

田间除草机械的机械化到智能化的发展

新吉勒图¹ 刘秀媛²

1. 通辽市农牧业装备发展中心, 内蒙古 通辽 028000

2. 科尔沁左翼中旗中等职业技术学校, 内蒙古 通辽 029300

[摘要]文中针对农田生长的杂草对于粮食生产的严重威胁, 以及通过化学技术除草带来的环境问题, 系统地梳理了田间除草机械从传统农具-畜力牵引-动力化中耕-智能精准除草四个阶段的发展历程。目前, 智能除草技术虽然已形成“精准识别-变量执行”的核心思路, 并且在图像识别、自动控制和多台机械协同方面取得了很大的进展, 但是在实际应用中仍存在技术不够稳定、硬件成本高昂、农艺适配性不高及产业化服务体系不够健全等多方面的问题。因此, 文章提出了通过多模态感知融合、边缘计算优化、核心部件国产化、模块化设计以及农机农艺深度融合等路径, 推动智能除草装备向高效、精准、绿色、实用的方向发展。研究表明, 智能除草机正逐步成为替代化学除草、实现农业可持续发展的重要技术装备, 未来仍需加强跨学科协同创新与标准化建设, 加速其规模化应用。

[关键词]田间除草机; 发展历程; 技术挑战

DOI: 10.33142/nsr.v3i2.20004

中图分类号: S233.3

文献标识码: A

Development of Field Weeding Machinery from Mechanization to Intellectualization

XINJI Letu¹, LIU Xiuyuan²

1. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Equipment Development Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

2. Horqin Left Middle Banner Vocational and Technical School, Tongliao, Inner Mongolia, 029300, China

Abstract: Aiming at the severe threat posed by weeds growing in farmland to grain production, as well as the environmental hazards caused by chemical weeding technologies, this paper systematically reviews the development course of field weeding machinery, which has evolved through four stages: traditional farm tools, animal-powered traction, motorized intertillage, and intelligent precision weeding. At present, intelligent weeding technologies have established a core framework of "precision identification – variable operation", and remarkable progress has been achieved in image recognition, automatic control and multi-machine coordination. Nevertheless, multiple bottlenecks persist in practical application, including unstable technical performance, high hardware costs, poor adaptability to agronomic requirements, and an incomplete industrial service system. Accordingly, this paper proposes development approaches such as multi-modal sensing fusion, edge computing optimization, localization production of core components, modular design, and in-depth integration of agricultural machinery and agronomy, to advance intelligent weeding equipment toward high efficiency, precision, environmental friendliness and practicality. The study demonstrates that intelligent weeders are gradually emerging as vital technical equipment to replace chemical weeding and facilitate sustainable agricultural development. In the future, greater efforts are needed to boost interdisciplinary collaborative innovation and standardization construction, so as to accelerate their large-scale popularization and application.

Keywords: Intelligent weeding machine; Development history; Technological challenges.

引言

农田杂草是指生长在农田中的一切非人工种植的植物, 已成为危害农业生产的重要因素^[1]。根据文献研究, 全球范围内由杂草造成的粮食作物产量损失率达 9.7%,

年粮食产能损失约 3 亿 t^[2]。

长期以来, 我国农田杂草防控高度依赖化学除草剂, 虽具有效率高、成本低的优势。而喷洒农药会产生农药残留, 导致农作物枯萎、发育不良、农作物减产等问题^[3]。

机械除草是我国使用最多的除草方式,使用不同的除草机构对杂草进行掩埋、切割等措施就能达到除草目的,而且机械除草的工作效率高,能够更加精准地清除杂草,并且不损害生态环境,也能够避免使用化学除草剂带来的危害,还能够对土壤进行疏松,有助于农作物根部供养,利于作物生长,符合绿色可持续发展趋势,因此近年来备受关注。与草坪除草不同,田间除草面临作物行距窄、杂草分布随机、作物与杂草形态相似、作业环境复杂多变等挑战,对除草设备的识别精度、作业适应性与作物安全性提出了更高要求。

本文旨在系统梳理田间除草机械技术的发展历程,分析当前国内外的主流技术架构与关键共性技术,探讨新型除草原理与智能系统的应用前景,为推动我国智能除草装备的研发与应用提供理论参考与技术路径支持。

