

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.08.002

连潇, 王建吉, 朱砚. 大豆收获机割台关键技术及损失研究现状分析[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(8): 08-13

Lian Xiao, Wang Jianji, Zhu Yan. Research status analysis of key technology and loss of soybean harvester header [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(8): 08-13

大豆收获机割台关键技术及损失研究现状分析*

连潇¹, 王建吉¹, 朱砚²

(1. 陇东学院智能制造学院, 甘肃庆阳, 745000; 2. 金川集团股份有限公司选矿厂, 甘肃金昌, 737100)

摘要: 割台作为大豆收获机的核心部件, 其技术性能直接关系到大豆的收获质量和收获损失率。针对割台仿形设计、割台高度控制技术、影响割台损失率的关键技术展开研究和分析。首先, 综述割台仿形机构与割台高度控制的结构、工作原理及关键技术, 对比分析国内外的研究差距。其次, 针对大豆炸荚、割台关键技术与割台损失的相关性进行深入分析, 探讨割台损失产生的主要原因和影响因素, 提出关键技术的改进建议。最后, 展望我国大豆收获机割台在多元化、智能化与自动化方向的发展趋势, 大豆炸荚生物特性及大豆收获机收获损失研究方面的发展趋势。研究发现, 我国现有大豆收获机存在割台仿形性能差、割台自适应控制技术滞后、割台损失率偏高等问题。同时有效揭示国内大豆收获机割台仿形机构、割台升降装置、割台的自适应性及割刀等关键技术存在的问题, 割台振动、割台位置与仿形及撞击力导致割台损失率高的原因, 为我国大豆收获机割台关键技术的突破创新及降低收获损失的进一步研究提供重要参考。

关键词: 大豆收获机割台; 割台损失; 仿形机构; 炸荚; 收获损失

中图分类号: S232.3; S23-01 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2024) 08-0008-06

Research status analysis of key technology and loss of soybean harvester header

Lian Xiao¹, Wang Jianji¹, Zhu Yan²

(1. College of Intelligent Manufacturing, Longdong University, Qingyang, 745000, China;

2. Beneficiation Plant of Jinchuan Group Co., Ltd., Jinchang, 737100, China)

Abstract: As the cornerstone of soybean harvesting equipment, the technical efficacy of the header significantly influences both the quality of harvest and the rate of soybean loss. This paper investigates and evaluates the pivotal technologies associated with header design profiling, header height control, and technologies impacting header loss rates. Initially, it provides a synthesis of the structure, operational principles, and critical technologies concerning the profiling mechanism and height control of the cutting table, while conducting a comparative analysis of research lacunae domestically and internationally. Subsequently, it conducts an in-depth analysis of the correlation between key technologies related to soybean pod ejection and header functionality and the ensuing header loss. Discussion ensues on the principal causes and influential factors contributing to header loss, alongside proposes enhancement strategies for key technologies. Finally, it looks forward with the development trend of soybean harvester cutting table in China in the direction of diversification, intelligence and automation, the development trend of soybean pod blasting biological characteristics and harvest loss research of soybean harvester. It is found that the existing soybean harvesters in China have some problems, such as poor cutting table copying performance, lagging cutting table adaptive control technology and high cutting table loss rate. At the same time, it effectively reveals the problems existing in the key technologies of soybean harvester cutting table copying mechanism, cutting table lifting device, self-adaptability of cutting table and cutting knife, and the reasons for the high loss rate of cutting table caused by cutting table vibration, cutting table position, copying and impact force, which provides important references for the breakthrough innovation of key technologies of soybean harvester cutting table in China and further research on reducing harvest loss.

Keywords: soybean harvester header; header loss; profiling mechanism; fried pods; harvest loss

收稿日期: 2023年4月18日 修回日期: 2023年7月11日

* 基金项目: 甘肃省农业农村厅农机装备补短板行动项目(njyf2023-06)

