

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)03-0236-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.03.007

综 述

马铃薯收获机薯土分离装置发展现状

赵治明, 高 强, 吕金庆*

(东北农业大学工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 随着中国马铃薯主粮化进程和马铃薯产业发展的推进, 马铃薯总产量及单产量的目标需求逐渐增大, 马铃薯收获的机械化水平成为产业发展关键因素。这不仅可提高生产效率, 降低人工成本, 还可减少马铃薯收获过程中马铃薯块茎损伤。综述国内外马铃薯收获机薯土分离装置的研究近况, 分析国内外现存马铃薯收获机薯土分离装置的主要结构和工作特点, 并对未来马铃薯收获机发展方向作展望, 以期马铃薯收获机薯土分离装置研究提供参考。

关键词: 马铃薯机械; 收获机; 薯土分离装置; 现状; 展望

Development Status of Potato-Soil Separation Device of Potato Harvester

ZHAO Zhiming, GAO Qiang, LYU Jinqing*

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: With the progress in making potato a staple food crop in China and the promotion of potato industry development, China's demand for total and per unit area potato yields increases gradually, and the mechanization level of potato harvesting has become a key factor in industrial development. This can not only improve production efficiency and reduce labor costs, but also minimize the damage of potato tubers during the harvesting process. This overview introduces the recent research progress, analyzes the main structures and working characteristics of potato-soil separation devices for potato harvesters both domestically and internationally, and provides an outlook on the future development direction of potato harvesters, with the hope of providing a reference for the research on potato-soil separation devices for potato harvesters in China.

Key Words: potato machinery; harvester; soil separator; status; prospect

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)为中国重要粮食作物, 种植范围广, 中国马铃薯总种植面积和总产量均居世界首位。但中国马铃薯生产存在单产低、收获损失率高等问题, 与发达国家相比差距

收稿日期: 2024-05-05

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系岗位科学家专项(CARS-09-P23)。

作者简介: 赵治明(2000-), 男, 硕士研究生, 主要从事马铃薯机械化技术装备研究。

*通信作者(Corresponding author): 吕金庆, 教授, 主要从事机械设计理论及马铃薯机械化技术装备研究, E-mail: lj888886666@163.com。

较大,其主要原因为中国马铃薯收获机械研究起步较晚,且发展速度缓慢,部分地区机械化水平较低,收获作业过程中仍需依靠大量人力劳动。近年来,随着马铃薯主粮化进程推进,对马铃薯总产量以及单产量需求增大,马铃薯收获机械需求也随之增加^[1,2]。从整体看,中国马铃薯收获机械化水平正逐步提高,同时在基础理论和机械研发领域也实现突破,当前中国马铃薯收获机械化率约为40%,要实现2025年马铃薯收获机械化率达到45%,仍具挑战^[3]。

马铃薯机械化收获作业过程中,薯土分离为重要环节,薯土分离装置的结构和原理各不相同,主要结构形式有辊组输送式、摆动筛式、拨辊推送式、滚筒分离式、环形分离装置、振动分离式等。了解国内外马铃薯收获机械薯土分离装置研究现状,分析其结构特点和工作原理对创制更高效马铃薯收获机和提高中国马铃薯单产量具有重要意义^[4-10]。

1 国外马铃薯收获机薯土分离装置研究现状

国外马铃薯主要生产国的马铃薯收获机集成度高,发展速度快,技术水平较为领先。20世纪初期,苏联和美国就已对马铃薯收获机械技术进行深入研究,其技术处于领先地位,同时开始研制并推广马铃薯种植收获机械,20世纪中期已基本实现马铃薯收获机械化^[11]。20世纪末期,德国、法国、英国、意大利、日本、韩国等国家也相继推动并逐步实现马铃薯生产收获机械化。这些国家的马铃薯收获机械融合度较高,不仅作业高效,质量较高,还结合气压、气流、液压、光电等多种技术辅助挖掘,实现碎土并分离薯土混合物,同时结合各种传感技术,实时监控和调节收获机械的工作参数,降低作业时伤薯率,提高薯土混合物分离程度。

目前,国外马铃薯主要生产国已制造出集挖掘、分离、清选、装袋功能为一体的马铃薯收获机^[12,13]。国外马铃薯收获主要有联合收获机直接收获和使用多种机械分段收获两种方式。联合收获机直接收获马铃薯主要应用于马铃薯种植规模较

