

马铃薯机械化收获技术进展与展望

汪 昕, 杨德秋, 李 洋, 刘萌萌, 段荣鑫

(中国农业机械化科学研究院集团有限公司, 北京 100083)

摘要: 马铃薯是我国第四大粮食作物, 种植面积和产量均居世界第一, 但机械化收获技术水平与快速发展的马铃薯产业仍然不相匹配, 与欧美发达国家相比存在较大差距。为此, 基于国内外马铃薯机械化收获技术研究现状, 分别对马铃薯分段和联合收获中关键技术的研究进展进行归类 and 阐述, 并对马铃薯机械化收获技术发展趋势进行展望, 旨在为从事马铃薯机械化收获技术研究的工程技术人员提供参考。

关键词: 马铃薯收获; 机械化收获; 分段收获; 联合收获

中图分类号: S233.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2024)09-0001-07

DOI:10.13427/j.cnki.njji.20240018.015

0 引言

马铃薯是继稻米、小麦、玉米外的又一主粮, 有着耐寒、耐旱、耐瘠薄、适应性广等特点。根据国家统计局发布的《中国农村统计年鉴》, 2020年我国马铃薯种植总面积为4656km²。其中, 西部地区马铃薯种植面积达到3724km², 约占种植总面积的80%。农业农村部印发的《“十四五”全国农业机械化发展规划》中提出: 到2025年, 马铃薯收获机械化率达到45%。目前, 全国马铃薯收获机械化率约40%, 距离2025年45%的目标还有一定距离。

针对马铃薯机械化收获技术近年来的发展情况和研究重点, 结合笔者在课题和生产实践中的实际经验, 总结马铃薯机械化收获的技术要点和研究现状, 并对马铃薯机械化收获技术发展趋势进行展望, 可为本研究方向的学者提供参考。

1 马铃薯机械化收获概况

马铃薯为地下块茎类植物, 生长成熟后, 块茎生长在地下约13~22cm, 且果实相对其他作物较大较重。因此, 人工收获马铃薯劳动强度较大, 收获效率很低, 且随着农村人口老龄化加剧及劳动成本日益增加等问题日趋严重, 马铃薯机械化收获已成必然趋势。

国外马铃薯机械化收获技术研究起步较早。苏联在20世纪90年代初, 已研制出马铃薯收获机型16种, 10种是联合收获机; 90年代中期, 开始生产自走式联合收获机^[1]。美国在20世纪90年代已基本实现马铃薯收获机械化。目前, 国外比较先进的马铃薯收获机有德国GRIMME公司生产的SELECT 200(见图1)、EVO 280和VARITRON 470, 如图1所示。美国DOUBLEL公司生产的6500系列马铃薯收获机(见图2)、973马铃薯收获机等。这些产品将机、电、液一体化智能控制技术融入其中, 并在马铃薯输送分选过程应用了大量的柔性橡塑材料, 大大提高了马铃薯收获机的工作效率并有效减少了马铃薯收获过程造成的薯块损伤。



图1 GRIMME SELECT 马铃薯收获机

Fig.1 GRIMME SELECT potato harvester



图2 DOUBLEL 6560 马铃薯收获机

Fig.2 DOUBLEL 6560 potato harvester

收稿日期: 2022-09-20

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系基金项目(CARS-09-P25)

作者简介: 汪 昕(2001-), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, (E-mail) 2696524623@qq.com。

通讯作者: 杨德秋(1974-), 男, 吉林榆树人, 国家马铃薯产业技术体系岗位科学家, 研究员, 硕士生导师, (E-mail) yangdq@maen.com.cn。

我国幅员辽阔,马铃薯种植遍布全国各地,根据不同种植地区的地理位置与气候条件,可以分为北方一季作、西北一季作、西南一二期混作、中原二季作和南方冬作区。各种植区域对应的地理条件、农艺要求与机械化水平差别很大,其特点如表1所示。