第一作者: 连潇, 女, 1983年生, 甘肃庆阳人, 硕士, 讲师; 研究方向为农业机械化工程。E-mail: 317808120@qq.com

0 引言

2023年中央一号文件明确提出,加力扩种大豆油料,深入推进大豆和油料产能提升工程。因此,关注大豆的机械化收获能力,对提高大豆的机械化水平和其产业发展十分重要。收获损失是影响大豆机械化收获质量的关键问题^[1],但大豆收获损失区域研究表明,我国大豆机械化收获损失明显高于国外,并呈现出北方地区高南方地区低的特点。大豆机收时的损失主要包括割台损失、脱粒和分离清选损失,表现为落粒、丢穗、漏割、脱不净、夹带、破损等^[2],其中割台损失约占总损失的80%,割台损失中落粒损失占55%,掉枝损失及倒伏占28%,割茬损失为17%^[3]。同时,炸荚是落粒损失的主要原因,主要由拨禾轮撞击、割刀振动及搅龙等原因造成,并且掉枝主要由拨禾轮的碰撞及位置过高,割茬、漏割与割台的仿形性和割台的高度调整有关^[4]。

目前,国内机械化收获技术基本成熟,现已进入短板问题突破阶段,但仍然存在大豆仿形割台的研究较少,割台的关键技术问题未突破,适用于复杂地貌的大豆收获机及割台基本空白和收获损失大等问题。因此,根据我国各地区地貌特点及种植模式,进行大豆的生物特性和机收割台关键技术的研究,对于减少大豆机收损失和提升大豆收获机性能具有重要意义。本文阐述大豆收获机割台及割台损失的研究现状,探讨我国大豆收获机割台存在的关键技术问题,并对割台的发展趋势进行展望,从而为大豆机械化收获的发展提供技术支撑。

1 割台关键技术研究现状

割台损失约占大豆机械化收获损失的80%,割台性能直接影响大豆收获机作业质量及损失率。国标要求:大豆机械化收获损失率 $\leq 5\%$,含杂率 $\leq 3\%$,破碎率 $\leq 5\%$,作业时应根据大豆底荚的高度及时调整割台,不能留有底荚或出现丢枝,不漏荚^[5]。因此,为保证收获质量并控制割台损失,需要解决两个关键问题:(1)因割台仿形不好、高度调整不当造成的漏粒损失和“泥花脸”问题;(2)因仿形性不佳、仿形机构与割台高度联动性较差导致振动太大引起的炸荚落粒损失^[6]。

1.1 割台仿形与高度控制研究现状

大豆联合收获机割台可分为刚性割台和挠性割台,其中挠性割台的切割器与割台柔性联接,工作时拖板始终与地面接触,实现上下、左右仿形,还可实现局部仿形,仿形能力优于刚性连接^[7]。割台的仿形关键是结构的设计,从而在较好实现仿形性能的同时保证

割台高度,且割刀的切割质量不受影响。早期的仿形装置结构如图1所示,其主要为简单连杆机械式结构。随着控制技术的不断发展,将传感器、控制器、电液驱动系统等用于仿形机构,可以逐步实现仿形机构的自动化与智能化。

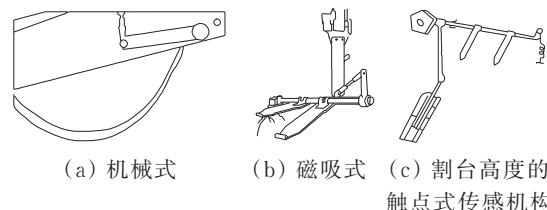


图1 几种割台仿形机构

Fig. 1 Several profiling mechanisms of header

1.1.1 国外割台仿形与高度控制研究现状

1974年,约翰迪尔公司50系列对行式大豆收获装置研制成功,次年在Hart Carter切割器的基础上研制的200系列挠性割台问世,自此大豆收获机拥有专用割台。其中200系列挠性割台是目前应用较广泛的四杆机构挠性切割器,其在增大仿形量的同时还能保持割刀处于水平位置,效率高、割茬低,可在较差的地面条件下作业,损失率低。随着国外农业企业的理论研究和水平提升,目前国外大豆收获机基本全部采用通过机械结构进行自动仿形收获的挠性割台^[8],并且研究者们仍然在不断地对割台结构进行改进设计。Lopes等^[9]为实现割台的贴地仿形功能,基于LQG/LTR方法提出了一种保证联合收获机割台高度最优的控制系统,显著提高了系统的抗干扰能力。Xie等^[10]证明了因收割台的机械结构和驱动机构相互作用导致回路传递函数受到影响,并建立了割台的高度控制系统。Shearer等^[11]将一种柔性割刀安装在带式输送机上,并在割台固定梁上安装了弹簧片,刀杆装在弹簧片上与割台柔性连接相对于割台上下弯曲移动,提供地面仿形。

