

蔬菜机械化生产现状与标准分析

张唐娟 罗欣 郭翔 李旭 刘海 杜铮

武汉市农业科学院,湖北 武汉 430345

摘要:蔬菜是我国种植面积和产量较大的经济作物,其生产机械化水平关系着产业的健康可持续发展,对蔬菜机械化现状的综述涉及耕整地、播种育苗、移栽、收获等环节,归纳总结了我国学者的研究及未来发展方向;以全程机械化为关键词,统计分析了中国蔬菜生产机械化的标准颁布实施情况及武汉市的地方标准特点。最后总结了蔬菜生产全程机械化存在的问题,提出积极可行的建议措施,对于推进蔬菜生产全程机械化和提高标准化贯标水平十分必要。

关键词:蔬菜生产;机械装备;全程机械化;标准
中图分类号:S233.75 **DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2023.05.004

0 引言

我国蔬菜种植面积超过 2000 多万 hm^2 ,年产量超过 7 亿 t,居世界第一,是除粮食外种植面积最大的经济作物,也是发展农业农村,助力乡村振兴的重要支柱产业。蔬菜种植属于劳动密集型产业,田间管理、采收等过程对劳动力依赖性较强。人们对新鲜蔬菜需求增加,农业从业人员却减少,农业生产成本急剧提高,部分蔬菜的人工成本占售价的 60% 以上。

为提高生产效率,减少劳动力,蔬菜种植方式须由主要依赖人工逐步向机械化转变,然而传统机具通用性差、发展滞后且不平衡,在叶类蔬菜收获环节,多数地区的机械化应用几乎为空白,丘陵山区等地形恶劣生产环境下的蔬菜机械化水平更是主要农作物生产全程机械化中的“短板”,“机械换人、自动化减人”成为急需面对的问题。随着越来越多的学者开展以转变农业生产方式、提高产品作业效率为目的的优质农机的研究,并逐步实现“有机可用”向“有好机用”的转变,自动化、智能化的农业机械种田将逐步取代人工种植模式,成为发展现代都市农业的必然趋势。

本文主要对蔬菜全程机械化关键环节进行综述,涉及耕整地、播种育苗、移栽、收获等环节机械的研究进展与应用,统计分析了中国蔬菜生产全程机械化的标准颁布实施情况,最后对蔬菜生产存在的问题进行了总结,给出了促进蔬菜可持续发展的建议措施,具有一定的科学指导意义。

1 蔬菜机械化现状

美国、英国、意大利、日本等发达国家的蔬菜机

械化生产技术集成和创新水平已经迈向农业现代化。一些知名农机生产集团均有蔬菜生产机械,技术已趋于稳定成熟,在耕整地、种植、收获等各个环节均有成熟机具。受产品技术精细化,国内外生产模式、生产环境,价格垄断等因素影响,进口机具在我国的实际应用受阻,难以大范围内推广。

我国以“蔬菜机械化”为关键词的学术期刊、学位论文、会议、报纸、图书及成果中,其绝大部分研究为对蔬菜机械化发展及推广的思考、应用现状、问题与对策分析等,开展机具设计研究的较少。在精量播种、育苗移栽、收获及农产品加工环节机具缺口较大,仍需凝练科研力量开展创新性研发。

1.1 耕整地机械

耕整地是蔬菜机械化生产的初始环节,其作业完成后即可为蔬菜生长提供适宜的土壤条件,我国单一旋耕、开沟、起垄等作业机具使用较多,并在此基础上提出了精整地的作业要求,已实现集旋耕碎土、开沟起垄、平整镇压等联合复式作业机具的升级。

王序俭等^[1]研制出大马力拖拉机牵引的动力整地机,一个行程可完成粉碎、疏松土壤和平整镇压等多道工序,避免了对种床的多次碾压。张浪^[2]设计的蔬菜联合精整地机有效解决了碎土差、黏土严重的问题,土壤的细碎程度和地表的平整度达到蔬菜精耕细作的要求。张文斌等^[3]设计带手动调节装置的精整地机,增强了机具的适应性。刘金凯^[4]基于镇压力反馈的自动控制技术,设计一种可实时监测并调节镇压深度的镇压机构,提高了精整地作业后土壤紧实度的均匀性,以及机具对不同土壤环境的适应性。由此可见我国在耕整地机械的研发上具有较高的水平,实现了土壤细碎、深松保墒、地表平整、土壤紧实度可调等功能,解决了刀辊黏土的问题,并

