适用范围狭窄，只适合于地势平坦的大规模地块进行玉米收获工作。兼用型玉米收获机面临的主要问题是玉米收获与小麦、水稻收获区别较大，安装玉米割台的小麦联合收获机都需进行改装，但也因此这类玉米收获机成为市场前景广阔的新型收获机械。牵引式玉米收获机挂接方便，动力灵活，国外大多采用牵引式，该类机型的缺点是机组较长、转弯半径大、作业前需人工开道，主要适用于农场等大地块作业，不适合在丘陵山区作业。

3. 玉米收获机械化关键技术

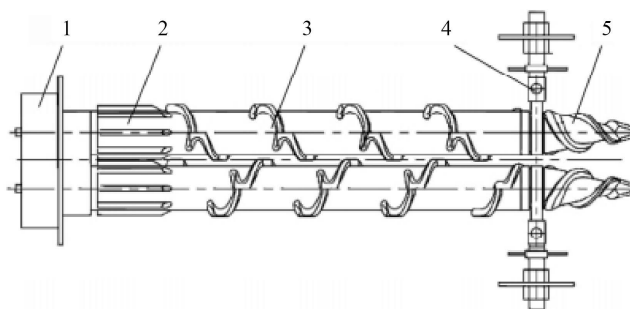
玉米收获机想要完成玉米收获工作,主要依靠其摘穗装置以及剥皮脱粒装置的配合来完成收获工作。国内对于玉米收获机的研究方向颇多,通过对于关键技术的研究来促进我国玉米收获机械化的发展,其最主要的是对于玉米收获机摘穗装置以及剥皮脱粒装置等的研究。

3.1. 摘穗技术

摘穗是玉米收获的第一道工序,摘穗装置是玉米割台的核心部件,摘穗装置主要是依据果穗与茎秆的直径差异及结穗点与其他部位茎秆连接力差异实现摘穗作业。摘穗技术的好坏将直接决定玉米收获机的工作效率,落穗损失和落粒损失是玉米联合收获机摘穗割台作业损失的主要来源。

3.1.1. 摘穗机构

现阶段市场上可见的玉米收获机械,按摘穗装置结构的不同主要分为卧辊式、立辊式及摘穗板组合式摘穗装置等几种形式[11]。卧辊式摘穗装置主要由摘穗辊、喂入链、变速箱和摘穗间隙调节结构等组成[12]。如图5所示为卧辊式摘穗装置。工作时玉米茎秆从喂入链条夹持输送至摘穗辊的引导段,引导玉米茎秆进入摘穗段,由相互配合的两个摘穗辊将玉米穗摘下。



1. 变速箱 2. 摘穗辊后段 3. 摘穗辊中段 4. 摘穗间隙调节机构
5. 摘穗辊前端

Figure 5. Horizontal roller type ear plucker

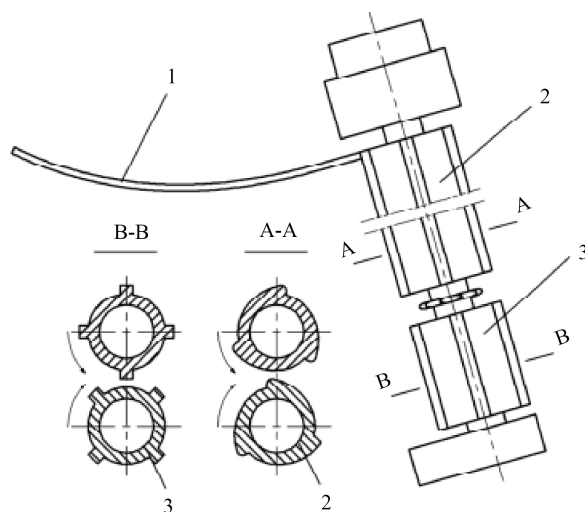
图5. 卧辊式摘穗装置

立辊式摘穗装置主要由喂入链、上摘穗辊、下摘穗辊和挡禾板等结构组成,如图6所示。上摘穗辊和下摘穗辊为分布有凸棱的圆柱体,摘穗辊轴线所在平面与垂直面夹角大约呈现为 25° 。工作时玉米茎秆由喂入链条夹持输送,由上下两摘穗辊相配合将玉米果穗摘下。