表1 不同地区的马铃薯种植特点

Table 1 Characteristics of potato planting in different regions

种植地区	特点
北方一季作	1)地势平坦、地块大、规模化种植 2)高垄种植,宽垄单/双行,部分地膜覆盖或膜下滴灌 3)大型机械,全程机械化水平较高
西北一季作	1)70%以上山坡地、地块较小 2)种植模式多,耕作粗放地膜覆盖或膜下滴灌 3)中小型机械,机械化水平低
西南一二期混作	1)山区居多,大部分小地块 2)种植模式丰富,耕作较粗放 3)人工为主,机械化水平低
中原二季作	1)地理跨度大,地块大小中等 2)种植模式多,设施种植发展快 3)人工或中小型机械,机械化水平较低
南方冬作区	1)多数冬闲稻田种植,地块小而平,土壤粘重 2)垄作或畦作,覆盖 3)小型机械为主,机械化水平较低

国内马铃薯收获机械化技术发展较为缓慢,与国外相比有较大差距。受马铃薯栽培模式多样化、农机农艺融合度低的影响,我国部分地区,特别是丘陵山区马铃薯收获仍靠人力与畜力,通过畜力拉动挖掘犁收获,然后人工完成捡拾装袋。由于地理条件的限制,马铃薯收获机械化率很低。一些企业如青岛洪珠、山东思代尔、中机美诺(见图3)已经研发多款产品投放市场,当前面临的主要问题在于薯、土、秧分离不彻底及埋薯率高等。



图3 中机美诺1710型马铃薯联合收获机

Fig.3 MENOBLE 1710 potato combine harvester

根据马铃薯实际收获环境及农户自身选择,按收获工艺过程的连续程度,马铃薯机械化收获分为分段收获与联合收获。分段收获是先对马铃薯进行杀秧后,使用马铃薯挖掘机将马铃薯从土下挖掘出来,进行薯土分离、输送并铺设于地面上,再通过人工或马铃薯捡拾机完成捡拾;联合收获是指通过马铃薯联合收获机一次性完成挖掘到装车的功能。两种收获方式的优缺点如表2所示。

表2 分段收获与联合收获优缺点

Table 2 Advantages and disadvantages of segmented harvesting and combined harvesting

收获方式	优点	缺点
分段收获	薯块清洁度高、破损程度低	劳动强度大
联合收获	生产率高、劳动强度低	伤薯率较高

2 马铃薯机械化分段收获技术

2.1 杀秧技术

根据马铃薯种植农艺要求,在马铃薯收获前几天,应对马铃薯进行杀秧处理。这样,埋在地下的马铃薯表皮充分木栓化,在机械化收获时,破皮率可有效减少。马铃薯杀秧一般分为化学杀秧和机械杀秧,随着人们健康绿色的理念不断增强,利用化学药物进行杀秧的方式逐渐退出历史舞台,马铃薯杀秧机得到广泛应用。

杜宏伟等^[2]针对我国北方垄作马铃薯实际垄形,采用薯垄仿形刀轴与仿形地轮相结合的方式,设计了一种薯垄仿行的马铃薯杀秧机。吕金庆等^[3]设计的马铃薯杀秧机能够很好地解决打碎长度合格率差、带薯率高、土壤黏附严重的问题。彭曼曼等^[4]设计了一种四行马铃薯杀秧机,能大大提高马铃薯杀秧效率。

在马铃薯杀秧技术的研究中,杀秧机刀片的设计是马铃薯杀秧机性能表现最重要的因素。冯斌等^[5]设计了一种针对西北旱作农业区垄作种植的甩刀式马铃薯杀秧机,并以刀片线速度、刀片刃角和留茬高度为因素,以切割力和切断率为试验指标进行正交试验,得出最佳马铃薯杀秧机刀片工作参数。孙思宇等^[6]使用 ANSYS Workbench/Ls-Dyna 对杀秧机工作状态进行显式动力学仿真,以动刀片转速、刀具刃角、前进速度为变量;以杀秧机对马铃薯茎秆峰值剪切力最小为目标,得出马铃薯杀秧机最佳工作状态。辛青

青^[7]设计的马铃薯薯秧粉碎回收装置采用滚刀式旋转粉碎刀和定刀相互配合的方式粉碎薯秧。李晓军等^[8]基于滑切原理设计的等滑切角锯齿型切割刀片,经田间试验表明安装了该刀片的杀秧机作业效果可很好地满足马铃薯杀秧作业要求。

