DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2026.01.013

国内外中耕除草装备及其智能化技术现状及趋势

卢中华[1], 袁灿[2, 3], 马征[2, 3*], 李耀明[2, 3], 王帅[2, 3]

(1. 江苏林海动力机械集团有限公司,江苏泰州,225300; 2. 江苏大学农业工程学院,江苏镇江,212013;
3. 江苏大学智能农机装备理论与技术重点实验室,江苏镇江,212013)

摘要:中耕除草是田间管理中的关键环节,其作业效果直接关系到作物的产量与品质。目前,国内中耕除草作业主要依赖机械式工作部件完成,而化学和生物技术通常单独应用于除草作业。在以实现现代化可持续发展农业为目标的大背景下,高效的机械式中耕除草装备及其配套的智能控制技术逐渐成为行业发展的核心方向。欧美模块化农场依托其农田平坦连片的优势,重点发展以精准变量喷雾为核心的化学除草体系;日本则以精耕细作为特点,研发了多款适用于小田块的先进的中耕除草机,占据了国际农业装备市场的技术制高点。本研究从装备分类与应用、智能控制技术两个维度系统阐述了当前中耕除草技术的研究进展,总结了对转式、摆动式、固定旋转式和铲式4种行间及株间作业装备的技术特性;同时,围绕植株感知与识别、路径控制与决策两大方面,详细介绍了图像处理、深度学习、传感器融合及卫星导航等主流技术在智能控制领域的应用现状。结合国内外试验结果,进一步探讨了现有装备与控制技术在除草率、伤苗率、耐用性及适应性等方面的不足,并以此展望未来中耕除草技术将继续以高质高效为核心目标,重点聚焦智能、精准、绿色以及材料仿生技术的发展与融合。

关键词:中耕除草;对行控制;机械式除草部件;智能化除草

中图分类号:S224.1 **文献标识码**:A **文章编号**:2096-7217(2026)01-0129-07

卢中华, 袁灿, 马征, 李耀明, 王帅. 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

LU Zhonghua, YUAN Can, MA Zheng, LI Yaoming, WANG Shuai. Current status and trends of intercultural weeding equipment and its intelligent technology at home and abroad [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2026, 7(1): 129-135

0 引言

中耕除草在作物生长周期中发挥着改善土壤结构、促进根系生长和防控杂草的重要作用[1]。多数作物从种植到收获整个生产过程都需要进行数次中耕除草作业。当前人工中耕除草作业效率低,费时费力,生物除草技术发展相对缓慢,化学除草剂凭借其快速、经济、高效等特点被广泛应用于农业生产[2]。但农药毒性强、易残留,过量使用导致了诸多生产及健康问题,如土壤和作物中有毒物质含量提升,杂草抗药性增强等,除草作业愈发困难[3-4]。机械除草不仅能避免化学残留,还可以扰动土层,促进养分转换,但受限于智能化水平,人工和环境因素对作业质量影响较大,伤苗率高。

随着全球农业现代化进程加速和可持续发展理念深化,中耕除草技术正经历从传统人工操作向智能化、精准化方向的革命性转变[5]。《"十四五"全国农业机械化发展规划》明确提出加快推动农业机械化智能化、绿色化发展。环境感知与适应性、导航与路径规划精度是衡量当前国内外中耕除草机智能化水平的重要指标。本文系统梳理了国内外机械中耕除草装备和智能控制技术的发展现状,重点解析不同类型的技术特征,并以此探讨未来发展趋势。

1 中耕除草装备发展现状

近5年,人工智能与边缘计算的爆发式发展,为解决农业场景中"感知—决策—执行"的难题注入了新动能。因此,高效智能的机械式中耕除草装备是当前发展的重点,其技术分类如图1所示。

收稿日期:2025-04-07 修回日期:2025-06-18

基金项目:国家自然科学基金(52375249)