摘穗板组合式摘穗装置主要由拉茎辊、摘穗板和喂入链条等组成,如图7所示。工作时玉米秸秆由喂入链条夹持进入拉茎辊引导段并向后输送至拉茎区,在拉茎区相对旋转的摘穗辊向下抓取玉米茎秆,在此过程中玉米穗被摘穗板摘下。

3.1.2. 摘穗装置研究现状及优缺点分析

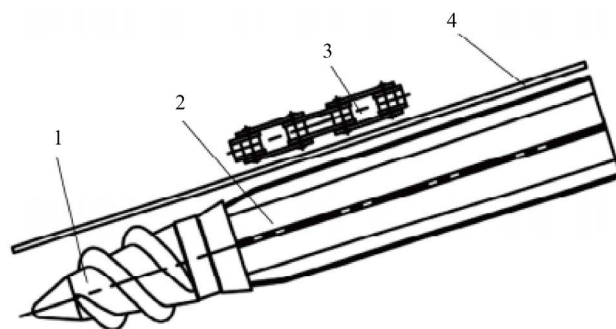
针对目前市场上出现的摘穗装置中所出现的问题我国学者近年提出了一些新的摘穗装置方案。如山东理工大学王骞[13]等提出的基于激振理论的玉米摘穗试验研究结合激振摘穗技术所研发的激振摘穗装置在高效低损的基础上,具有低功耗的特点,提高了摘穗质量,降低了收获成本。吉林大学孙国强[14]等设计开发了一种以模仿人手掰玉米为原理的玉米摘穗装置,为新型摘穗装置的提出提供了思路。山东农业大学张智龙等[15]针对我国玉米种植行距多样,割台行距固定、适应性差的问题,设计玉米梳脱摘穗割台。该割台主要由梳脱摘穗单体机构、防堵机构、分禾杆、输送搅龙以及传动装置等构成。



1. 挡禾板 2. 上摘穗辊 3. 下摘穗辊

Figure 6. Vertical roller type ear picker

图 6. 立辊式摘穗装置



1. 拉茎辊前端 2. 拉茎辊后端 3. 喂入链条 4. 摘穗板

Figure 7. Combined ear picking device with Ear Picking Board

图 7. 摘穗板组合式摘穗装置

目前的摘穗装置中卧辊式摘穗装置对不同玉米茎秆适应性强、功率消耗少、收获玉米果穗含杂少，但结构较复杂，不便于多行配置，易造成玉米籽粒破碎。立辊式摘穗装置果穗损失率较低、工作性能较好，但对玉米茎秆压缩程度较大，茎秆易拉断造成堵塞，较难与自走式摘穗机相配合。摘穗板组合式摘穗装置对玉米果穗损伤小，方便多行配置，但对茎秆冲击大，易造成断茎，功率消耗较大。

3.2. 剥皮技术

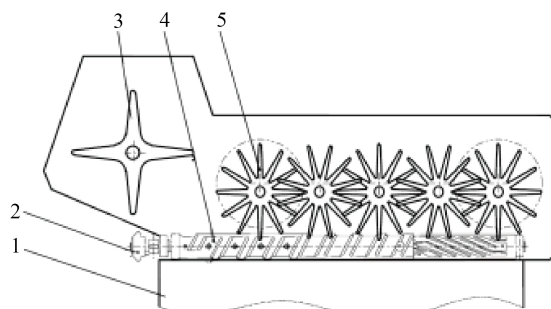
玉米果穗再收获时其外皮上回残留有大量的水分，外皮包覆性强，玉米粒无法及时托干水分，长时间容易发霉变质，导致损坏。通过玉米剥皮装置可以有效降低产量损失，提高产品质量。好的剥皮装置能够为玉米机械化收获提供巨大的帮助。