基金项目:国家重点研发计划“特色园艺作物产业链一体化示范”(2020YFD1001103)

逐步引入振动监测及减振技术^[5]、智能控制技术,进行精细调节和控制,整机朝向集成式多功能一体化发展。

1.2 播种机械

我国蔬菜种子种植方式主要分为人工撒播、育苗移栽和机械直播三类。人工撒播依赖人工劳动量大,且效率低下、播种质量差,常常需要播种后间苗等操作。一般普通蔬菜品种的大规模种植采用机械直播,我国超过 2/3 的蔬菜栽培采用以先穴盘育苗后移栽种植为主的生产方式。

杜铮等^[6]为适应武汉地区的小粒径蔬菜种子播种作业,研制出一种小粒径蔬菜电动播种机,实现了开沟、播种、覆土、镇压等多项作业操作。张明慧^[7]研发的一种气力式小粒蔬菜种子播种机,种植模式适应性较强,一次进地可完成开沟、播种、覆土、镇压。李金凤^[8]研发了一种适合小粒径蔬菜种子的气吸式精密排种装备,结合精密排种理论,采用负压吸种原理,设计出一种满足单粒精量播种、通用性较好的气吸式精量排种系统。吴飞^[9]提出一种新型小粒径种子毯状育苗播种方案,以芹菜种子为研究对象,研制适合蔬菜类小粒径、异形种子的毯状苗播种装置,通过较为简单的结构实现小粒径蔬菜种子的机械化播种。张静^[10]研究了针对蔬菜育苗播种的精密播种技术,采用气力滚筒实现了一机播种多数叶菜类和茄果类蔬菜种子。吕海杰等^[11]应用高速摄像技术监测探索排种器落种对播种质量的影响,找到最佳投落点,实现了播种均匀一致。由于小粒径蔬菜种子几何形状差别较大,为解决不同外形种子直播的通用性,专家学者研究气力式排种已成为精密播种技术的主要方向,并开展堵塞、漏播等排种监测报警系统、最佳落种点等研究提高排种精度。

1.3 育苗移栽机械

育苗移栽有利于培养壮苗、缩短大田生长周期,番茄、辣椒、生菜、甘蓝、莴笋等株距较大的作物种植基本需要进行育苗移栽。育苗移栽时效性强,人工短时间内难以完成大面积移栽种植,且在调整不同的栽植行株距、深度及均匀性上经验性较强,水平差别大。

国内普遍使用半自动移栽机替代人工栽植的动作,仍需要人工操作机器并将钵苗从穴盘中取出投苗。潘杰^[12]针对设施移栽作业环境,设计了一种体积小、转弯半径小、只需单人操作的 2 行手扶式蔬菜穴盘苗自动移栽机。移栽机的全自动化进程中,综合考量结构、造价及维护成本、运行稳定性等因素,国内外推广应用较小^[13]。移栽机械的应用一定程度上解决了用工短缺问题,然而机械的通用性及适用性较

差,移栽后蔬菜的成活率、投苗准确性等也是未来关注的重点^[14]。

1.4 收获机械

收获是蔬菜生产中费力耗时最多的环节,平均约占整个生产作业量的 40% 以上,为保证新鲜蔬菜上市品质,适时收获十分必要。目前,部分地下块根类蔬菜(如马铃薯等)已经实现了收获机械化^[15],叶菜类收获及茄果类收获机械缺口较大,进口机具的国产化程度较低。小型机具生产成本低、能耗小,相对于人工作业效率高,被我国农户广为接受。