第一作者:卢中华,男,1966年生,浙江金华人,硕士,高级工程师;研究方向为现代农业机械设计及理论。E-mail: 18796410111@163.com

*通信作者:马征,男,1984年生,江苏泰兴人,博士,教授,博导;研究方向为现代农业机械设计及理论。E-mail: mazheng123@ujs.edn.cn

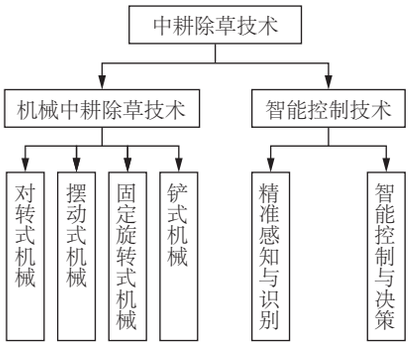


图1 中耕除草技术分类

Figure 1 Classification of cultivating weeding technology

1.1 中耕除草装备的种类与特点

传统的中耕除草机主要有步进式和乘坐式两种,大多由内燃机驱动,装备的工作部件类型多样。常见的水田中耕除草部件按运动方式可分为对转式、摆动式和固定旋转式3大类,旱田中耕除草部件除这3种之外铲式应用较多,特点如表1所示。

表1 中耕除草部件种类及特点

Table 1 Types and characteristics of cultivating weeding equipment

种类	特点
对转式	作业部件相对旋转,作用于株间地表浅层,对不同株距、地形适应性强,易调节
摆动式	作业轨迹为往复运动,作用于地表浅层,需精准匹配作物行距和除草深度
固定旋转式	刀片绕轴做圆周运动,可作用于行间中层土壤,对杂草破坏性强,碎土效果好
铲式	对行距要求严格,可作用于中、深层土壤,结构简单,多由拖拉机驱动

1.2 对转式中耕除草部件

对转式中耕除草部件通过两个相对转动的除草轮将根系深度较浅(1~3 cm)的杂草拉出或破坏[6]。刘闯等[7]研制的行—株间同步机械除草装置如图2所示,采用一对伞状除草轮进行株间除草。该团队制作了不同尺寸、材料的除草轮进行了效果对比试验,作业效果最优的一组株间平均除草率达74.6%,平均伤苗率仅1.6%。陶桂香等[8]设计的弹齿式株间除草装置由软轴带动弹齿盘作业。该装置与球铰联轴器联结,安装位置可调节。韩豹等[9]设计的梳齿式3ZCF-7700型多功能中耕除草机通过两侧的梳齿盘带动梳齿相对内旋,机器沿行间前进时,梳齿以相互交错的菱形齿迹扰动土壤和杂草。OREC公司研制的"WEED MAN"水田除草机与三菱农机公司推出的MRW-5型水田除草机株间工作部件同样为弹齿式,工作原理是根据水稻秧苗和杂草根系的生长特点和分布差异在作业时利用除草弹齿除去根系较浅的株间杂草[10-11]。"WEED MAN"如图3(a)所示,转轴上配备有4个可调节弹齿,可适应不同间距的除草环境。

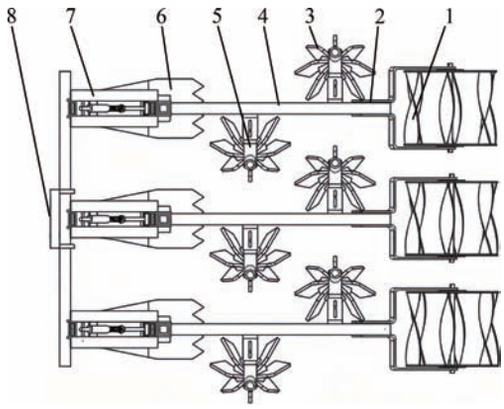


图2 高效型水田行株间同步除草装置

Figure 2 High efficiency mechanical weeding device for inter-row and intra-row synchronization in paddy field