3.2.1. 玉米剥皮装置基本结构

到目前为止，国内研发的玉米剥皮机主要分为两大类：一是单独作业的玉米剥皮机，适合对收获后的玉米穗进行集中剥皮处理，防止在阴雨天气时，玉米由于不能及时剥皮而腐烂，影响产量；二是与玉米联合收获机配套使用的玉米剥皮装置。此类玉米收获机一次性作业可以完成对玉米穗的收获、剥皮、

运送和收集等作业，提高了作业效率[16]。

玉米收获机的剥皮装置一般是由机架、剥皮辊组、压送装置、分布轮以及传动装置等部分组成[17]，如图8所示。



1. 机架 2. 传动装置 3. 分布轮 4. 剥皮辊组 5. 压送装置

Figure 8. Corn Harvester peeling device

图8. 玉米收获机剥皮装置

其中，剥皮辊组和压送装置是剥皮装置的主要工作部件。剥皮辊组安装在压送装置的下方，两者之间留有一定的间隙。目前市场上的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。

3.2.2. 玉米剥皮机构存在的问题及改进研究

现有的玉米收获机上的剥皮机构多采用剥皮辊轴的组合。通过剥皮辊组和压送装置对于玉米果穗皮的摩擦作用来使玉米皮脱落。这样的剥皮方式对于摩擦力的大小难以把控，摩擦力过大会导致玉米粒受到强挤压作用导致损坏，摩擦力过小则剥皮不干净。目前，玉米果穗剥皮装置还没有将剥净率和损失率、破碎率统一到合适的地步。

对于剥皮装置的改进，目前应进一步加大对剥皮辊配置形式、外形尺寸等关键因素的研发，使其更加贴合玉米果穗的外形，提高剥皮装置的工作性能和剥皮装置的剥净率，减少果穗籽粒的损失和损伤。

针对目前剥皮装置存在的问题，吉林师范大学张会萍[18]等设计的自动化玉米剥皮装置改进了传统剥皮辊的材质、排列顺序，增加了喷水器，调整了剥皮辊、压送器等主要部件的相关尺寸及排列角度，极大地提高了玉米果穗的剥净率，降低了玉米果穗的落粒率。内蒙古民族大学蔺吉顺等[19]设计的立式玉米剥皮装置，采用的剥皮机的机架是一个竖立的圆筒包括机架和多对摩擦辊。工作时，玉米能够均匀分配到各对摩擦辊内进行剥皮。济南大学田帅等[20]等设计的一种新型玉米剥皮装置，通过改进剥皮辊的材料和排列方式，增加弹簧装置，大大提高了玉米的剥净率和生产效率，降低了伤籽率。

3.3. 脱粒技术

为满足对玉米的各方面加工需求，常常需要对玉米进行脱粒处理。因此，在玉米收获机械化技术的研究中，对于脱粒装置的研究也是不可忽视的。玉米脱粒机应能满足工作性能好、生产率高、适应性好和籽粒破损率低等条件。降低脱粒装置的功耗、增加玉米籽粒收获效益，实现玉米脱粒技术的高效低损脱粒是目前许多研究人员的研究重点。

3.3.1. 脱粒方法及常用装置

目前玉米进行脱粒的主要方法多为冲击、揉搓、碾压及振动等方式，目前我国使用最多的仍是挤搓式小型玉米脱粒机，其脱粒装置由滚筒和凹板组成[21]。脱粒装置根据玉米果穗的喂入方式分为全喂入式