此外,国外的收获机割台高度通过仿形自动控制,利用传感器及智能系统监测和调整割茬高度,如Xie等^[12]设计了一种将转臂的转动角度转化为角度传感器信号的检测割茬高度的传感器,从而计算出割茬高度,控制割台高度和改变仿形程度。

1.1.2 国内割台仿形与高度控制研究现状

目前我国比较成熟的大豆收割机割台研究大多基于200系列,该系列应用最广的大型收获割台为引进的约翰迪尔218系列大豆专用挠性割台。工作时,割台高度、弹簧变形量与拖板对地面的压力三者相互关联,当割台降低时弹簧板变形量减小,拖板对地面的压力变大,当割台升高时弹簧板变形量增大,拖板对地面的压力变小。同时作业时可根据地面的软硬程度及时

调整割台高度,从而保证拖板对地面的压力适宜,割台工作时既可将割茬、松土推倒,又不会因土壤壅到切割器上造成“泥花脸”。在保证不壅土到切割器的前提下,尽量降低割台,使弹簧板变得比较平直,保证喂入通畅以减少落地损失。

国内研究者们对割台的仿形与高度调节控制做了很多优化改进。毛卫民^[13]在218挠性割台上加装了电液自动仿形控制器,突破了由于国内无生产电液自动仿形控制器增加了挠性割台使用成本的问题。王林等^[14]设计了大豆挠性割刀装置,其挠性护刃器连同切割器可以根据地面高度产生一定挠度,并贴地上下浮动,从而减少漏割并提高大豆割净率。邢世军等^[15]设计了可实现局部自动仿形的挠性割台,可以在地面潮湿的情况下进行低茬收割,有效减少了割台的漏割损失。金诚谦等^[16]对大豆收获机割台仿形机构进行了优化设计,提高了联合收获机割台仿形机构对田间地形变化感知的灵敏度和对田间地形仿形的准确度。李泽瑞^[17]在谷稻谷联合收获机的割台基础上设计和改进了大豆仿形割台及调控系统,其中割台离地高度可自适应调控,拨禾轮前后位置可根据作业要求调节,有效减少了大豆的割台损失。

上述研究主要通过改进机械结构实现和优化割台仿形,还有部分研究者将智能监测系统引入割台系统,以便实时监测并调节割台高度,但是因地面状况、作业速度的影响导致监测误差较大。林连华等^[18]利用液压系统与CAN总线控制智能控制系统结合的技术设计了一种智能仿形割台高度控制系统,实现了割台仿形与高度的智能控制。姬魁洲^[19]基于PLD工作原理设计了一种多作物联合收获机割台高度调节装置,实现割台的高度检测及自动升降。张俊三等^[20]设计了割台高度与仿形控制系统,其可根据地表变化自动调整割台高度,从而实现割台离地高度的精确自动控制。廖勇等^[21]设计了一种采用单侧红外反射的方式监测收获作物高度的系统,实现联合收获机割台高度自适应调节,可实现割台上升和下降的快响应。

结合割台相关技术的研究现状,发现目前国外研究者在割台仿形机构、多功能性和割台控制技术智能化技术等方面形成比较成熟的研究成果,可通过自适应控制技术对作业场地和大豆植株特征进行实时监测和分析,并能及时自动调整割台的高度、角度控制整体仿形及拨禾轮与输送器的转速等,有效地减少了割台损失。与之形成对比,我国大豆收获机割台的仿形、高度控制技术取得一些研究成果,但仍处于发展初级阶段,需要进一步加强技术创新,注重短板突破。

2 降低大豆收获机损失率研究

大豆的机械化收获损失是大豆生物特性与机械结构共同作用的结果。大豆的生物特性决定了结荚部位低、易炸荚、漏割及掉枝等情况,因此在大豆收获机械化作业时其生物特性对割台的性能提出了更高的要求^[22],如切割速度、推运器的喂入速度、拨禾轮的转速及高度、割茬的高度等。

2.1 引起损失的大豆炸荚生物特性研究

炸荚也称为裂荚,是导致某些驯化作物产量损失的主要原因之一^[23]。对于机械化收获,大豆炸荚损失亦是主要损失部分,大豆炸荚一般在受到外力作用的时候发生,成熟期由于水分流失,豆荚皮干燥,含水率太低,豆荚及茎秆受到割刀的切割振动、拨禾轮的撞击等外力后,导致豆荚破裂,豆粒蹦落。此外,气候环境干燥的情况下也会存在豆荚炸荚现象,并且炸荚性与物料品种、含水率和外力作用直接相关^[24]。