2.2 挖掘技术

马铃薯收获机上挖掘装置的作用是挖掘出埋在地下的马铃薯薯块。对于马铃薯收获机上各种挖掘铲的特点和适于土壤的性质,孙步功、杨帆等做了以下概述,如表3所示。

表3 各形式挖掘铲特点及简图^[9-10]

Table 3 Features and diagrams of various types of digging shovels^[9-10]

铲型	特点	简图
三角形平铲	入土阻力小,铲面张角一般小于 120° ,易切断杂草,防止缠草;碎土能力差,牵引阻力大,易出现漏挖、伤薯现象	
多片铲	入土性好,收获效率高;出土量大,易发生壅土,碎土性差;牵引阻力大	
凹面铲	入土性能较好,使土壤发生挤压折断,碎土性好,出土量大,易发生壅土;牵引阻力大	
槽型铲	入土性好,减少了漏挖、伤薯;出土量大,牵引阻力大,易发生缠草现象	
条形铲	能减少漏挖,不易伤薯;入土性差,牵引阻力大,易发生缠草现象,碎土性不好,易壅土	
带圆犁刀的挖掘铲	入土性好,易切断杂草,可防止缠草;碎土性差	
带分离栅的槽型铲	减少了漏挖、伤薯,明薯效果好,碎土性好,出土量大,牵引阻力大,易发生缠草现象	
带防堵鼠笼纵向送土辊的槽型铲	入土性好,减少了漏挖,避免伤薯,明薯效果好,不易壅土;出土量大,牵引阻力大	

东北农业大学的吕金庆等^[11]设计了一种平面挖掘铲配分石栅的挖掘铲组件,通过在平面挖掘铲底部加装3个可绕销轴翻转的分石栅,可有效解决挖掘铲下侧的壅土问题。西华大学的李晓鹏^[12]等通过对蜈蚣前爪第一趾的仿生信息提取,设计了一种马铃薯仿生挖掘铲片,经过仿真分析,仿生挖掘铲片较普通挖掘铲片所受平均阻力减小近35%。昆明理工大学的王凤花等^[13]基于SolidWorks二次开发技术和MySQL数据管理,使用Visual Studio开发平台搭建了马铃薯收获机挖掘装置智能设计系统,有效提高马铃薯收获机挖掘装置的设计效率。

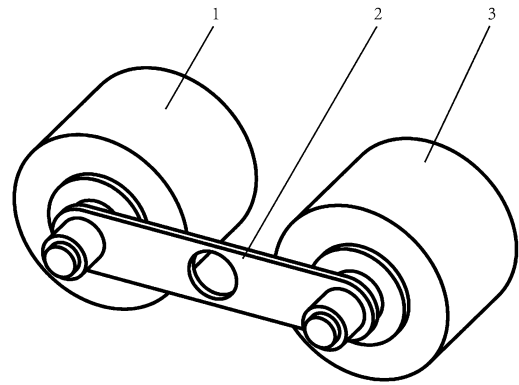
由于马铃薯薯垄高度不一,在马铃薯挖掘装置实际作用时需要对其挖掘深度进行仿形。国外,农机巨头GRIMME公司生产的GT170马铃薯收获机研制出液压仿形轮,实现了挖掘深度的仿形。国内大多数生产厂家采用机械结构的压土限深轮实现马铃薯收获机挖掘铲深度仿形。

2.3 薯土分离技术

薯土分离技术是马铃薯收获机中十分重要的技术之一,是影响马铃薯机械收获指标(明薯率)的重要因素。马铃薯收获机上的薯土分离一般采用抖动轮实现。抖动振幅小,频率低会造成薯土分离效果差;抖动振幅大,频率高易造成马铃薯破皮率、损伤率高。因此,低振幅高频率是马铃薯收获机抖动轮设计的宗旨。

离散元法是研究马铃薯收获机薯土分离效果时常用的分析方法。魏忠彩等^[14]利用离散元法仿真出马铃薯收获机不同波浪形筛面倾角分离过程中的土块运动姿态及不同分离筛运行速度下,土块抛弃跌落的速度。康宏彬等^[15]通过EDEM软件对滚筒筛式的马铃薯薯土分离装置中,马铃薯与土壤颗粒的分离输送进行仿真,并用Design-expert软件分析仿真得到的数据。结果表明:影响马铃薯输送分离率和分离时间的因素,由强到弱依次为切削角度、行进速度和滚筒筛转速。