以及半喂入式。全喂入式玉米脱粒机又分为纹杆式、钉齿式、双滚筒式以及轴油式等几种形式，如表 1 所示。

Table 1. Structure classification and characteristics of threshing device

表 1. 脱粒装置的结构分类及特点

类型	工作原理及特点	代表机型	生产厂家	
全喂入式	纹杆式	纹杆与穗头间相互打击碰撞，靠振动和惯性力与穗芯的连接，打击速度是关键。	5TY-26-130	重庆长宝田农业机械制造公司
	钉齿式	在钉齿的打击、齿侧面间和钉齿顶部与凹板间搓擦下完成脱粒，搓擦速度是关键。	5TY-10	黑龙江省白桦清选机械厂
	双滚筒式	受到脱粒装置速度由低到高的打击或揉搓强度由小到大的搓擦实现脱粒，脱粒过程较长。	5TY-30	山东肥城市泰山机械有限公司
	轴油式	玉米旋转的同时伴随轴向运动，在较低的打击速度和松搓下完成脱粒，脱粒过程很长。	5TY-0.2	重庆市农机研究所
半喂入式	只有穗头进入脱粒滚筒，籽粒破碎少，能耗低，有自分能力，但要求秸秆整齐，穗部集中，生产率低。	5TG-70	四川省佳信机械制造有限公司	

3.3.2. 脱粒装置研究方向及现状分析

为了找出适合玉米脱粒的技术手段，国内外研究人员做了大量研究。主要以玉米损失损伤、脱净率为指标，通过不同含水率、转速、喂入方式、脱粒部件和凹板间隙等为实验因素进行试验[22]。如山东理工大学王占滨等[23]设计了一种纵轴流柔性锤爪式玉米脱粒装置，并对脱粒系统的主要结构和关键部件进行了研究。山东华宇工学院孟凡召等[24]提出了一种新的自动化程度较高的玉米脱粒机来解决当前使用的玉米脱粒机自动化水平低的问题。北京信息科技大学马丽化等[25]在玉米收获机脱粒装置的尾端加入弹簧齿部分和压板机构，针对玉米脱粒机脱粒时存在脱净率低、破碎率高的问题设计了挤搓式玉米脱粒机。

4. 玉米收获机械化技术未来展望

随着科技的不断提高，玉米收获机械化已经成为目前玉米收获技术的主流选择，但目前所普及的机械化收获技术在栽培措施、环境因素和收割机械方面存在问题。玉米收获机械化技术应当能针对不同的玉米收获地区，研发出高效、大功率、宽割幅、大喂入量、高清洁度、籽粒低破碎率以及电子技术、导航技术、遥感技术和地理信息系统等先进技术相结合的智能玉米收获机型。将玉米收获机械化技术逐渐向智能化靠拢，解决制约玉米机械化收获发展的关键技术，大幅提高玉米种植经济效益，为农民增收和产业技术升级提供可靠的保障。

5. 结束语

我国玉米收获机械化技术正在不断提高，应逐步提高对于玉米收获技术的机械化和智能化指标以此来不断推动我国在玉米收获机械化技术水平。玉米收获机械化目前正逐步向智能化发展，针对于玉米收获机的关键部位进行智能化研究，满足我国玉米产业发展。并应深入研究玉米收获机驱动系统、摘穗装置、拨皮装置、脱粒装置等核心技术，加大研究力度和创新型结构设计来提高玉米收获产量和效率，促进我国农业发展。

基金项目

高层次人才启动项目(XJGC20190927)；贵州省科技计划项目(黔科合基础[2019] 1152 号)；国家级大学生创新创业项目(项目编号：202014440002)。