1. 行间除草轮 2. 第2级仿形弹簧机构 3. 株间除草轮 4. T型机架 5. 轴承套筒 6. 浮板 7. 第1级仿形四杆机构 8. 挂接装置

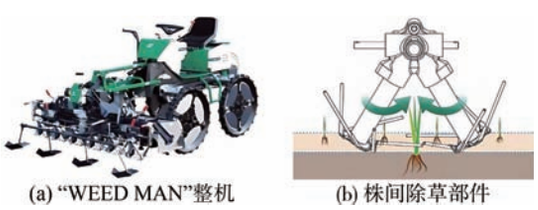


图3 水田除草机

Figure 3 Paddy field weeder

1.3 摆动式中耕除草部件

摆动式中耕除草部件通常由不同类型的机械结构将其他形式的运动转换成往复运动。金佳俊等[12]设计的摆动式水田机械除草机由伺服电机通过偏心轴承驱动除草弹爪在株间左右摆动进行作业。周福君等[13]设计了一种针对玉米地的中耕除草装置,由摆动式除草机构与振动式旋转单体共同完成中耕除草作业。机构如图4所示,伺服电机驱动啮合齿轮带动凸轮反转,除草刀轴同时向反方向运动实现往复行程。装置上的凸轮摇杆机构与霍尔传感器配合可完成避苗动作,降低伤苗率,最佳工作参数下试验得到的除草率为89.8%。

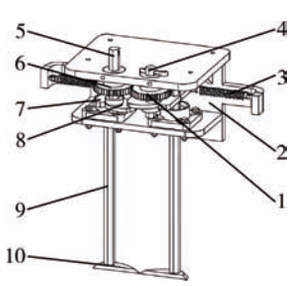


图4 凸轮摇杆式摆动型玉米株间除草装置

Figure 4 Cam rocker swing intra-row weeding device

1. 从动齿轮 2. 支座 3. 回位拉簧 4. 从动轴 5. 主轴 6. 主动齿轮 7. 摆杆 8. 凸轮 9. 刀轴 10. 除草刀

久保田农机公司[14]早期研发的SJ-8N型水田除中耕草机，装配摆动式弹性耙齿进行株间除草作业，但除草率偏低。PÉREZ-RUÍZ等[15]在驱动部件上进行创新，其设计的应用于旱地的除草机器如图5所示。该机器通过气压缸控制植株两侧刀轴开合实现避苗除草作业。



图5　旱地除草机

Figure 5　Dryland weeder

1.4　固定旋转式中耕除草部件

固定旋转式应用广泛，主要包括耙齿式、笼辊式、旋耕刀式、圆盘式等。梁仲维等[16]针对小田块作业研制了轻便式的QSC-2型中耕除草机。该机器为双行步进式，通过汽油机驱动两个水田耙齿中耕除草。正常作业工况下可除去行间85%以上的杂草，平均伤苗率为4.4%。齐龙等[17]为实现小功率乘坐式中耕除草机多行同步作业，以减小土壤阻力为目标设计的螺旋刀齿式除草轮如图6所示。通过对不同刀齿宽度除草轮的仿真分析与田间试验，确定螺旋刀齿宽度为30 mm时土壤阻力较小且能保证中耕质量。正常工况下机具除草率可达87%且伤苗率不超过5%。王金武等[18]针对传统机械除草部件伤苗率高的问题设计了一种曲面轮齿斜置式行间中耕除草装置如图7所示。相较于直面轮齿式部件，该装置在黏附土壤更少的情况对杂草的压埋表现更优，伤苗率可控制在2.1%左右。闫东伟[19]随后对该装置改进，创新设计了射流式株间除草装置并将曲面轮齿优化成基于鸭掌游水运动形态仿生的柔性蹼板，将伤苗率降至1.32%。衣淑娟等[20]通过对马铃薯中耕机培土圆盘的运动学以及培抛土理论分析确定部件结构参数，调节角为52°时，除草率为95.2%，伤苗率为3.9%，可有效解决生长前中期的马铃薯在中耕作业时伤苗率高、培土效果不佳的问题。和同产业公司研发了一款MSJ-4型步进式水田除草机[21]，其行间中耕除草部件为笼式辊子，机器前进时辊子在土壤阻力作用下被动旋转，扰动土壤和杂草。GOBOR等[22]设计了一款工作部件由多个旋转锄间隔一定角度构成除草装置。机器一定速度前进时，伺服电机输出与之匹配的转速来控制旋转锄的运动轨迹，完成苗间中耕除草作业。