史志明^[16]融合莴笋种植农机农艺技术,研制一款单行侧挂式莴笋收获机,针对收获切割损伤难题,开展蔬菜茎部切割的影响因素研究,解决了实际收获难题。许勇强^[17]设计了一种结构简单、机电结合的小型电动叶菜类蔬菜收获机,实现了设施大棚或小块地蔬菜的自动化收获,叶菜类蔬菜长势一致时可以集中收获。胡杰文^[18]通过分析与空心菜具有共性的蔬菜,开展绿叶菜类蔬菜收获机的研制,进而提高其他绿叶类蔬菜机械化收获的通用性。刘东^[19]设计研制了一种鸡毛菜有序收获机,将有序切割、有序输送与有序收集等多道工序的优化组合,具有收获作业效率高、损伤率低、蔬菜品相好、商品率高等优点。杜冬冬^[20]以江浙地区的甘蓝为研究对象,结合虚拟样机技术与田间试验,试制了一种履带自走式甘蓝收获机,提出适宜于机械化收获的种植农艺规范,开发了一套动态称重系统。南京农业机械化研究所研制的茎叶类蔬菜有序收获机有效解决了蔬菜收获散乱的难题,通过更换割台或关键部件,可完成多种蔬菜的收获^[21]。我国蔬菜收获机械在割台高度可调节^[22]、割台整体结构优化^[23]上取得一定成果,并逐步将自动化技术应用到蔬菜收获装备上,未来自主导航、故障检测、割台行走仿形等技术也将集成到蔬菜收获机上,进一步提高机具操作性和工作性能^[24]。

2 蔬菜全程机械化及其标准现状

发展全程机械化对蔬菜规模化、标准化生产起着至关重要的作用,以“全程机械化”为关键词,全国标准信息公共服务平台收录的现行标准共计 127 个,主要为大宗作物——玉米、小麦、水稻、油菜等全程机械化生产技术规范,而涉及到蔬菜全程机械化的标准很少,现行的行业标准有《NY/T 3483—2019 马铃薯全程机械化生产技术规范》、《NY/T 3014—2016 甜菜全程机械化生产技术规程》、地方标准有江苏省《DB32/T 4280—2022 青花菜全程机械化生产技术规程》、黑龙江《DB23/T 2658—2020 马铃薯

全程机械化种植技术规程》、内蒙古《DB15/T 1845—2020 胡萝卜全程机械化栽培技术规程》。在耕整地机械上，现行标准有国际标准《BS EN ISO 4254—5—2009 农用机械. 安全性. 动力驱动耕地机械》，针对土壤耕作机械的连接架和牵引杆用连接臂架的主要尺寸、标准布置和高地布置的《农业机械 浅耕机具的牵引装置 主要尺寸和连接点》；在播种机械上，我国拥有《GB 10395. 9—2014 农林机械 安全 第 9 部分：播种机械》，对工作幅宽进行规范的行业标准《JB/T 9775—1999 农业机械. 播种、种植、施肥和喷雾机械推荐工作幅宽》；在收获机械上，有马铃薯收获机械国家标准，花生、甜菜收获机械试验方法标准。由此可以看出，地下块根类蔬菜的全程机械化水平较高，与 2.4 章节收获机械现状一致，蔬菜生产机械化、自动化、智能化等技术标准化方面，均存在许多尚待深化研究的内容^[25]，黑龙江、内蒙古、江苏省等耕地面积较大、农业较发达的省份更利于全程机械化、标准化的推广实施。

武汉市高度重视蔬菜机械化技术水平的提升，通过武汉新型标准体系与地方标准动态管理系统，查询关键词“机械化”，获得武汉市现有机械化相关技术标准 15 篇，其中，蔬菜相关标准 11 篇，如表 1 所示。武汉市在小白菜、韭菜、茼蒿、白萝卜、露地生菜(序号 1~5)等叶菜生产上颁布了全程机械化技术规范，其他均为部分关键环节机械化作业。武汉市尚有一定数量的技术标准文本资料，但标准的宣传贯彻工作均有欠缺，极易产生“标准无用”的印象，又进一步限制了标准技术真正运用于生产实践^[25]。

表 1 武汉市蔬菜机械化相关标准

序号	标准名称	标准号
1	小白菜生产全程机械化技术规范	DB4201/T525—2017
2	韭菜生产全程机械化技术规范	DB4201/T526—2017
3	茼蒿生产全程机械化技术规程	DB4201/T596—2019
4	白萝卜生产全程机械化作业技术规程	DB4201/T595—2019
5	露地生菜生产全程机械化作业技术规范	DB4201/T602—2019
6	毛豆生产机械化作业技术规程	DB4201/T387—2009
7	蔬菜钵苗移栽机械化技术规程	DB4201/T425—2013
8	马铃薯种植机械化技术规程	DB4201/T443—2014
9	设施蔬菜生产机械化技术规范	DB4201/T473—2015
10	速生菜大棚内机械化直播技术规程	DB4201/T492—2016
11	蔬菜穴盘精密播种机械化作业技术规程	DB4201/T554—2018