大豆炸荚的因素包括内在与外界因素两方面。内在因素是在适应外界因素的过程中进化而来的一种适应机制,外界因素包括湿度、温度等环境因素和机械外力等^[25]。炸荚的发生是由荚果自身张力的内因与环境中的相对湿度等外因共同作用的结果。

1) 荚果的张力。炸荚的张力主要来自荚壁^[26]。荚壁的两瓣通过荚缝线处存在的大量细胞连接起来,随着果荚的成熟,水解酶会将一些细胞壁水解,减少了两瓣果荚壁间的结合强度,而木质化细胞增加了瓣膜从胚座框炸裂的张力,导致炸荚发生。另一方面,果荚壁内外层细胞中的木质化程度不同,随着果荚成熟过程中含水量的降低,内外层受到的作用力超过豆荚最大承载力时果荚将发生炸荚。成熟期大豆豆荚内部力学结构发生变化,当收割时受到振动、拨禾轮的打击等机械外力时,内部平衡遭到破坏更易炸荚。

2) 荚果的含水量和环境中的相对湿度。含水量是荚果开裂的环境影响因素,主要表现为含水量减少豆荚荚果内部张力改变^[27]。在大豆成熟期以后主茎失水严重,豆荚含水量减少,荚皮粘接力方向的改变和炸荚驱动力的产生是导致豆荚炸裂增加的两个内在因素。相对湿度 $\leq 25\%$ 时,会促进荚果开裂,相对湿度 $\geq 50\%$ 时,可以抑制炸荚的发生^[28]。因此,适时收获或者合理的人为干扰可以促进荚果和大气中的水分平衡,减少炸荚造成的损失。因此,机械化收获时必须掌握豆荚的含水率和最佳的收割期。

大豆的生物特性决定了割台必须保证合适的割茬高度,不能发生漏割;割台振动不能过大,拨禾轮的撞

击力与转速不能太大,否则容易引起大豆炸荚而增加落粒损失。针对这些问题,在改进大豆品种的同时,对大豆收获机的割台性能提出了更高要求。

2.2 大豆割台损失研究现状

2.2.1 国外割台损失研究现状

美国最初使用谷物联合收割机进行大豆收获,出现损失大的现象,为减少收获损失,对大豆收获机的研究逐渐增多。自从20世纪初以来,经过多年来对谷物联合收割机收割大豆的损失的研究,割台机械结构的改进、拨禾轮与搅龙的改良、输送形式的改进到大豆专用收割机、挠性收割台的研制均取得很大进展。更重要的是,200系列割台对大豆联合收获机割台研制及降损具有里程碑的意义,增大了仿形量的同时保持割刀处于水平位置,并且因切割器速度高、振动小,降低了大豆炸荚损失,拨禾轮采用尼龙弹齿降低了对豆荚的撞击力度。数据显示,国外收割机的损失率已从最初25%降低到目前低于3%的水平。

2.2.2 国内割台损失研究现状

从20世纪80年代至现在,国内针对大豆机械化收获的损失问题做了一系列的研究。赵学军^[29]对E512联合收割机收获大豆减少损失进行了三项改装,针对落粒损失将螺旋喂入搅龙的部分拨齿摘掉,减少了联合收获大豆的打击落粒损失。魏挺举等^[30]对减小E512、E514收获垄作大豆损失的措施进行了研究,指出可通过降低割刀速度和割台推进器拨指降低炸荚落粒损失。研究指出^[31],大豆联合收获损失主要为割台损失,占比80%,割台损失主要由炸荚、掉荚和掉枝、漏割现象造成,减少割台损失的有效措施,一是掌握收获期和作业时间;二是在保证正常作业的前提下,尽量降低拨禾轮的转速,以减轻拨禾轮对大豆植株的撞击造成的掉荚和炸荚;三是在保证不壅土造成“泥花脸”的情况下尽量调低拨禾轮的高度以减少漏割,从而降低掉荚和掉枝的损失;四是收获大豆时农艺要求割茬高度不得超过5 cm。刘基等从减少大豆机收损失出发,对大豆割台、输送装置、脱粒清选装置等关键部件的研究现状以及大豆收获方式、机理研究方法等方面的研究现状进行了梳理和总结。屈洋等^[32]研究了收获期对机械化收获大豆损失率的影响,结果表明,春(夏)播大豆品种机损率和破碎率随着收获期的延迟不断升高,而籽粒含水量随着收获期的延迟不断下降。