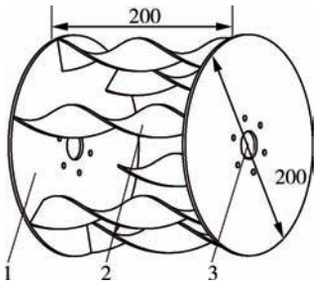


图6　螺旋刀齿除草轮

Figure 6　Spiral cutter weeding roller

1. 轮盘　2. 螺旋刀齿　3. 销轴孔

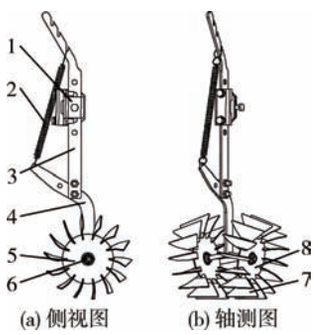


图7　曲面轮齿斜置式除草轮整体结构

Figure 7　Overall structure of curved tooth bevel-type weeding wheel

1. 固定架　2. 压力调节弹簧　3. 支架　4. 除草轮安装架
5. 曲面轮齿除草轮　6. 固定轴承　7. 曲面除草轮齿　8. 除草轮圆盘

1.5　铲式中耕除草部件

铲式中耕除草部件包括除草铲、通用铲、松土铲、培土铲等，可适应作物不同的生长阶段，如单翼铲适用于幼苗期浅层除草，双翼铲可调整深度至中后期除草。松土铲（如箭形、凿形）可疏松深层土壤，改善透气性且不翻动土层，减少土壤板结风险。牛萌萌等[23]从作业性能角度对行间锄铲式玉米中耕除草机的土壤破碎、除草效果等进行了研究，为除草部件后续的优化设计提供了理论参考。



图8　1304马铃薯中耕机

Figure 8　1304 potato inter-row weeding cultivator

图8为中机美诺1304马铃薯中耕机，装备松土铲与弹齿配合作业，兼具除草、破土与碎土功能，作业效率达1.3～2 hm^2/h。图9为比利时AVR公司研制的马

铃薯中耕除草机,配备的松土铲为适用于黏湿土壤的箭形松土铲,根据作业环境也可换装适用于沙土的“鹅掌”形松土铲。



图9 AVR公司马铃薯中耕除草机

Figure 9 AVR potato inter-row weeding cultivator

1.6 中耕除草装备存在的问题

当前中耕除草装备存在的主要不足包括对人工依赖程度较高、除草效率与效果欠佳、伤苗率偏高以及环境适应能力有限。具体而言,对转式和摆动式除草部件仅能作用于地表浅层,难以有效清除深根性杂草,中耕效果不理想。摆动式部件在黏重土壤或石块较多的地块中易受地形影响,阻力较大造成部件磨损,从而降低除草效率。固定旋转式中耕除草部件在杂草密集的工况下,刀片易黏附土壤并被杂草缠绕,进而降低作业质量甚至引发堵塞。高转速除草部件可能对秧苗根系造成较大损伤,而从动作业模式下作业质量无法保证。铲式中耕除草部件对动力需求较高,行距偏差可能导致漏除草或伤苗现象,尤其在丘陵山区或弯曲地块中难以实现精准对行操作。