3 存在的问题与思考建议

综合我国蔬菜生产机械研究文献可以看出，目前各环节机械研究样机产出较多，真正大面积推广

实施应用的较少，存在的主要问题如下：

(1)总体水平低，各环节发展不均衡。十三五期间，蔬菜综合机械化率超过 30%，与大宗作物 70% 以上的机械化水平相比，差距仍然较大。蔬菜生产各环节发展严重不均衡，通用的耕整地和植保机械水平较高、应用广泛，精量播种、育苗移栽机械次之。当前，蔬菜品种繁多、栽培方式差异大，机械收获、产后加工等环节机械装备较为缺乏，尤其是叶类蔬菜和茄果类蔬菜，种植农艺粗放复杂，采收机械化力量比较薄弱。

(2)作业环节衔接差，标准难于统一。蔬菜生产全程机械化是一个有机的整体，作业环节多，要求各环节机械装备的连贯性和一致性。目前，耕整地、施肥、播种、植保、收获各环节间缺乏统一的参数标准，前期机具操作后，地块的平整度、行距等田地状态不适用于后续环节机具配套操作，影响机具使用效率，难以形成耕种收及产后处理全程机械化配套技术体系。目前，地下块根类蔬菜的全程机械化水平较高，全程机械化受区域性和土壤条件、地形地貌等影响较大。

(3)农机作业与农艺技术融合困难。促进农机农艺融合是加快推进蔬菜机械化发展的重要因素，蔬菜种植标准化是蔬菜机械化的前提和基础^[26]，已成为行业共识。农艺措施追求作物品质和产量，其耕作方式和栽培模式往往不适合农机作业。不同品种间隔套种、作物收获期长等问题导致农机配合操作困难。为解决“无机可用、无好机用、有机难用”现象，急需以机械化生产为前提，构建农机农艺紧密融合的蔬菜机械化生产技术体系，以提高蔬菜生产综合效益和科技水平，研发、改进设计适用于本国国情的农业机械尤为重要。

针对以上问题，提出如下思考建议：

(1)在收获装备加强全产业链研发与示范。①加大蔬菜收获环节机械装备的经费投入力度，开展基础理论研究。②有针对性地选择结球生菜、甘蓝等具有地区特色的“特种蔬菜”品种，设立专项资金支持机械化的衔接问题，坚持“全程考量”的原则，研制蔬菜全程机械化相关装备及其配套生产技术模式，注重现有全程机械化相关标准后期的贯标实施，加强后期考核，为蔬菜规模化生产提供指导。③发挥蔬菜产业技术体系的引领示范作用，参考上海市绿叶蔬菜产业技术体系建设、绿色菜生产机械化技术推广经验，尤其是鸡毛菜全程机械化的实践与应用经验^[27-28]，从都市农业发展需求出发，成立当地特色的蔬菜产业技术体系，加强对成果集成示范和高质量示范点建设。

(2)培育适宜全程机械化新品种。为发挥农机的最大效果,建议政策支持以适应蔬菜生产全程机械化为目标的作物新品种选育,在保证品种高产稳产的前提下,推进蔬菜轻简化栽培技术攻关,加快农机与农艺融合。

(3)完善农机社会化服务系统工程。建立网络化组织,成立龙头企业作为系统主阵地提供机械化耕作服务,农机科技人员组成专家服务队提供技术支持,家庭农场、农民大户从事农事生产经营活动,管理部门协调联动加强监管,力争做到“产学研用”互相补充,解决农业对劳动力的依赖问题。

4 结语

随着国家对农业机械化政策的支持,农机装备产业转型升级的推进,蔬菜生产机械装备在近些年得到了较好较快的发展,蔬菜全程全面机械化的问题将会是今后研究及推广的重点。面对收获机具欠缺、各环节机械装备的连贯性差、农业规模经济发展缓慢、蔬菜标准化难以贯标实施的问题,应合理借鉴国外的先进技术,制定科学的研究标准,研究适应我国土地条件定位的机型,真正满足市场的需求,这对于促进我国蔬菜规模化、标准化生产具有重要的意义。

参考文献:

[1] 王序俭,曹肆林. 新型整地机械—1ZD—4.0 动力整地机[J]. 新疆农垦科技,2006(2):48.