为了减少大豆收获机的割台损失,国内学者在美国气流输送大豆以减少损失研究的基础上,展开了大豆收割装置增加气流输送系统的研究,证明了气流拨禾原理的成立性,割台气流式输送可有效减少落粒损、

掉枝减少,但是该装置受底荚高度、地面条件、杂草等状况的限制。解鸿儒^[33]研制的一种大豆匀流输送割台,割台长度较长,在切割器与绞龙之间加装了气流辅助匀流输送装置,匀流输送割台可完成对大豆的拨禾、切割、输送和喂入的过程,不但使喂入量均匀,还避免了割刀上的大豆茎秆堆积问题,有效减少了炸荚、落粒、掉枝等损失。虽然气流辅助输送装置在降低的台损失方面效果明显,但易受地面状况以及割茬高度等因素的影响,结构还需研究改进。

国内外针对大豆机械化收获损失的研究结果表明,割台是造成损失的主要原因。欧美等农业机械比较发达的国家对大豆收获机割台的研究起步较早,具有先进的测试技术、仿真模拟技术、智能监测控制技术,可以综合考虑大豆特性、地貌、收割速度等问题,有效地降低了割台的损失率。国内在研究方法和技术上相对滞后,加之种植模式及地貌特征的影响,收获损失率较高,在与损失率相关的割台结构以及实时、高精度在线监测技术方面仍有较大提升空间。

3 存在问题

3.1 大豆收割机割台关键技术研究存在问题

表1提出了国内大豆收获机割台目前存在的问题及改进措施。

表1 国内大豆收获机割台的问题及改进措施

Tab. 1 Problem and improvement measures of the domestic soybean harvester header

序号	机构名称	问题	改进措施
1	仿形机构	仿形性能差、精度低、适应性差、易磨损、故障率高	根据不同地形采用不同的仿形机构;利用GPS、传感器、图像处理视觉等技术提高仿形机构的自适应仿形技术;引入人工智能技术进行割台仿形的自动化控制
2	割台升降装置	稳定性差、可靠性低、控制和操作方式不够灵活便捷	改良结构,增加防晃支撑;采用新机械结构;引进激光测距、智能控制系统等自动化技术;增加一键控制电动升降设备
3	割台的自适应性	控制精度低、反应能力差、自动化程度差、技术水平和创新能力低	研究割台自适应的原理和算法;引进机器视觉、激光测距、机器学习等先进技术;优化升级割台自适应性控制算法和智能化系统
4	割刀	割刀设计不合理,刀片支架、导杆等不稳定、刀片易磨损和断裂	根据大豆的生物特性设计专用割刀;优化刀片支架等的结构;优化割刀材料并应用表面改性技术增加割刀的耐磨性和使用寿命

近年来,国内对收割机割台的研究也开始侧重于仿形割台、割台高度控制系统与策略的研究,但有关大豆收获机及专用割台的研究大多是基于国外研究进行

的,缺少关键技术的自主知识产权,智能化和自动化技术水平低,引进改制的挠性割台结构复杂,成本高,在现阶段国内种植模式下推广应用比较困难。

3.2 大豆收割机割台损失率研究存在问题

割台损失的主要原因具体包括漏割损失、掉枝损失、落粒损失及最主要的炸荚损失。与之相对应的割台关键技术有:一是振动太大引起的炸荚落粒损失;二是割台位置不当、仿形性不好造成的漏割;三是机构冲击力太大造成的炸荚与掉枝。因此,突破割台的关键技术问题,合理改进割台关键装置的结构及工作参数,是降低大豆机收损失的重要手段。通过总结国内外的研究现状,将割台与大豆机收损失率的关键技术问题总结如表2所示。

表2 大豆收割机割台的关键技术及解决技术措施

Tab. 2 Key technologies and solutions of soybean harvester header

割台损失因素	相关机构	原因	解决的关键技术措施
割台振动	切割器	左右往复运动	提升割刀材质性能,增强切割能力,改进切割器控制机构
	拨禾轮、搅龙	旋转运动	安装旋转驱动元件、速度监测装置,及时降低转速
割台位置与仿形	割台高度调节装置,仿形机构	割台位置过高漏割,位置太低泥花脸;仿形机构不合理,仿形能力差	安装割台高度调节及检测装置;改善仿形机械结构,增强仿形板的弹性变形性能
冲击力	拨禾轮	速度过高、位置不当	配备拨禾轮位置和转速驱动元件,位移监测系统,及时降低拨禾轮的转速
		冲击力太大	采用如尼龙材料作为弹齿弹齿材料;减少拨指