2 中耕除草智能控制技术研究现状

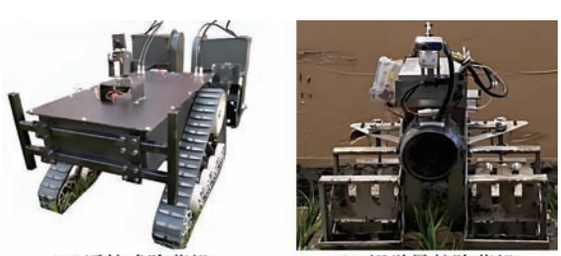
中耕除草作业中的智能化技术主要体现在植株识别与路径规划方面。通过融合传感器、智能算法以及卫星导航等先进技术,优化设备的自主作业能力。

2.1 植株智能感知与精准识别技术

贾洪雷等[24]设计的中耕期玉米田间避苗除草装置通过一根安装高度略高于杂草的软轴进行玉米秧苗检测。软轴与玉米秧苗触碰后会产生一个很小的扭矩并传递到行程开关,若扭矩大于开关触发设定值,开关则控制除草梳齿板运转一定的角度以躲避秧苗。陈学深等[25]设计了一款配备自适应振动系统和气压传感器的株间除草机,通过机器学习结合气压传感器可根据前排柔性刷指反馈的力学参数识别水稻是否倒伏,自适应振动系统可根据识别结果控制后排刷指的启停,降低伤苗率。王姗姗等[26]提出一种基于特征点邻域Hough变换的水稻秧苗行检测方法,可以有效解决杂草密度分布、光照强度和秧苗行曲率变化等因素对秧苗行检测的影响。ADHIKARI等[27]提出了一种结合语义图形的新型神经网络训练方法,可实现水田植株线的拟合及杂草识别。Garford公司研发的旱田智能除草机依靠视觉系统识别作物及杂草信息,并提出了旋转避苗的方法,工作部件为缺口圆盘刀,可以通过改变豁口的大小改变作物保护区的大小[28]。

2.2 路径控制与自主决策技术

东北农业大学王金武、王金峰团队[29-30]为实现绿色化中耕除草,研制了基于无线电遥控和PWM调速原理实现作业控制的电驱式水田中耕除草机,由摄像头实时传输田间图像进行手动遥控。为实现自动控制,在此之后该团队又通过图像处理技术设计了基于视觉导航的双行水田除草机,可切换遥控驾驶和自动驾驶两种模式。通过秧苗模型进行的室内试验结果表明:自动驾驶除草率为85.97%,伤苗率为3.67%,作业效果优于手动驾驶,两种除草机如图10所示。贺静等[31]为实现水稻行的跟踪导航,在机器视觉识别水稻行的基础上引入了2D激光雷达。模拟水稻行曲线跟踪试验标准偏差为27.51 mm,航向偏差标准差为3.38°,图11为其试验平台系统框图。赵立军等[32]针对丘陵山区除草机器人坡地转向滑移较大的问题,提出了一种基于预测控制的转向控制策略,该方案在不同坡度的试验路径上实现了有效跟踪。BAKKER[33]设计的自动除草机器人配备有GPS系统以及机器视觉系统,可实现机器人的田间苗草图像识别和自主导航。



(a) 遥控式除草机 (b) 视觉导航除草机

图10 电动除草机

Figure 10 Electric weeder

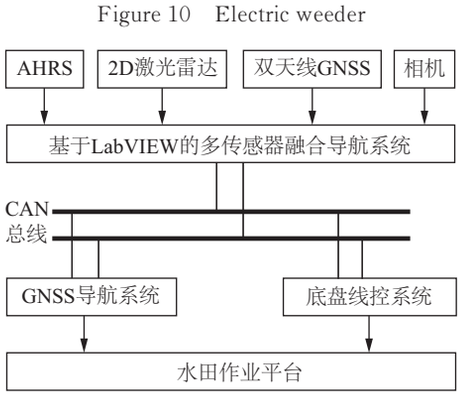


图11 试验平台系统框图

Figure 11 System diagram of test platform

2.3　智能控制技术存在的问题

机器视觉技术(例如多光谱成像与深度学习算法)、传感器技术(例如激光雷达)以及卫星导航系统构成了当前智能控制技术的主要组成部分。然而,这些技术普遍存在成本较高的问题,多数仍处于试验阶段,设备实际作业时的自主决策和精准执行仍依赖人工干预,且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尚显不足。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。