大、地势较为平坦的国家;多种机械分段收获应用于意大利、波兰、日本和韩国等面积小且分散的山地种植为主的国家,使用挖掘捡拾装载机配合固定分选装置进行收获^[14,15]。

联合收获机中代表机型有美国Double L生产的7340型牵引式大容量马铃薯收获机(图1)。该机型主要薯土分离装置采用宽度为1 219.2 mm升运链式薯土分离装置,薯土混合物在随升运链上升过程中,抖动轮不断驱动链条振动,去除体积较小且松散的土块。其余薯土混合物随升运链上升至橡胶充气辊筒处,经过辊筒间隙碾压,破碎并分离大块泥土,充气辊筒可保证在挤压块茎的过程中不造成块茎损伤。完成二级分离的薯土混合物升至三级清选装置,升运链振动分离薯土过程中,机组通过约707.92 m³的大容量鼓风机辅助吹除杂余土壤。而后,马铃薯经过最后一级除尘平台进行清理。多级式薯土分离装置分离效果显著,完成清选的块茎几乎不需要二次清理,分离后的泥土部分由升运链抛出机外,部分从升运链和除尘平台的预留缝隙落回地表,还有部分土壤在风机平台处直接被吹出机外^[16]。该机具大量使用橡胶等柔性材料,可有效减少块茎跌落、挤压和碰撞损伤^[17],多种土壤排出方式混合使用可减少雍土堵塞现象发生。此外,该机具各关键传动部件和工作部件均配备传感器,可随时监测机具工作状态,在机器发生异常时可及时排查处理,该机具在砂质土壤条件下作业综合性能优异。

DEWULF公司生产的Kwatro Xtreme自走式联合收获机(图2)由500马力的Scania DC13 Stage IV发动机驱动,采用先进模块化设计,便于功能部件快速拆卸更换。收获机前部挖掘机构和后部清选机构可根据不同农艺要求选配筛网,ADC割草机和清洁滚筒等模块配件可快速实现不同功能转换,前部挖掘部件配备除草辊,在挖掘薯土混合物时可同时除去马铃薯茎叶及其他杂物,完成初级薯秧分离,为后续薯土分离提供良好条件。其余混合物由输送装置传递至机器后部的分级清筛装置,经多级筛网、梳齿杆网、清选滚筒去除泥

土, 清洁后的马铃薯可暂存于料斗, 也可由升运装置抛出至其他运输机械。泥土在机器尾部和底部排出, 机器尾部选装的履带或超宽轮可确保收

获后地表平整, 压实度最小。除马铃薯外, 该收获机还可进行胡萝卜、洋葱、红甜菜等作物收获作业^[18,19], 实现一机多用, 具有良好经济效益。



图1 Double L 7340型马铃薯收获机^[16]

Figure 1 Double L 7340 potato harvester^[16]



图2 DEWULF Kwatro Xtreme收获机^[18]

Figure 2 DEWULF Kwatro Xtreme harvester^[18]

大型自走式联合收获机还有德国 Grimme 生产的 VARITRON 270 Platinum 马铃薯收获机(图3), 该机具的分离装置也采用多级分离结构设计, 分层配置辊筒和分筛网, 机组可选择多种分筛网孔径和滚筒间隙配置, 配置灵活, 适用于多种收获作业环境。作业时, 挖掘部件配备多种规格圆盘犁刀, 收获马铃薯的同时切断秧蔓和杂草, 将部分附着在马铃薯表面的松散土壤直接从挖掘部件侧面排出机外, 马铃薯进入薯土分离装置前完成一次薯秧薯土混合物分离。随后, 马铃薯顺筛板

链条进入机组的多级分选装置, 在输送过程中, 振动器不断振动输送链条, 使附着土壤从链条缝隙下落至地表, 块茎继续输送至机器尾部的纵向分层筛网分离装置, 马铃薯在筛网分离装置中不断滚动, 泥土从筛网间隙落下, 清选的块茎通过升运组件转移至料斗, 完成马铃薯薯土分离作业^[20]。收获机不同组件间均使用帆布隔开, 保持料斗内块茎洁净。



图3 Grimme VARITRON 270 Platinum收获机^[20]

Figure 3 Grimme VARITRON 270 Platinum harvester^[20]