4 发展趋势

4.1 大豆收割机割台的发展趋势

随着科技的发展,农业机械的智能化技术不断提高,大豆收割机割台应向多元化、全面智能化与自动化、可持续化方向发展。

1) 大豆收割机割台的多元化。针对不同地区和不同类型的大豆研究设计不同类型、款式和规格的割台。平坦地势与复杂地貌环境、单一种植与套种模式、区域化种植与规模化种植等不同的种植条件和模式,采用与之匹配的不同规格的割台、割刀类型及收割机型号,提高收割效率和质量,并减少损失。

2) 智能化与自动化。互联网技术、人工智能和大数据等技术的发展,为大豆收割机割台实现互联网远程监控、智能诊断等先进功能提供新的研究方向,实现全面的智能化,可提高大豆收获的数据化程度和作业

效率。同时,将自动化技术应用于大豆收割机割台,能够实现操作员对收割机割台的智能监控和自主控制,以提高作业效率。

4.2 大豆收割机收获损失的发展趋势

1) 针对减少炸荚损失的大豆炸荚生物特性研究趋势。以大豆的基因调控、蛋白质组学、激素等关键问题为研究点,展开降低大豆炸荚性的研究。基因调控的研究是探索影响大豆炸荚生长发育过程中的基因表达调控机制及基因功能的解析的理论研究方法;蛋白质组学研究是应用蛋白质组学技术,研究大豆炸荚的蛋白质组成变化、特征及相关分子机制的研究方法;植物的生长发育与代谢调节都是植物激素的作用,大豆炸荚性能的研究需要深入研究大豆的激素。研究大豆炸荚特性造成的损失,将基础研究和应用研究相结合是主要的趋势,将从生物特性的方向为优化大豆炸荚性能提供科学依据。

2) 大豆收割机收获损失的研究趋势。大豆收割机的收获损失包括割台损失、脱粒损失及清选损失,提高大豆收割机的智能化监测水平是及时调整收割机机构,减少收获损失的重要研究趋势。将传感器、物联网和数据分析技术用于大豆收割机,对收割机在工作过程中的损失进行实时监测并上传数据,通过数据分析、反馈及时调整收割机的作业速度、割台的高度与倾斜度、脱离与清选机构的作业速度及间隙,从而减少大豆收割机的收获损失。如何利用现代科技使大豆收割机的智能监测技术向着更高效、更精准和更智能的趋势发展是对我国农机科研人员的更进一步要求。

参 考 文 献

- [1] 罗屹. 中国油料作物收获和储存损失测算及其资源环境影响评估[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(2): 249—256.
Luo Yi. On farm harvest and storage losses of oil crops and the impact on resources and environment in China [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2022, 44 (2) : 249—256.
- [2] 陈度, 王书茂, 康峰, 等. 联合收割机喂入量与收获过程损失模型[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 18—21.
Chen Du, Wang Shumao, Kang Feng, et al. Mathematical model of feeding rate and processing loss for combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27 (9) : 18—21.
- [3] 冯晓静, 郑亚北, 刘洪杰, 等. 大豆联合收割机往复式切割器的使用维修技术[J]. 农机使用与维修, 2022, 310(6): 93—95.
- [4] 柳洪德, 马艳明, 孙叶强. 怎样用小麦联合收割机收获大