在黏重土壤下,因为土壤含水率较高,黏附性较大,经过挖掘铲挖掘后,黏土大面积附着在马铃薯表面,造成马铃薯收获机薯土分离难度较大,给马铃薯机械化收获带来一定的挑战。吕金庆等^[17]设计了一种针对黏重土壤下的马铃薯收获机薯土分离机构,抖动器结构图如图4所示;同时,根据实际作业土壤条件及理论分析确定该抖动器工作振幅 $A=60\text{mm}$,频率 $f=6\text{Hz}$ 。



1.滚子1 2.连接片 3.滚子2

图4 抖动器

Fig.4 Dither

为适应不同地况使用,提高马铃薯收获机的普适性,设计人员都会在薯土分离机构中加入振幅调节装置,在机器实际作业中,操作人员可根据当地作业的实际情况通过调整振幅来达到更佳的薯土分离效果。图5为希森天成4UX-180B马铃薯收获机的抖动轮振动调节装置。

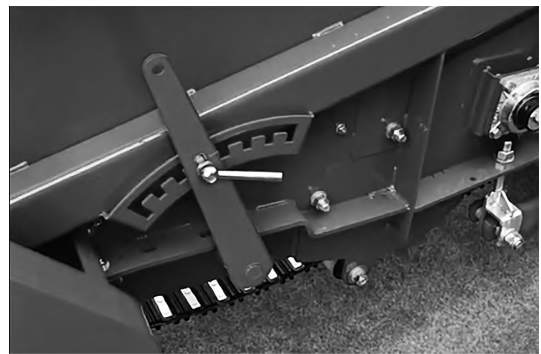


图5 希森天成4UX-180B振动调节装置

Fig.5 Transce 4UX-180B vibration regulating device

2.4 输送铺放技术

输送铺放技术是将完成薯土分离的马铃薯输送后,铺放于地表,需要在尽量减少破皮率、伤薯率的基础上,方便马铃薯捡拾机或人工后续的捡拾工作。

杨宏伟等^[17]设计了一种带侧向输出装置的马铃薯收获机,一次挖掘两行马铃薯,并将马铃薯输送至侧面垄沟。杨小平等^[18]设计的4U-1600型马铃薯挖掘机具有两级升运链式输送装置,一级土薯分离装置为皮带栅杆式,二级土薯分离升运装置为栅杆刮板式。梅红成^[19]设计了一种马铃薯二级升运器,能完成马铃薯二次升运、薯土混合物再次分离、马铃薯块的收集装袋或装筐工作。张建^[20]完成了对马铃薯收获机上的倾斜式输送器设计,并对倾斜式输送器在SolidWorks中建模后,输入到ADAMS中进行仿真,得

出倾斜式输送机模型 X 和 Y 方向上的质心、速度、加速度、接触力、张力及整体的动能等变化图象,并仿真出薯块在输送机上的渗透深度与运动轨迹。

魏忠彩等^[21]针对现有马铃薯收获机铺放环节防损能力弱的问题,设计出一种低位铺放双重缓冲的马铃薯收获机,采用两块橡胶制成的缓冲帘形成的两段缓冲段,减少了橡胶低位铺放造成的损伤,并根据薯块在两段缓冲段的运动方程,确定了分离筛的线速度和缓冲帘的距离。张德学等^[22]设计了一种定量堆放式马铃薯收获机,当收集箱中的马铃薯质量不断增加,直到大于弹簧预紧力时,收集箱绕转动轴翻转 90° 卸下马铃薯,堆放在田间一侧。青岛农业大学的潘志国等^[23]也设计出一种马铃薯定向定量堆放装置,在很大程度上降低了人工捡拾工作量。

2.5 捡拾技术

马铃薯捡拾技术是马铃薯分段收获的最后一步,需要单独的捡拾机将马铃薯收获机铺放后的马铃薯捡拾装袋;与传统人工捡拾相比,能大大降低劳动强度,提高工作效率。

时永等^[24]研制了一种小型马铃薯捡拾机,铺放在地上的马铃薯经过捡拾铲捡拾,再通过一段较小的分离输送链后,升运到后方的集薯箱;经过田间试验,除杂率较高外,其它指标均到达国家行业标准。王万虎^[25]设计了一种圆盘式的捡拾机构。