比利时 AVR 公司研制的 AVR-Puma3 自走式马铃薯四行收获机(图4)于机器前部安装除秧机

构,降低挖掘装置工作阻力,同时减少进入薯土分离机构的杂物。该机具分离筛网具有3个偏心振动器,辅助薯土混合物分离,工作时,薯土混合物由升运装置转运至薯土分离机构,不同级筛网铰接处配有橡胶辊筒,在分离薯土混合物过程中避免块茎挤压受损。机器配备两组700 mm筛网和两组3 700 mm长筛网,在机器尾部安装滚子组,用于分筛和转移薯土混合物^[16]。相比Grimme VARITRON 270收获机,AVR-Puma3收获机尾部还有一组筛板链条用于分离薯土,机器料斗和分离机构间采用塑胶挡帘分隔,避免洁净块茎再次接触土壤。



图4 AVR-Puma3马铃薯收获机^[16]
Figure 4 AVR Puma3 potato harvester^[16]

上述马铃薯联合收获机均具有作业速度快、收获效率高、薯土分离率高、伤薯率低的优点,但因体积庞大且结构复杂,仅适用于广阔平坦的砂质土壤种植区。西南混作区种植面积占中国马铃薯总种植面积39%,多为丘陵山地小面积地块,且土壤黏重,含石率高,不适用大型联合式收获机^[21]。

2 国内马铃薯收获机薯土分离装置研究现状

中国马铃薯种植收获机械研制起步较晚,初期发展缓慢。近年,随着马铃薯种植面积和人工成本逐渐增加,马铃薯机械化水平低的问题引起关注,相关企业和单位在研究各国先进马铃薯收获机技术的基础上,研制多种针对中国种植模式的马铃薯收获机,推动马铃薯产业机械化飞速

发展^[22]。

中机美诺公司生产的1710A型联合收获机(图5)属于中型收获机,可单次进地分别完成马铃薯的挖掘、输送分离、除秧、输出转运等作业步骤,收净率高,伤薯率低,配合其公司生产的1900型马铃薯收获运输车可高效进行联合收获作业。该机具由100~140马力拖拉机牵引作业,整机采用两级式输送分离装置,在薯土分离过程中强制振动栅条完成薯土混合物分离。收获机升运结构采用四级折叠设计,方便存储,可在不同工作区之间运输转移,其升运链采用铸胶轮驱动,磨损小,可延长机器使用寿命^[23],保养维护间隔时间长,同时,胶轮也可减少升运时马铃薯碰撞、滚落和挤压损伤,降低伤薯率。机器前端安装浮动圆盘刀,挖掘的同时可有效切除杂草和部分薯秧以减少挖掘阻力,降低马铃薯茎叶、杂草藤蔓等进入机器卡阻运行风险^[24],同时减少进入下一级分离清选装置的杂物,从源头提高薯土混合物分离效率。分离的泥土直接从升运机构缝隙落回地表,马铃薯由升运装置转移装箱。



图5 中机美诺1710A型马铃薯联合收获机^[23]
Figure 5 Menoble 1710A potato combine harvester^[23]

除西南混作区丘陵地块外,中国北方一作区也存在许多小面积农田,大型联合收获机作业困难,分段式收获模式费时费力,缩减联合收获机尺寸和作业转弯半径具有重要现实意义。由甘肃农业大学团队研究的4U-1600型马铃薯联合收获机(图6)可适应各种复杂地形,逆向旋转的橡胶轮可高效分离秧薯,在薯土分离前完成第一级薯

秧分离作业,使用多级升运链式结构分离薯土混合物。在一级链顶部装有挡草杆,间距可调,适应各种薯类除秧除草需要,附有人工除杂平台,可进一步提高分离率^[25]。

东北农业大学团队研制的4U1Z型单行振动式马铃薯收获机(图7)对中国西南丘陵地区、黏重土壤区域具有较好适应性。该机具使用不同长度且末端弯折成一定角度的钢制栅条焊接在U型架上制成分离筛,作业时,拖拉机动力输出轴驱动偏心轮旋转,带动推杆使振动架往复振动。分离筛通过连接板与振动架和挖掘铲连接,在振动架驱动下做往复摆动,作业时,分离筛将薯土混合物不断抛起,泥土抖落后,从分离筛筛条间隙下落回地表。分离后的块茎从分离筛后部落下,集条铺放在垄上,便于后续分段收获马铃薯的捡拾,泥土从分离筛钢条间隙落回地表。在黏重土壤环境下,分离筛不间断振动可快速清理残留土壤,避免雍土堵塞。该机具明薯率、可靠