3　中耕除草技术未来发展趋势

目前国内中耕除草作业对化学药剂依赖过大,劳动强度高,智能化程度低,株间除草率仍有优化空间,未来的发展方向主要包括以下几点:

1)智能控制与精准作业。通过优化图像处理和深度学习算法、融合机器视觉与北斗或激光雷达导航系统提高路径规划与自主识别决策能力,保证全天候作业精度与效率。结合智能传感技术,实现自主适应复杂地形、动态调整作业参数。

2)绿色环保。发展气动除草、射流除草、火焰除草、电力除草、激光除草、生物除草等技术与机械中耕部件配合工作,通过多技术集成逐步替代化学除草;动力源由机动向电动方向过渡,形成高效低碳的农业装备新体系,实现生态友好作业。

3)仿生技术。以减阻为目标根据动物运动机理、植物形态等进行中耕除草部件结构仿生。研究耐磨且不易变形的刚性轻量化仿生材料或不易黏土,伤苗率较低的柔性仿生材料。

参　考　文　献

[1] 马旭, 齐龙, 梁柏, 等. 水稻田间机械除草装备与技术研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 162－168.
MA Xu, QI Long, LIANG Bai, et al. Present status and prospects of mechanical weeding equipment and technology in paddy field [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 162－168.

[2] 陈雷, 金曼, 张维乐, 等. 杂草稻的特性及其危害与防治研究进展[J]. 作物学报, 2020, 46(7): 969－977.
CHEN Lei, JIN Man, ZHANG Weile, et al. Research advances on characteristics, damage and control measures of weedy rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(7): 969－977.

[3] 潘亚清. 我国农田化学除草现状及综合防治的研究[J]. 农机化研究, 2006(6): 42－43.
PAN Yaqing. Present stage of chemical weeding in field and study of synthesis protection in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(6): 42－43.

[4] 郑微微, 沈贵银. 江苏省农业绿色发展现状、问题及对策研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(7): 1－5.

[5] 郑和, 李紫琪, 单以才, 等. 农田机械除草技术与装备研究现状与发展趋势[J]. 南京农业大学学报, 2025, 48(2): 285－295.
ZHENG He, LI Ziqi, SHAN Yicai, et al. Current status and development trends of agricultural machinery weeding technologies and equipment [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2025, 48(2): 285－295.

[6] 齐龙, 刘闯, 蒋郁. 水稻机械除草技术装备研究现状及智能化发展趋势[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(6): 29－36.
QI Long, LIU Chuang, JIANG Yu. Present status and intelligent development prospects of mechanical weeding technology and equipment for rice [J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(6): 29－36.

[7] 刘闯, 齐龙, 马旭, 等. 高效型水田行—株间同步机械除草装置设计与试验[J]. 农机化研究, 2021, 43(10): 78－82.
LIU Chuang, QI Long, MA Xu, et al. Design and test of high efficiency mechanical weeding device for inter-row and intra-row synchronization in paddy field [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(10): 78－82.

[8] 陶桂香, 王金武, 周文琪, 等. 水田株间除草机械除草机理研究与关键部件设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 57－63.
TAO Guixiang, WANG Jinwu, ZHOU Wenqi, et al. Herbicidal mechanism and key components design for paddy weeding device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 57－63.

[9] 韩豹, 申建英, 李悦梅. 3ZCF-7700型多功能中耕除草机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 124－129.
HAN Bao, SHEN Jianying, LI Yuemei. Design and experiment of 3ZCF-7700 multi-functional weeding-cultivating machine [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 124－129.