近年来,随着国内劳动力成本的不断升高和马铃薯收获技术的逐渐成熟,马铃薯捡拾机也逐渐受到马铃薯种薯大户的关注,国内马铃薯收获机研究企业也正在加紧研制,并逐渐推向市场。图6、图7分别是2022年8月份第三届久恩农业田间开放日中展出的勇猛公司和享锐公司研制的自走式马铃薯捡拾机,在田间试验时,引来大量农户围观,火爆异常。



图6 勇猛 4UZ-P16A 马铃薯捡拾机
Fig.6 YONGMENG 4UZ-P16A potato picker



图7 享锐 4UZ-2J 马铃薯捡拾机
Fig.7 XIANGRUI 4UZ-2J potato picker

3 马铃薯机械化联合收获技术

马铃薯机械化联合收获技术是集马铃薯挖掘、土薯分离、输送及装袋等于一体的马铃薯收获技术。与马铃薯机械化分段收获相比,马铃薯机械化联合收获技术伤薯率较低、生产率高,是大面积马铃薯机械化收获的最佳之选。

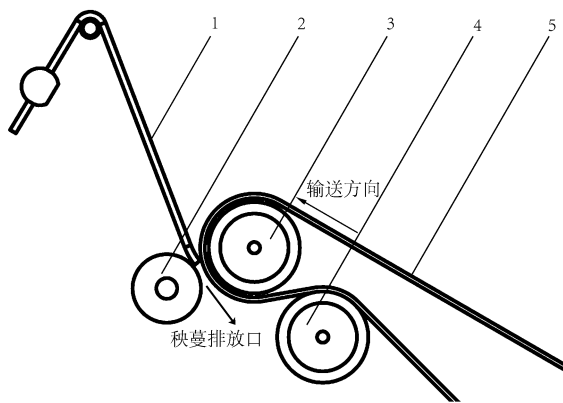
王学军等^[26]设计了一种针对丘陵山区使用的自走式小型化的薯类联合收获机,采用履带式行走底盘,并使用集薯箱用来集薯,可一次完成挖掘、输送、分离、捡拾和装箱作业。万恩超^[27]将机电一体化技术深度融合到农机具上,加入电子感应反馈控制技术,设计了一种牵引式马铃薯联合收获机。李洋等^[28]对马铃薯联合收获机的侧输出升运装车机构做了详细研究与设计,通过液压控制装置实现马铃薯联合收获机各级升运架的折叠与展开,并能很好地控制最终收获马铃薯的破皮率。魏忠彩等^[29]设计了一种马铃薯联合收获机,对松土限深调控装置、切土切蔓装置、挖掘装置、摆抖式薯土分离装置、过渡分离装置、清土除杂装置和集薯输送装置等做了详细的分析与研究,并对不同作业速度下薯块碰撞特征进行采样分析,得出分离筛 I 与分离筛 II 交接处和集薯输送装置的落料端是产生高幅值冲击的高发点。

对于马铃薯联合收获机,经过挖掘铲挖掘后,马铃薯秧蔓也会随着薯土一起进入链杆,故设计薯秧分离装置是非常必要的。国外 DoubleL 公司设计的 GALAXY 清洁台中(见图8),通过使用聚氨酯做成的藤蔓清除齿的反向旋转,在输送马铃薯的同时,能够通过齿与齿之间的沟槽卡住马铃薯藤蔓,旋转后,通过马铃薯藤蔓自身重力将其排除;同时,聚氨酯的使用,相比金属,能减轻整个机器的质量,并利用聚氨酯的弹性,能很好地减少马铃薯的损伤。国内,吕金庆

等^[30]设计了一种依靠对辊的运动,实现薯秧分离的装置,如图9所示。工作时,薯秧经过输送,在挡秧机构的阻拦下,进入摘秧辊和主驱动辊的缝隙中,由于这对辊相反的转向,秧蔓受摩擦力的作用被拽出排放,达到除秧的目的。