性、伤薯率分别为94.89%、93.41%和1.22%^[26],具有较强分离和输送能力,分离筛倾角和挖掘铲入土深度都可灵活调节以适应各种工况^[27]。该机具结构简单且分离效果优异,可适应丘陵山地黏重土壤环境下小面积地块的马铃薯薯土分离,满足收获作业要求,填补丘陵山地高效马铃薯收获机空缺。



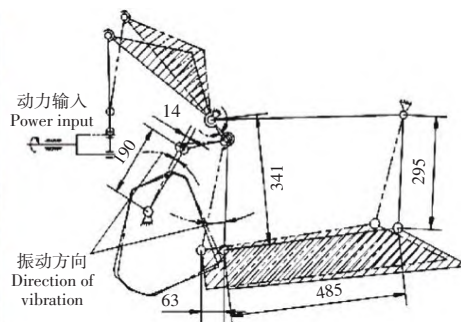
图6 4U-1600型马铃薯联合收获机^[25]

Figure 6 4U-1600 potato combine harvester^[25]



图7 4U1Z型单行振动式马铃薯收获机^[26]

Figure 7 4U1Z single-row vibrating potato harvester^[26]



“希森天成”4UX-170A+型马铃薯收获机(图8)行距可自由调节,适配多种作业参数,可同时完成马铃薯块茎与土块分离、马铃薯块茎与薯秧分离、块茎集条铺放,明薯率、可靠性、伤薯率分别为96.0%、95.3%和1.5%。机组作业时由92~118马力拖拉机牵引,挖掘深度可达30 cm。机组的圆盘刀装有限宽机构,可沿薯垄两侧切割土垡,斩断杂草,有效降低机具卡阻概率^[28]。挖掘时,整幅宽输送马铃薯块茎和土壤混合物,副铲阻止碎石等硬物进入分选装置损坏升运链。挖掘铲安装

可调节高度的仿形轮机构,使机具始终保持与地面平行,控制挖掘铲挖掘深度保持一致。该机型薯土分离装置为带有抖动轮的格栅输送链,抖动轮采用橡胶齿,在与钢制栅条啮合时,磨损小,寿命长,同时可避免较小马铃薯块茎卷入驱动轮造成损伤或机器卡阻,稳定性好,使用可靠。分离出的马铃薯块茎集条铺放于垄上,方便后续收集整理。“希森天成”4UX-170A+型马铃薯收获机具有高效薯土分离技术和薯秧分离技术,收获效率高。

图8 “希森天成”4UX-170A+型马铃薯收获机^[28]Figure 8 Transce 4UX-170A + potato harvester^[28]

3 收获机薯土分离装置存在的问题与展望

3.1 存在的问题

3.1.1 创新性不足

近年来,经各科研院所、机械制造厂家和高等院校不懈努力,马铃薯收获机械研发取得显著成果,但多数是基于国外现有机型进行研发,对于新的薯土分离装置结构和薯土分离原理探索较少^[29],在技术层面与发达国家相比仍有较大差距。中国研发的收获机多以中小型分段式收获机为主,这类机器薯土分离装置虽可满足大部分收获要求,但相比大型联合收获机薯土分离装置的效率仍有差距,中国对于结构更加复杂的大型联合式收获机薯土分离装置的探索仍处于起步阶段。

3.1.2 适应性不足

多数马铃薯收获机薯土分离装置在不同作业条件下的适应性仍有待提高。中国马铃薯种植区域广泛,从东北平原至西南山地均有分布,南北地区土壤特性不同,地形差异大,不同地区马铃薯块茎分布特征也不尽相同。西南混作区马铃薯种植面积占中国马铃薯总种植面积39%,当地存在大量丘陵山地种植区,这些种植区地形坡度大,土壤黏重板结,含石率高,仍以人工挖掘和分段收获为主^[30],适应疏松砂质土壤的薯土分离机构多为升运链式结构,在黏重土壤条件下易出现雍土堵塞情况;而适宜黏重土壤的振动筛式薯