参考文献

- [1] 耿爱军, 杨建宁, 张兆磊, 张姬, 李汝莘. 国内外玉米收获机械发展现状及展望[J]. 农机化研究, 2016, 38(4): 251-257. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1003-188X.2016.04.052>
- [2] 崔涛, 樊晨龙, 张东兴, 杨丽, 李义博, 赵慧慧. 玉米机械化收获技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(12): 1-13. <http://dx.chinadoi.cn/10.6041/j.issn.1000-1298.2019.12.001>
- [3] 刘晶. 我国玉米收获技术研究进展[J]. 农业工程, 2020, 10(7): 39-42.
- [4] 瑞雪. 背负式玉米收获机存在问题及改进意见[J]. 当代农机, 2010(9): 18-19. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1673-632X.2010.09.007>
- [5] 张中锋. 4YW L2 型背负式玉米联合收获机的研制[J]. 农机科技推广, 2015(3): 50-51+53. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1671-3036.2015.03.021>
- [6] 平海全. 自走式玉米收获机的工作原理与优势分析[J]. 农机使用与维修, 2020(12): 29-30. <http://dx.chinadoi.cn/10.14031/j.cnki.njwx.2020.12.013>
- [7] 杜志远, 靳亚军. 4YZ-2 型自走式玉米收获机的研制[J]. 南方农机, 2020, 51(17): 56-57+67.
- [8] 牛文祥, 柳春柱, 于志成. 四行液压驱动自走式玉米收获机研制[J]. 现代化农业, 2018(5): 66-67.
- [9] 杜岳峰. 丘陵山地自走式玉米收获机设计方法与试验研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [10] 吴光华, 韩子鑫, 李君兴, 刘峰. 牵引式茎秆回收型玉米收获机的研究与设计[J]. 农业与技术, 2014, 34(6): 46. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1671-962X.2014.06.032>
- [11] 孙国强. 基于仿生玉米摘穗装置的摘穗辊优化研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [12] 王建廷, 李耀明, 马征, 胡必友, 虞顺成. 玉米收获机械关键装置结构特点及发展趋势[J]. 农机化研究, 2019, 41(9): 1-8. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1003-188X.2019.09.001>
- [13] 王骞. 基于激振理论的玉米摘穗试验研究[D]: [硕士学位论文]. 淄博: 山东理工大学, 2020.
- [14] 孙国强. 基于仿生玉米摘穗装置的摘穗辊优化研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [15] 张智龙, 崔涛, 耿爱军, 张姬. 玉米梳脱摘穗割台设计与仿真分析[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(5): 26-30+93. <http://dx.chinadoi.cn/10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2020.05.005>
- [16] 杨红光, 杨然兵, 尚书旗, 刘立辉, 崔功佩. 玉米剥皮装置的设计研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(3): 170-174. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1003-188X.2017.03.034>
- [17] 陈庆文, 陈志, 韩增德, 郝付平, 崔俊伟, 吴鸿欣, 冯小川. 我国玉米收获机剥皮装置的现状分析及展望[J]. 农机化研究, 2014, 36(10): 257-260.
- [18] 张会萍. 自动化玉米剥皮装置设计[J]. 自动化应用, 2020(12): 158-159+162.
- [19] 藺吉顺, 包玉成. 立式玉米剥皮机的设计[J]. 农机化研究, 2018, 40(3): 70-73. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1003-188X.2018.03.014>
- [20] 田帅, 宋翔文, 吴长忠. 一种新型玉米剥皮装置设计[J]. 科技创新导报, 2018, 15(9): 110+113. <http://dx.chinadoi.cn/10.16660/j.cnki.1674-098X.2018.09.110>
- [21] 张秀琴, 孙伟, 张力允, 张东生. 小型玉米脱粒机的研究现状及发展[J]. 农业机械, 2016(7): 113-115+117.
- [22] 相姝楠, 付君, 张屹晨. 玉米脱粒技术及装置研究进展[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 95-101. <http://dx.chinadoi.cn/10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2019.03.18>
- [23] 王占滨, 王振伟, 张银平, 闫文玺, 迟岩杰, 刘成强. 纵轴流柔性锤爪式玉米脱粒装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(S2): 109-117.
- [24] 孟凡召, 倪训训. 自动行进式新型玉米脱粒机设计[J]. 南方农机, 2019, 50(19): 17-18+26.
- [25] 马丽华, 朱春梅, 赵西伟. 挤搓式玉米脱粒机脱粒装置的改进与试验[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 252-256. <http://dx.chinadoi.cn/10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.062>