1 田间除草机的发展历程

1.1 国外田间除草机的发展历程

自 20 世纪 50 年代以来,欧美、日本等发达国家便启动了除草技术的系统化研究,经过数十年持续迭代,已研发出爪式、指轮式、弹齿式、旋锄式、圆盘式等多种结构成熟的除草工作部件,这类机械在提升除草效率、降低作物损伤率上效果突出。其中,德国的爪齿式苗间除草机、日本的弹性齿式除草机应用最为广泛,同时多国仍在推进新型高端除草装备的试验研发。随着智能技术普及,除草装备正加速与 GPS 导航、机器视觉、光电传感等技术融合,智能化除草成为主流方向。德国 Werke 公司与奥斯纳布吕克大学合作,研发出搭载 GPS 导航的爪式除草机,其核心部件为可独立旋转的摆线爪式除草刀,刀盘转动时每把刀具均可自主旋转,有效避免与作物碰撞,搭配动态 GPS 导航,可自动完成除草与避苗作业,田间试验验证了其行株间除草的有效性和安全性。荷兰 Steketee 公司推出的 EC-Weeder 行株间除草机,机身后部配备 12 个摄像头,可精准识别作物行株位置,通过液压系统驱动各除草单元灵活横向移动,实现精准对行作业,且单体可根据作物类型、作业场景灵活更换除草单元,适配性强。意大利 Drimac 公司研发的 ZIP 小型株间除草机,依靠弧形除草刀快速铲挖完成株间除草,支持 1~6 个作业单元自由选配,还可根据作物株距调节铲挖频率,目前已能满足十多种蔬菜及粮食作物的除草需求。加拿大 UNIVERCO 公司生产的苗间松土除草机,以带多齿刀的水平圆盘为除草核心部件,由拖拉机牵引行进,通过动力输出轴驱动除草部件绕立轴旋转作业,适用于低速、大株距作物的株间除草与松土。国外机械除草研究已经向智能精准作业方向发展,

将图像识别技术、自动控制、传感器等技术应用在农业机械上,使得农业机械智能化,由此出现了各种各样的除草机器人^[4],还有很多采用高新技术的行株间除草机械正处在试验研究阶段。

1.2 国内田间除草机的发展历程

但我国对于田间除草机的研究起步较晚,从 1960 年才开始进行研究。我国田间除草机的研究正经历从传统机械化向智能化、绿色化深度融合的转型期。在历经几十年的发展下,我国在除草机领域也取得了很大的进展,开发出弹齿式、圆盘式、旋锄式等多种除草部件。但是我国与欧美等发达国家相比,还存在着一定差距。近些年来,随着电子、机械和自动控制技术的进步,国内研究机构和很多高校都已经开始探索智能除草机领域。国内田间除草机械的发展大致可分为四个阶段:传统农具阶段、畜力与机械牵引阶段、动力化中耕除草阶段与智能精准除草阶段。

传统农具阶段:机械除草的萌芽可追溯至农业文明初期,人类最初依靠手工拔草与简单农具如锄头进行除草,效率低下且劳动强度巨大。

机械与畜力牵引阶段:从 19 世纪工业革命,由畜力牵引的除草犁开始涌现,可利用机械部件来切断杂草根系。通过畜力牵引的除草犁与行间除草器在大田作物中应用,能够在作物行间完成松土与除草,但对于株间杂草仍无法处理,且容易伤及农作物根系。

动力化中耕除草阶段:在 20 世纪中叶,由拖拉机配套的中耕除草机是主要工具,由拖拉机牵引可以更换不同类型的锄铲或旋转刀具,来实现行间杂草的机械清除。这种设备作业的效率,适用于玉米、棉花、甘蔗等宽行距作物,相比较人力畜力阶段效率有大幅提升,但是存在作业精度低、伤苗率高的缺陷,而且对于行株间的杂草缺乏识别能力,属于是“盲除”作业。

智能精准除草阶段:进入 21 世纪以来,随着电子调速技术与液压控制的广泛应用,中耕除草机正逐步实现作业深度与宽度的自动调节,提高了作业稳定性。然而,智能感知技术与自主控制技术的引入才是真正意义上技术上的突破。目前,我国的研究内容不仅关注机械的除草效率,对复杂农田环境的适应性与作物安全性也更加重视。在技术成长的路径上,正在努力形成“精准识别-变量执行”的核心思路,结合人工智能图像识别技术,除草机可实时精准识别作物与杂草,智能调整横向偏移量,进一步减少伤苗情况^[5]。智能精准除草阶段显著提升了除草精度与作物安全性。目前,我国研究重点已从单一机械结构优化转向多学科交叉的智能系统集成,尤其在株间除草、窄