土分离机构在大面积平原地区作业效率较低,亟待研制可适应不同收获条件的薯土分离装置^[31]。

3.1.3 对马铃薯块茎损伤影响规律的探究不够深入

中国种植马铃薯主要用于鲜食,因此要求马铃薯收获时损伤率较低,国外马铃薯收获后多通过深加工制作相关食品以及淀粉,对马铃薯收获机伤薯率要求较低^[28]。因中国收获机薯土分离装置多为模仿改进国外机型配置,需要考虑改进设计。目前中国马铃薯收获机薯土分离装置伤薯率仍处于较低水平,对马铃薯机械化收获过程中块茎损伤的研究不够充分,具有一定局限性,现阶段研究内容主要为马铃薯力学特性分析和收获机振动冲击分析等^[32-35]。对马铃薯收获机薯土分离装置在作业时具体工作参数变化和调整范围对马铃薯块茎损伤影响规律的研究较少,因此确定影响马铃薯块茎损伤的主要因素,对研发和改进更低损马铃薯收获机薯土分离装置具有重要意义,为同一种薯土机构匹配更多样的作业参数以适应更广泛薯土分离要求提供理论支撑^[36-38]。

3.1.4 薯土膜秧分离难度较大

中国马铃薯覆膜种植面积广阔,尤其在北方一作区和中原二作区。覆膜收获严重影响分离装置薯土分离效果,还会附加带来薯膜分离和残膜回收问题,残膜具有韧性,进入薯土分离装置后难以清理,易造成分离装置堵塞。目前中国针对覆膜收获和黏重土壤条件下收获的薯土分离装置

研制较少。此外,在进行马铃薯收获作业前,杀秧作业后,没有安装薯秧分离装置的薯土分离装置在作业时会因卷入大量未完全木栓化且具有韧性的薯秧,使含杂率提高。若在收获前不进行杀秧作业,安装有薯秧分离装置的薯土分离装置又会因为卷入杂草、缠绕秧蔓造成机具堵塞问题^[39]。因此,研发高效薯秧、薯土分离机构具有重要现实意义。

3.1.5 机械使用成本较高

为保证收获机保持良好工作状态,延长使用寿命,需要定期保养维护,除对机械零部件进行检查、润滑和更换外,还要对电气系统进行检查和维修^[40]。收获机薯土分离装置工作条件恶劣,零件磨损速度快,且卷入碎石或受土壤腐蚀等影响,均易造成不可逆的损伤,需要频繁更换轴承等易损件。结构复杂的薯土分离装置在进行维护时需要消耗大量人力、物力、财力,其中进口机型的薯土分离装置常配有复杂电路或油路系统,维护过程繁琐,零部件昂贵,还存在零件供应不及时等现实问题,维修进度长,影响收获进程。此外,部分种植区经济欠发达,农民收入水平较低,高昂的使用和维护成本会导致农民购买使用收获机械的积极性降低,阻碍当地马铃薯机械化水平提高。

3.2 展望

3.2.1 积极推进技术创新

持续推进技术层面创新,加强研究黏重土壤降阻降耗原理,深入探究马铃薯块茎在薯土分离作业过程中的损伤规律,对比不同作业参数对块茎损伤的影响,研制适合中国马铃薯种植收获特点的马铃薯收获机薯土分离装置。突破国外马铃薯收获机薯土分离装置技术难题,不应局限于模仿和改良,更应不断提升收获机薯土分离装置的工作效率、分离程度、工作稳定性等,使用更多如传感器、微机技术等先进智能控制手段,实现马铃薯薯土分离装置机械化、智能化,改良优化薯土分离装置机械结构,尝试以较简单可靠的机构实现复杂的薯土分离作业,最大程度降低人力劳动强度,提升薯土机械化分离效率^[41,42]。

3.2.2 提高薯土分离装置的适应性

马铃薯生长特点和种植环境不同,因此马铃薯收获机薯土分离装置需要具备适应不同生长环境和不同品种马铃薯的能力,设计马铃薯收获机薯土分离装置时应考虑种植密度、土壤类型、马铃薯品种等各种因素。薯土分离装置在满足作业效果的条件下应具有广泛调节范围,使机具通过简单结构调整就满足各种收获工况下薯土分离要求,同时应注意马铃薯收获机薯土分离装置与马铃薯收获农艺相结合,在尽可能不影响马铃薯产量和品质的条件下,通过协调收获机和生产农艺要求来规范马铃薯收获机作业环境^[43]。