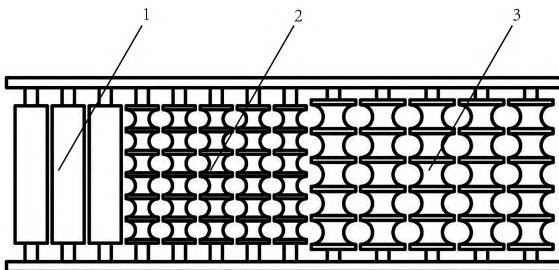
图8 DoubleL GALAXY 清洁台^[33]
Fig.8 DoubleL GALAXY cleaning table



1.挡秧杆机构 2.摘秧辊 3.主驱动辊 4.副驱动辊 5.升运链
图9 薯秧分离装置结构简图

Fig.9 Structure diagram of potato stem separation device

分级也是马铃薯联合收获机研究的方向之一。根据马铃薯大小、质量不同,马铃薯的市场价格也不同。在马铃薯分段收获中,马铃薯的分级一般是依靠人工捡拾过程中,由人自主判断,将马铃薯装入不同标识的收获袋中完成马铃薯的分级。在机械化收获中,马铃薯分级的实现可根据马铃薯尺寸、质量或颜色及表面光滑度进行分选。刘鹏霞^[31]设计了一种半月槽滚柱式分级装置,如图10所示。工作时,马铃薯经过圆柱输送滚柱输送后,按大小能否通过两级半月槽滚柱中的空隙,完成马铃薯大小的分级筛选。



1.圆柱输送滚柱 2.一级分离半月槽滚柱 3.二级分离半月槽滚柱
图10 半月槽滚柱式分级装置

Fig.10 Semicircular groove roller classification device

常超等^[32]设计了一种通过辊轴中心的距离实现

马铃薯分级的方式,并将其运用入4U-1400FD马铃薯联合收获机中,减轻了农民的劳动强度。

4 展望

1)随着我国马铃薯价格的逐渐回升,种植户购买力增强,国内外马铃薯机械化收获技术将进一步发展,会有更多的院所和新兴企业加入研发队伍,与之相配套的专用零部件供应厂商也会不断增多。

2)欧美发达国家将进一步追求高效率、复合功能联合作业技术为主,将把智能化作为重要攻克技术,进一步减少人员投入。与国外相比,我国是农业大国,也是马铃薯种植大国,国内马铃薯机械化收获市场前景广阔,种植农户对马铃薯机收兴趣大、需求大。国内马铃薯机械化收获研发团队应不断吸收国外先进的机器收获理念与技术并结合国内实际的种植环境与模式,加以创新与改善,重点为突破低损伤、高效收获。丘陵山区仍然以分段轻简型收获技术为主攻方向,要兼顾产品实用性和可靠性。北方一季作区地块较大区域逐渐向联合收获复合功能作业转变,逐渐尝试部分功能智能化。

3)以降低马铃薯伤薯率和破皮率等方面要有所突破,机、电、液一体化控制技术、材料、仿生学等跨学科的知识将推进我国马铃薯机械化收获技术进步升级。同时,考虑到马铃薯收获机械的受众群体是农民,在研发时,需要保证在农民能够接受的购买价格之内,不断提高产品质量与实用性。

参考文献:

[1] 张德学.新型马铃薯收获机的设计[D].泰安:山东农业大学,2014.
 [2] 杜宏伟,韩耀光,杨然兵.薯垄仿形马铃薯杀秧机的研制[J].农机化研究,2013,35(12):98-100,104.
 [3] 吕金庆,尚琴琴,杨颖,等.马铃薯杀秧机设计优化与试验[J].农业机械学报,2016,47(5):106-114,98.
 [4] 彭曼曼,吕金庆,孙贺,等.四行马铃薯杀秧机的设计[J].农机化研究,2019,41(2):98-103.
 [5] 冯斌,孙伟,王蒂,等.甩刀式马铃薯杀秧机的设计与试验[J].干旱地区农业研究,2014(4):269-274.
 [6] 孙思宇,李瑞,杨明金,等.基于ANSYS Workbench/LS-Dyna的马铃薯杀秧装置参数优化[J].山东农业大学学报(自然科学版),2021,52(5):799-804.
 [7] 辛青青.基于Fluent-EDEM的马铃薯秧粉碎抛送装置仿真与试验[D].泰安:山东农业大学,2020.
 [8] 李晓军,孙伟,张涛,等.收获期马铃薯茎秧切割及杀秧刀片设计与试验[J].干旱地区农业研究,2019,37(2):253-259.