[10] 株式会社オーレック(福岡県). 水田除草作業機: 6000050[P]. 2014－05－01.

[11] 臼井智彦, 伊藤勝浩, 大里達朗. 水稲栽培における固定式タイン型除草機の除草効果[J]. 東北雑草研究会, 2009(9): 38－41.

[12] 金佳俊, 谢东升, 邵圣乐, 等. 往复摆动式水田机械除草机的设计[J]. 农业装备技术, 2022, 48(2): 14－16.

[13] 周福君, 王文明, 李小利, 等. 凸轮摇杆式摆动型玉米株间除草装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1):

77－85.
ZHOU Fujun, WANG Wenming, LI Xiaoli, et al. Design and experiment of cam rocker swing intra-row weeding device for maize [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 77－85.

[14] 食品産業技術総合研究機構, 株式会社クホタ, 井関農機株式会社. 水田除草機: 3965430 [P]. 2007－06－08.

[15] PÉREZ-RUÍZ M, SLAUGHTER D C, FATHALLAHF A. Co-robotic intra-row weed control system [J]. Biosystems Engineering, 2014, 126: 45－55.

[16] 梁仲维, 齐龙, 马旭, 等. QSC-2型步进式水稻除草机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2015, 37(8): 115－119.
LIANG Zhongwei, QI Long, MA Xu, et al. Design and test of QSC-2 marching type paddy weeder [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37 (8): 115－119.

[17] 齐龙, 赵柳霖, 马旭, 等. 3GY-1920型宽幅水田中耕除草机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 47－55.
QI Long, ZHAO Liulin, MA Xu, et al. Design and test of 3GY-1920 wide-swath type weeding-cultivating machine for paddy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(8): 47－55.

[18] 王金武, 马骁驰, 唐汉, 等. 曲面轮齿斜置式稻田行间除草装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(4): 91－100.
WANG Jinwu, MA Xiaochi, TANG Han, et al. Design and experiment of curved-tooth oblique type inter-row weeding device for paddy field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(4): 91－100.

[19] 闫东伟. 基于水射流的水田仿生中耕除草装置机理与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.

[20] 衣淑娟, 孙志江, 李衣菲, 等. 马铃薯中耕前期圆盘式中耕机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 98－108.
YI Shujuan, SUN Zhijiang, LI Yifei, et al. Design and test of disc potato cultivator at early inter-tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(8): 98－108.

[21] 和同産業株式会社. 水田の草取り機: 4057492[P]. 2007－12－21.

[22] GOBOR Z, LAMMERS P S, MARTINOV M. Developmentof a mechatronic intra-row weeding system with rotational hoeing tools: theoretical approach and simulation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 98: 166－174.

[23] 牛萌萌, 方会敏, 荐世春. 锄铲式玉米中耕除草机设计与作业性能研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2022, 60(3): 6－9.
NIU Mengmeng, FANG Huimin, JIAN Shichun. Research on design and operation performance of maize hoe type weeder [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2022, 60(3): 6－9.

[24] 贾洪雷, 李森森, 王刚, 等. 中耕期玉米田间避苗除草装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 15－22.
JIA Honglei, LI Sensen, WANG Gang, et al. Design and experiment of seedling avoidable weeding control device for cultivation maize (*Zea Mays L.*) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(7): 15－22.

[25] 陈学深, 熊悦淞, 程楠, 等. 自适应振动式稻田株间柔性机械除草性能试验[J]. 吉林大学学报(工学版), 2024, 54(2): 375－384.
CHEN Xueshen, XIONG Yuesong, CHENG Nan, et al. Adaptive vibration type flexible mechanical weeding test between rice plants [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2024, 54(2): 375－384.

[26] 王姗姗, 余山山, 张文毅, 等. 基于特征点邻域Hough变换的水稻秧苗行检测[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 18－25.
WANG Shanshan, YU Shanshan, ZHANG Wenyi, et al. Detection of rice seedling rows based on Hough transform of feature point neighborhood [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 18－25.