行距作业等高难度场景中寻求突破。另一方面,通过大数据与物联网技术^[6],实现多台除草机协同作业,依据农田不同区域杂草分布,优化作业路径,全面提升除草效率与质量,契合绿色、高效农业发展需求^[7]。

王文明等设计了一款振动式旋转玉米除草机,这款设备通过弹簧和凸轮等机构,使机构在旋转作业时对土壤产生振动切削效果,大大降低了作业功耗。利用 ADAMS 软件分析除草装置的作业机理,建立驱动旋转式振动型松土除草装置的运动数学模型,并且优化了除草刀与土壤的相互作用力。田间试验表明,该设备作业功耗为 1.95kW,与传统机型相比降低了 32%,碎土率达到 92.8%,满足中耕除草机的作业要求。

飞蓬螺旋刀立式松土除草机是由刘宝伟等人设计出来的,该机械的立式螺旋除草刀能够有效深入土壤表层进行除草作业和松土作业,并通过排草器及时排出切割的杂草以免发生堵塞现象。该研究建立了根系-土壤离散元的模型,优化了螺旋除草刀外形尺寸,使除草刀达到更好的效果。经过土槽试验和田间试验后发现该除草机碎土率为 95.00%,除根率为 95.30%,能够达到农艺需求。韩豹等发明出了一款玉米株间松土除草机,该机通过梳齿盘上的除草梳齿进行旋转作业,既能降低除草阻力,又能对苗带表层杂草根系进行破坏,从而达到了除草目的。该发明建立了锄齿的运动轨迹模型,确定了松土除草部件的结构参数与运动参数,并利用 Matlab 软件计算出最优参数。田间试验表明,该设备苗间除草率平均达 82.6%,满足去除杂草的工艺要求。抛推组合式草土分离除草机是由曹成茂等设计出来的,多适用于丘陵山地多碎石土壤的种植环境。该机采用带有刀齿的对称螺旋结构除草轮,在进行作业时土壤和碎石混合物推向两侧,同时将杂草抛向后方。田间试验显示,该设备的平均除草率达到 86.7%。杜伟等设计了一款智能仿生除草机。这款除草机的除草轮以栉孔扇贝瓣为仿生原型,利用有限元软件 ABAQUS 建立了土壤-除草轮的模型并优化除草刀设计,大大的降低了作业阻力。这款除草机还利用了机器视觉模块技术对株间杂草定点识别清除。田间试验表明,该除草机平均除草率达到 81.0%,满足去除杂草的效果。东北农业大学周福君等设计了一种凸轮摇杆式摆动型玉米株间除草装置。该机构是通过霍尔接近开关发送脉冲信号至单片机,控制电机旋转驱动凸轮摇杆机构运动,从而实现除草刀在玉米株间的往复闭合运动,从而完成避苗除草作业。熊文江等研制了一款 3FZ-1200 型辊笼式中耕锄草机。该机械由拖拉机牵引

提供动力,除草刀片依次入土,同时利用除草辊的旋转达到疏松土壤并连根拔起杂草的效果。草根被切断后,在离心力和机械振动的双重作用下与土壤分离并翻出地面,从而完成中耕除草作业。

2 智能除草机存在的问题及解决方案

智能除草机是我国现代农业重点发展的装备,也是我国实现农业现代化的重要发展方向之一,更是我国从农业现代化向农业智能化发展的重要方向。近年来虽取得很大的进展,但在实际推广应用中仍面临多重挑战。这些挑战涉及技术性能、农艺适配性、经济成本产业化等多个方面,需系统性解决。

最重要的问题就是技术性能方面的稳定性和适应性不足。当前智能除草机的识别算法大多数都是在理想环境下,在田间实际作业时,光照变化、作物遮挡、苗期形态相似和土壤地理因素都是重要的问题。杂草识别的准确率容易受到波动,因此存在误判与漏判的风险。同时复杂地形如丘陵、坡地及垄沟不平的地块,对除草机设备的底盘通过性、作业稳定性提出更高要求,现有设备在行进中容易因颠簸导致传感器位移,影响机械的识别与执行。另外,AI 视觉与激光技术与机械等部件的协同控制仍需进一步优化,特别是在高速作业的情况下,机械的识别-响应-执行的时间传输问题仍然存在。

这些技术与机械的融合普遍存在成本较高的问题,大多数设备仍处于试验阶段,还没有实现实际作业。这些设备在实际作业时的自主决策和精准执行仍需要人工干预,且设备大规模作业时难以实现全流程自动化,在实际应用中对复杂环境的适应能力还是不足。此外,田间实时图像处理需要强大的计算能力支持,而现有的边缘计算设备可能因处理延迟而导致除草操作滞后,从而影响作业质量和效率^[8]。