3.2.3 降低使用成本

马铃薯收获机薯土分离装置的发展应系列化,提高零配件通用程度。生产时应提高制造和安装精度,提高材料耐磨损程度,延长使用寿命,减少非必要配置堆积。也可将薯土分离装置设计成可以完全独立于收获机工作的结构,使其灵活安装在其他机器上进行薯土分离作业,尽可能减少农民在购机后使用和保养成本。同时,应加大对马铃薯机械化收获的支持力度,包括农机购置补贴和农机作业补贴等优惠政策,尤其西南混作区的丘陵山区,应加大宣传力度,重视农民机械化作业必备技能培训,鼓励农民采用机械化收获技术,提高农民对机械化收获的认知和接受程度,以提高农民使用机械化作业的积极性。

[参 考 文 献]

- [1] 杨红光,胡志超,王冰,等. 马铃薯收获机械化技术研究进展[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 27-34.
- [2] Wang Z, Liu H, Zeng F, *et al.* Potato processing industry in China: Current scenario, future trends and global impact [J]. *Potato Research*, 2023, 66(2): 543-562.
- [3] 汪昕,杨德秋,李洋,等. 马铃薯机械化收获技术进展与展望[J]. 农机化研究, 2024, 46(9): 1-7.
- [4] 杨然兵,田光博,尚书旗,等. 马铃薯收获机辊组式薯土分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(2): 107-118.
- [5] 谢胜仕,王春光,邓伟刚,等. 摆动分离筛薯土分离机理分析与

- 参数优化试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 156–164.
- [6] Xie S, Lu K L, Deng W G, *et al.* Improved design and experiment of separating sieve for potato digger [J]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2023, 27(12): 966–972.
- [7] 杨然兵, 杨红光, 尚书旗, 等. 拨辊推送式马铃薯收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 119–126.
- [8] 刘嘉程, 魏梦阳, 康宏彬, 等. 基于滚筒式分离的马铃薯收获机设计与试验[J]. 农机化研究, 2021, 43(5): 96–103.
- [9] 杨然兵, 杨红光, 尚书旗, 等. 马铃薯联合收获机立式环形分离输送装置设计与试验(英文)[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 10–18.
- [10] 魏忠彩, 李洪文, 孙传祝, 等. 基于多段分离工艺的马铃薯联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(1): 129–140, 112.
- [11] 赵胜雪, 刘崇林, 胡军, 等. 国内外马铃薯收获清选机械研究现状[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(1): 78–83.
- [12] 李震, 常清, 刘继柱, 等. 国内外马铃薯收获机械发展现状及趋势[J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56(9): 207–208.
- [13] 吕金庆, 杨晓涵, 温信宇. 马铃薯收获机薯土分离装置研究现状与发展趋势[C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与美丽乡村. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2020: 5.
- [14] 赵庆亮. 国内外马铃薯收获机械研究现状及发展展望[J]. 农业工程, 2020, 10(6): 7–10.
- [15] 李智勇, 蒙贺伟, 李亚萍. 马铃薯收获机械研究现状及存在问题[J]. 新疆农机化, 2016(2): 19–22, 25.
- [16] 王虎存, 赵武云, 孙伟, 等. 马铃薯机械化收获技术与装备研究进展[J]. 农业工程学报, 2023, 39(14): 1–22.
- [17] 杨帆, 孙步功, 郑小宝, 等. 马铃薯收获机的研究现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(10): 4–10.
- [18] 余小兰, 林蜀云, 王太航, 等. 西南丘陵区马铃薯机械化收获技术与装备研究进展[J]. 南方农业, 2023, 17(17): 255–262.
- [19] Chen M, Liu X, Hu P, *et al.* Study on rotor vibration potato-soil separation device for potato harvester using DEM-MBD coupling simulation [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2024, 218: 108638.
- [20] 张兆国, 李彦彬, 王海翼, 等. 马铃薯机械化收获关键技术与装备研究进展[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2021, 36(6): 1092–1103.
- [21] 王法安, 曹钦洲, 李彦彬, 等. 丘陵区自走式马铃薯联合收获机设计与通过性试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(S2): 10–19.
- [22] 王淑红, 高爱民, 孟养荣, 等. 马铃薯收获机现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2023, 51(8): 12–16.
- [23] 窦青青, 孙永佳, 孙宜田, 等. 国内外马铃薯收获机械现状与发展[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(9): 206–210.
- [24] 吕金庆, 王鹏榕, 刘志峰, 等. 马铃薯收获机薯秧分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 100–109.
- [25] 杨小平, 魏宏安, 赵武云, 等. 4U1600型集堆式马铃薯挖掘机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 83–92.
- [26] 吕金庆, 田忠恩, 吴金娥, 等. 4U1Z型振动式马铃薯挖掘机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 39–47.
- [27] Xin L, Liang J. Design of conveyor separation device for potato harvester and analysis of its vibration characteristics [J]. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 2022, 22(4): 1385–1392.
- [28] 希森天成. 希森天成4UX-170A+马铃薯收获机[J]. 农业机械, 2020(10): 39.
- [29] 郭林杰, 周奇. 丘陵区马铃薯收获机发展现状[J]. 河北农机, 2023(1): 13–15.
- [30] 程子文, 杨德秋, 汪昕, 等. 丘陵区马铃薯机械化收获发展现状及展望[J]. 农业工程, 2023, 13(11): 5–12.
- [31] 陈啸天. 马铃薯收获机的应用技术难点与使用注意事项[J]. 河北农机, 2023(16): 30–32.
- [32] 魏忠彩, 李学强, 孙传祝, 等. 马铃薯收获与清选分级机械化伤害因素分析[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(8): 63–70.
- [33] 员贝贝, 瞿江飞, 郑红斌, 等. 西北旱区马铃薯压缩力学特性研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(11): 57–62.
- [34] 谢胜仕, 王春光, 邓伟刚. 马铃薯碰撞损伤试验与碰撞加速度特性分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(1): 163–169.
- [35] 冯斌, 孙伟, 孙步功, 等. 收获期马铃薯块茎跌落冲击特性及损伤规律研究[J]. 振动与冲击, 2019, 38(24): 267–274.
- [36] Wei Z, Li H, Mao Y, *et al.* Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact recording technology [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2019, 12(5): 71–80.
- [37] Xin L, Liang J. A dynamic analysis on the potato conveying and separation system considering the acting force of a material [J]. *Transactions of Famena*, 2019, 43(SI-1): 35–42.
- [38] 刘兴, 杨珍, 薛建, 等. 马铃薯联合收获机械研究进展[J]. 农机