- [9] 孙步功,李辉,吴建民,等.栅条式马铃薯挖掘铲的设计与试验研究[J].甘肃农业大学学报,2013,48(3):131-135.
- [10] 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.
- [11] 吕金庆,王鹏榕,李紫辉,等.马铃薯挖掘机关键部件的设计[C]//2018年中国马铃薯大会论文集,2018:298-305.
- [12] 李晓鹏,廖敏,胡奔,等.马铃薯仿生挖掘铲片及其减阻特性研究[J].农机化研究,2019,41(6):19-25,31.
- [13] 王凤花,熊海辉,赖庆辉,等.马铃薯收获机挖掘装置智能设计与评价方法研究[J].农业机械学报,2021,52(8):86-97.
- [14] 魏忠彩,苏国梁,李学强,等.基于离散元的马铃薯收获机波浪形筛面参数优化与试验[J].农业机械学报,2020,51(10):109-122.
- [15] 康宏彬,刘铭,王雷,等.基于 EDEM 的马铃薯收获机分离输送装置仿真分析[J].农机化研究,2022,44(5):1-8,16.
- [16] 吕金庆,孙贺,兑瀚,等.粘重土壤下马铃薯挖掘机分离输送装置改进设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(11):146-155.
- [17] 杨宏伟,高波,李洋,等.具有侧向输送功能马铃薯收获机的研制[J].中国农机化学报,2016,37(9):6-10.
- [18] 杨小平,魏宏安,赵武云,等.4U-1600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.
- [19] 梅红成.马铃薯升运收集装置的设计与试验[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [20] 张建.4M-2型马铃薯联合收获机优化设计与仿真[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
- [21] 魏忠彩,李洪文,苏国梁,等.低位铺放双重缓冲马铃薯收获机设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(9):140-152.
- [22] 张德学,秦喜田,梁荣庆,等.一种定量堆放式马铃薯收获机的研制[J].农机化研究,2019,41(12):74-79,91.
- [23] 潘志国,尚书旗,杨然兵,等.基于定向定量堆放的马铃薯收获机设计[J].农机化研究,2015,37(8):88-91.
- [24] 时永,闫小丽,朱瑞祥,等.一种小型马铃薯捡拾机的研制与试验[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):287-291,298.
- [25] 王万虎.基于离散元的马铃薯捡拾装置试验研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [26] 王学军,蒋金琳.小型薯类联合收获机设计与田间试验[J].农机化研究,2014,36(2):176-178.
- [27] 万恩超.牵引式马铃薯联合收获机的设计与试验研究[D].青岛:青岛农业大学,2018.
- [28] 李洋,高波,闫加永,等.具有升运装车功能的马铃薯联合收获机的研制[J].中国农机化学报,2015,36(5):50-53,66.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 刘鹏霞.单行牵引式马铃薯联合收获机的改进设计[D].兰州:甘肃农业大学,2009.
- [32] 常超,魏宏安.基于马铃薯联合收获机的分级装置研究与设计[J].农业与技术,2014(2):43-44.

Progress and Prospect of Potato Mechanized Harvesting Technology

Wang Xin, Yang Deqiu, Li Yang, Liu Mengmeng, Duan Rongxin

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Group Co., Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract: Potato is the fourth largest food crop in China, with both planting area and output ranking first in the world. However, the level of mechanized harvesting technology still does not match the rapidly developing potato industry, and there is a big gap compared with developed countries in Europe and the United States. Based on the research status of potato mechanized harvesting technology at home and abroad, this paper classifies and describes the research progress of key technologies in potato segmentation and joint harvesting, and looks forward to the development trend of potato mechanized harvesting technology, which provides a reference for engineering and technical personnel engaged in the research of potato mechanized harvesting technology.

Key words: potato harvesting; mechanized harvesting; segmented harvesting; joint harvest