- 豆[J]. 农业机械, 2008, 568(4): 73.
- [5] NY/T 738—2003, 大豆联合收割机械作业质量[S].
- [6] 马雯, 屈洋, 王可珍, 等. 陕西省大豆机械化生产现状及发展对策[J]. 现代农业科技, 2021, 789(7): 46—47.
- [7] 孙桂芹, 任宝国, 初从伟. 218挠性割台收获大豆技术[J]. 新疆农机化, 2006(3): 59—60.
- [8] 刘英, 李铭. 大豆机械化收获技术要点[J]. 山东农机化, 2019(4): 35—35.
- [9] Lopes G T, Magalhaes P S G, Nobrega E G O. Optimal header height control system for combine harvesters [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2002(3): 81.
- [10] Xie Y, Alleyne A G, Greer A, et al. Fundamental limits in combine harvester header height control [J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2013, 135(3): 034503.
- [11] Shearer B R. Header with flexible crop cutting knife mounted on flex blades [P]. US Patent: 10, 791, 671, 2020—10—6.
- [12] Xie Y, Alleyne A, Greer A, et al. Header height control of a combine harvester system [C]. Dynamic Systems and Control Conference, 2010, 44175: 7—14.
- [13] 毛卫民. 218挠性割台加装电液自动仿形控制器[J]. 现代化农业, 1991(5): 32—34.
- [14] 王林, 邢立成. 大豆挠性割刀装置[P]. 中国专利: CN201263309, 2009—07—01.
- [15] 邢世军. 一种挠性割台[P]. 中国专利: CN211580707U, 2020—09—29.
- [16] 金诚谦, 刘岗微, 倪有亮. 等. 基于MBD—DEM耦合的联合收获机割台仿形机构设计与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 1—10.
Jin Chengqian, Liu Gangwei, Ni Youliang, et al. Design and experiment of header profiling mechanism for combine harvester based on MBD—DEM coupling [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(2): 1—10.
- [17] 李泽瑞. 多作物兼用型履带式联合收获机大豆仿形割台设计与调控系统研制[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
Li Zerui. Design of soybean profiling header and control system for multi-crop crawler combine harvester [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2022.
- [18] 林连华, 张春祥, 徐海港, 等. 一种收割机割台仿形智能控制装置[P]. 中国专利: CN201920910653.1, 2020—04—17.
- [19] 姬魁洲. 多作物收获割台仿形及拨禾轮转速匹配调控的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
Ji Kuizhou. Study on profile modeling of multi-crop harvesting cutting table and matching control of rotation speed of rotary wheel [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2022.
- [20] 张俊三, 薛世民. 割台高度仿形控制系统在收割机上的运用[J]. 新疆农机化, 2020(4): 5—6.
- [21] 廖勇, 向阳, 吴明亮, 等. 联合收割机割台高度自适应调节系统的设计与试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 326—329.
Liao Yong, Xiang Yang, Wu Mingliang, et al. Design and test of the adaptive height adjustment system for header of the combine-harvester [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(3): 326—329.
- [22] 王廷恩. 大豆联合收获机割台设计与试验[D]. 淄博: 山东理工大学, 2021.
- [23] 涂冰洁. 大豆炸荚特性形成机理[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2020.
- [24] 张跃进, 马赛斐, 高启云, 等. 黄淮流域主栽大豆品种炸荚性研究[J]. 河南农业科学, 2006(6): 56—59.
Zhang Yuejin, Ma Saifei, Gao Qinyun, et al. Study on the pod-shattering of main soybean varieties of Huanghuai Area [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006(6): 56—59.
- [25] 康翔. 大豆炸荚性及其相关基因功能的初步分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
Kang Xiang. Preliminary analyses of pod dehiscence and its associated gene functions in soybean [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [26] Liljegren S J, Ditta G S, Eshed Y, et al. Shatterpro of MADS—box genes control seed dispersal in Arabidopsis [J]. Nature, 2000, 404(6779): 766—770.
- [27] 杨德旭, 刘德军, 高连兴. 完熟期大豆炸荚力学特性试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2012(5): 66—70.
Yang Dexu, Liu Dejun, Gao Lianxing. Experiments of pod-split mechanical performance in period of soybean full ripe [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012(5): 66—70.
- [28] Funatsuki H, Suzuki M, Hirose A, et al. Molecular basis of a shattering resistance boosting global dissemination of soybean [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(50): 17797—17802.
- [29] 赵学军. E512联合收割机收获大豆减少损失的三项改装[J]. 现代化农业, 1987(4): 18—19.
- [30] 魏挺举, 朱丽娜. 减小E512、E514收获垄作大豆损失的措施[J]. 现代化农业, 1990(9): 24—25.
- [31] 黄振德, 汪曼, 孙德超, 等. 浅析大豆联合收获损失的原因及解决办法[J]. 农业机械, 2009, 611(11): 99.
- [32] 屈洋, 马红战, 刘洋, 等. 收获期对机收大豆损失率的影响[J]. 现代农业科技, 2019(13): 13—14.
Qu Yang, Ma Hongzhan, Liu Yang, et al. Effect of harvesting period on the loss rate of machine harvested soybeans [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(13): 13—14.
- [33] 解鸿儒. 大豆联合收获机匀流输送割台的设计与试验[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.