- 化研究, 2022, 44(5): 259–263, 268.
- [39] 吕金庆, 王鹏裕, 刘志峰, 等. 马铃薯收获机分离装置的现状与展望 [C]//屈冬玉, 金黎平, 陈伊里. 马铃薯产业与健康消费. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2019: 6.
- [40] 沈永成. 马铃薯收获机技术难点与使用注意事项 [J]. 农机使用与维修, 2021(5): 75–76.
- [41] Fu M, Li Q, Hao Y, *et al.* TRIZ aided innovative design of potato soil separating and conveying device for potato harvester [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2023, 44(3): 6.
- [42] Bulgakov V, Ivanovs S, Pascuzzi S, *et al.* Experimental research of quality indicators of operation of new potato harvester [J]. Engineering for Rural Development, 2022, 21: 701–707.
- [43] 柳国光, 王涛, 程林润, 等. 马铃薯收获农机农艺融合试验 [J]. 农业工程, 2021, 11(6): 28–33.

《中国马铃薯》简介

《中国马铃薯》创刊于1987年, 由中国作物学会马铃薯专业委员会创办, 是全国唯一的马铃薯专业科技期刊。创刊名为《马铃薯杂志》, 2000年更名为《中国马铃薯》。期刊现由东北农业大学主管主办, 中国作物学会马铃薯专业委员会为学术支撑。现为RCCSE准核心学术期刊(B+), 中国农林核心期刊(2020版)B类, 2021年度中国农业期刊优秀期刊。

《中国马铃薯》以繁荣和推动我国的马铃薯事业, 促进马铃薯科研与生产结合, 尽快把科学技术转化为生产力为办刊宗旨, 积极报道国内外有关马铃薯作物的学术研究、科研动态和实用技术的最新进展。主要刊登与马铃薯作物有关的遗传育种、栽培生理、病虫害防治、土壤肥料、贮藏加工、综述、产业开发、品种介绍等领域的学术和技术论文。读者对象是从事马铃薯作物全产业链科学研究和技术研发的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《中国马铃薯》被多个数据库或平台收录, 如: 中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、CNKI中国期刊全文数据库(CJFD)、万方数据中国核心期刊数据库(遴选)、JST日本科学技术振兴机构数据库(日)(2024)、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、超星期刊域出版平台、博视网、EBSCO数据库等。