[27] ADHIKARI S P, YANG H, KIM H. Learning semantic graphics using convolutional encoder-decoder network for autonomous weeding in paddy [J]. Frontiers in Plant Science, 2019(10): 1404.

[28] TILLETT N D, HAGUE T, GRUNDY A C, et al. Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision [J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(2): 171－178.

[29] 王金峰, 翁武雄, 鞠金艳, 等. 基于遥控转向的稻田行间除草机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(9): 97－105.
WANG Jinfeng, WENG Wuxiong, JU Jinyan, et al. Design and test of weeder between rows in rice field based on remote control steering [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52 (9): 97－105.

[30] 陈鑫胜. 基于视觉导航的双行水田除草机设计与试验[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.

[31] 贺静, 何杰, 罗锡文, 等. 基于多传感器融合的水稻行识别与跟踪导航研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(3): 18－26, 137.

HE Jing, HE Jie, LUO Xiwen, et al. Rice row recognition and navigation gontrol based on multi-sensor fusion [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(3): 18－26, 137.

[32] 赵立军，贾云帆，殷文科，等. 基于模型预测控制的履带式除草机器人设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2024，5(4)：84－94.
ZHAO Lijun, JIA Yunfan, YIN Wenke, et al. Design and experiment of a tracked weeding robot based on model predictive control [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(4): 84－94.

[33] BAKKER T. An autonomous robot for weed control-design, navigation and control [D]. Wageningen: Wageningen University, 2009.

Current status and trends of intercultural weeding equipment and its intelligent technology at home and abroad

LU Zhonghua[1], YUAN Can[2, 3], MA Zheng[2, 3*], LI Yaoming[2, 3], WANG Shuai[2, 3]

(1. *Jiangsu Linhai Power Machinery Group Company, Taizhou* 225300, *China*; 2. *College of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang* 212013, *China*; 3. *Key Laboratory for Theory and Technology of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Jiangsu University, Zhenjiang* 212013, *China*)

Abstract: As a critical component of field management, cultivation and weeding significantly influence the yield and quality of crops. Currently the domestic cultivation and weeding operation mainly relies on mechanical working parts, while chemical and biological technologies are usually applied to weeding operation alone. In the context of realizing modern and sustainable agriculture, efficient mechanical weeding components and their supporting intelligent control technology have gradually become the core direction of the industry's development. Relying on the advantages of flat and continuous farmland, European and American modular farms focus on the development of chemical weed control system with precision variable spraying as the core; while Japan, characterized by intensive cultivation, has developed a variety of advanced weeding-cultivating machine under the conditions of small fields, which occupies the technological commanding heights of the international agricultural equipment market. In this paper, the research progress of cultivation and weeding techniques is systematically described from two dimensions of equipment classification and application, and intelligent control technology. The technical characteristics of four types of inter-row and inter-plant operation equipment, namely, pivoting type, oscillating type, fixed rotary type and shovel type, are summarized. At the same time, the application of mainstream technologies such as image processing, deep learning, sensor fusion and satellite navigation in the field of intelligent control is introduced in detail focusing on the two major aspects of plant sensing and identification, path control and decision-making. Based on the results of domestic and international experiments, this paper further discusses the shortcomings of the existing equipment and control technology in terms of weed removal rate, seedling injury rate, durability and adaptability, and thus looks forward to the future of cultivation and weeding technology, which will continue to take high quality and high efficiency as the core objective, with a particular emphasis on the development and fusion of intelligent precision, greening, integration, and bionic material technology.

Keywords: cultivation and weeding; row-follow control; mechanical weeding component; intelligent weeding

Foundation items: National Natural Science Foundation of China(52375249)

First Author: LU Zhonghua, E-mail: 18796410111@163.com

* **Correspondence Author:** MA Zheng, E-mail: mazheng123@ujs.edu.cn