经济性与成本控制是推广使用的关键障碍。智能除草机应用了高精度传感器、边缘计算单元及智能执行机构,导致用户的购置成本高昂,远远超出传统除草设备的价格,对于中小型农户来说是难以承受的。虽然设备的长期使用可降低人工与药剂成本,但投资回报时间较长,用户采购意愿较低。同时设备维护也是因素之一,只能除草机的维护需要依赖专业技术人员,且维修成本高,大大地加重了用户的使用负担。智能除草机的国产化程度虽在提升,但部分核心元器件仍依赖进口,成本费用仍然较高。

作业模式与农艺适配性的兼容性问题明显。我国是农业大国,种植模式多种多样,种植作物的种类也是多种多

样,行距、株距、种植方式(如套种、间作)的差异性大,但是现在现有智能除草机更多的是针对特定农作物或特定地形的设计,不能实现全部适用。在苗初期与中后期生长阶段的不同,作物与杂草的空间关系也在动态变化,智能除草机很难实现全程适用。此外,农机与农艺技术标准缺乏协同,导致设备作业参数与实际农艺要求脱节,影响除草效果与作物安全性。

产业化与服务体系尚不健全。智能除草机仍处于示范应用向规模化推广过渡阶段,缺乏统一的技术标准与检测认证体系,产品性能参差不齐。售后服务网络覆盖不足,尤其在偏远农业区,设备故障响应慢,影响作业时效。同时,农民对智能设备操作与维护知识匮乏,培训体系不完善,制约使用效率。

针对上述挑战,应从多方面协同推进解决。在技术层面,优化边缘计算算法,降低响应延迟,提升实时性;改进底盘仿形设计,增强地形适应能力。在成本控制方面,推动核心传感器、控制器等关键部件国产化替代,降低整机成本;探索设备租赁、作业服务等商业模式,降低用户初始投入门槛。在农艺适配方面,加强农机农艺融合,建立作物种植-除草作业协同标准,开发模块化、可配置的除草执行机构,提升设备通用性。在产业化层面,加快制定行业技术标准与检测规范,健全售后服务与培训体系,推动智能除草机向实用化、规模化方向发展。

3 结语

田间除草机械正经历从“机械化”向“智能化、绿色化”的深刻转型。传统化学除草虽仍占主导,但其环境与生态代价促使行业加速探索替代方案。以机器视觉、人工智能与新型物理技术为核心的智能除草系统,正在重塑农田杂草管理的模式。未来,随着技术的持续突破与成本的逐步降低,智能除草装备将不仅服务于大型农场,也能惠及中小农户,成为实现农业绿色转型与可持续发展的重要

支撑。行业应加强跨学科协同创新,推动核心技术国产化、作业标准规范化与应用场景多元化,加快构建高效、精准、环保的现代田间除草技术体系。

基金项目:内蒙古自治区科技成果转化引导项目(2020CG0085);内蒙古民族大学科学技术研究项目(KYQD24004)。

[参考文献]

- [1]邢钦淞,丁素明,薛新宇,等.智能田间除草机器人发展现状研究[J].中国农机化学报,2022,43(8):173-181.
- [2]朱聪,曲春红,王永春,等.中国粮食全产业链的损失与浪费研究[J].农业展望,2022,18(8):76-83.
- [3]李恒菊,肖梦雪,黄楚峰,等.一款智能除草机的设计及验证[J].南方农机,2025,56(19):31-35.
- [4]傅雷扬,李绍稳,张乐,等.田间除草机器人研究进展综述[J].机器人,2021,43(6):751-768.
- [5]Kamilaris A, Prenafeta-Boldú F X.Deep learning in agriculture: A survey[J].computers and electronics in agriculture,2018(147):70-90.
- [6]QUAN Longzhe,FENG Huaqu,LV Yingjie,et al.Maize seedling detection under different growth stages and complex field environments based on an improved Faster R-CNN[J].Biosystems Engineering,2019(184):1-23.
- [7]TIAN Yunong,YANG Guodong,WANG Zhe,et al.Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model[J].Computers and electronics in agriculture,2019(157):417-426.
- [8]卢中华,袁灿,马征等.国内外中耕除草装备及其智能化技术现状及趋势[J].智能化农业装备学报(中英文),2026,7(1):129-135.

作者简介:新吉勒图(1967—),男,农业技术推广研究员,研究领域:农牧业机械化智能化、农机农艺融合发展。