[2] 张浪. 蔬菜联合精整地机的设计与试验研究[D]. 北京:中国农业科学院,2015.

[3] 张文斌,程玉龙,张龙全,等. 1ZKPY—130 型精整地联合作业机设计与试验研究[J]. 农业装备与车辆工程,2016(4):21-24.

[4] 刘金凯. 精整地机设计与镇压力反馈控制技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2019.

[5] 冉文静,赵晓顺,霍晓静,等. 振动监测及减振技术在耕整地机械的应用研究[J]. 中国农机化学报,2022,43(6):32-42.

[6] 杜铮,舒虹杰,卢泽民,等. 小粒径蔬菜电动播种机的研制[J]. 中国农机化学报,2017:38(11):5-10.

[7] 张明慧. 小粒蔬菜种子播种机的研制[D]. 长春:吉林大学,2014.

[8] 李金凤. 小粒径蔬菜种子气吸式精密排种器的设计与试验研究[D]. 泰安:山东农业大学,2019.

[9] 吴飞. 蔬菜小粒径种子毯状苗播种装置设计与研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2016.

[10] 张静. 气吸滚筒式的小粒扁平种子精量播种机理研究[D]. 广州:华南农业大学,2017.

[11] 吕海杰,杨华,韩宏宇. 小粒蔬菜种子排种器落种对播种质量影响的研究[J]. 农机使用与维修,2018(1):3-5.

[12] 潘杰. 手扶式蔬菜穴盘苗自动移栽机设计及关键技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2019.

[13] 崔志超,管春松,杨雅婷,等. 蔬菜机械化移栽技术与装备研究现状[J]. 中国农机化学报,2020,41(3):85-92.

[14] 吐尔逊娜依·热依木江,马艳,于秀针,等. 蔬菜移栽机械的发展现状及分类特点[J]. 农机使用与维修,2021(12):22-23.

[15] 王建波,樊啟洲,田延庆,等. 马铃薯挖掘机关键部件的研究现状与展望[J]. 农机化研究,2011(1):244-248.

[16] 史志明. 单行侧挂式莴笋收获机研制与试验[D]. 雅安:四川农业大学,2020.

[17] 许勇强. 小型电动叶菜类蔬菜收获机设计[D]. 南京:南京农业大学,2017.

[18] 胡杰文. 小型多功能绿叶类蔬菜收获机的设计与优化[D]. 广州:仲恺农业工程学院,2014.

[19] 刘东. 鸡毛菜有序收获机关键部件的优化设计与试验研究[D]. 北京:中国农业科学院,2019.

[20] 杜冬冬. 履带自走式甘蓝收获机研究及称重系统开发[D]. 杭州:浙江大学,2017.

[21] 我国茎叶类蔬菜有序收获装备技术达到国际领先水平[J]. 农村百事通,2019(6):25.

[22] 高龙,弋景刚,孔德刚,等. 小型智能叶菜类蔬菜收割机设计[J]. 农机化研究,2016,38(9):147-150.

[23] 刘东,肖宏儒,金月,等. 基于 Ansys 的鸡毛菜收获机割台部分振动模态分析[J]. 农机化研究,2019,41(10):15-19,30.

[24] 王伟,吕晓兰,王士林,等. 茎叶类蔬菜机械化收获技术研究现状与发展[J]. 中国农业大学学报,2021,26(4):117-127.

[25] 刘义满,袁尚勇,魏玉翔. 湖北省蔬菜生产标准化体系建设现状与发展对策[J]. 湖北农业科学,2018,57(7):69-74.

[26] 陈永生,刘先才,高庆生,等. 发展蔬菜机械化必须推进种植标准化[J]. 长江蔬菜,2019(12):18-21.

[27] 夏焕,夏海荣,岳崇勤. 上海绿叶菜生产机械化技术推广做法及成效[J]. 农机科技推广,2021(3):27-29.

[28] 沈海斌,张兆辉,宋俊元,等. 上海地区鸡毛菜全程机械化生产实践与应用[J]. 长江蔬菜,2020(5):9-11.

作者简介:张唐娟,女,1987 年生,工程师、硕士。研究方向为蔬菜生产全程机械化技术应用推广和秸秆废弃物的资源化利用。杜 铮(通讯作者),男,1981 年生,高级工程师、硕士。研究方向为现代农业装备和先进农业机具研发、示范和推广。