

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.

水稻机械除草技术装备研究现状及智能化发展趋势

齐 龙¹, 刘 闯¹, 蒋 郁²

(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 华南农业大学 现代教育技术中心, 广东 广州 510642)

摘要: 稻田生态系统中的杂草是造成水稻产量下降和品质降低的主要原因之一, 施用化学除草剂会带来作物药害、杂草抗药性和环境污染等诸多负面问题, 机械除草作为一种环境友好型的绿色除草方式, 可以有效地替代化学除草, 缓解施用除草剂带来的危害。本文针对水稻株间机械除草的技术难点, 从苗草根系差异特点的角度对水稻株间机械除草装置研究现状进行了系统介绍, 归纳了水稻机械除草新技术的类型和特点, 总结了几种新型水稻机械除草装备的特色和优点。提出具有高精度杂草定位功能的智能除草技术将是未来水田机械除草技术发展的必然趋势。

关键词: 农业机械; 水稻; 株间除草; 智能除草; 研究现状; 发展趋势

中图分类号: S233.71

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2020)06-0029-08

Present status and intelligent development prospects of mechanical weeding technology and equipment for rice

QI Long¹, LIU Chuang¹, JIANG Yu²

(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 Modern Educational Technology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Weed is one of the main causes for decline of rice yield and quality. The application of chemical herbicide has brought many negative problems, such as crop toxicity, weed resistance and environmental pollution, etc. Mechanical weeding, as an environmentally-friendly weeding method, can effectively replace chemical weeding and alleviate the harm caused by herbicide. Aiming at the technical difficulties of mechanical weeding among rice plants, the research status of mechanical weeding devices among plants were systematically introduced from the perspective of root difference characteristics of weed seedlings. The types and characteristics of new mechanical weeding technology were introduced, and the unique features and advantages of several new mechanical weeding equipments for rice were summarized. It is pointed out that intelligent weeding technology with high precision and high weed localization function will be the inevitable development trend of mechanical weeding technology for rice in future.

Key words: agricultural machinery; rice; intra-row weeding; intelligent weeding; research status; development trend

收稿日期: 2020-08-15 网络首发时间: 2020-09-10 15:05:29

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20200909.1550.002.html>

作者简介: 齐 龙 (1979—), 男, 研究员, 博士, E-mail: qilong@scau.edu.cn; 通信作者: 蒋 郁 (1983—), 女, 高级工程师, 博士, E-mail: nova_yy@scau.edu.cn

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B020221002); 国家自然科学基金 (31801258); 广东省杰出青年基金 (2019B151502056); 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-01-43); 广州市科技计划 (201803020021)

水稻是中国主要的粮食作物,而杂草又是水稻生产的主要制约因素。我国稻田化学除草面积约占种植面积的 90% 以上,长期、大量、高频施药会产生杂草抗药性、作物药害、环境污染等诸多负面问题^[1-9]。机械除草作为一种环境友好型的绿色除草方式,可以有效缓解当前化学除草带来的危害^[10],符合国家提出的质量兴农、绿色兴农的农业产业发展方向。中国的水田机械特别是水田除草机械研究尚处在理论和试验研究阶段^[11-21],未能在生产中广泛应用;日本的研究机构和农机生产企业已经开发了一系列的水田除草机^[22],但价格昂贵,长期依赖日本的水稻生产机械将影响我国农业生产的战略安全,因此,迫切需要提高我国水稻机械除草关键技术和装备的自主研发水平。由于水田环境的复杂性和水稻种植的农艺特点,水稻生产中采用机械除草方式存在着伤苗率高、除草率低、适应性差等问题;而水稻种植的株距较小(机械化移栽株距 10~17 cm),株间机械除草技术更是水田机械除草的“瓶颈”问题。综上所述,鉴于水稻机械除草的重要性,针对水稻机械除草技术中的难点,本文对现有水稻机械除草技术研究现状进行了综述,以期发现尚待解决的关键技术问题,为水稻机械除草作业技术的研究提供参考和借鉴。

1 水稻株间机械除草技术研究现状

有机农业的发展有力地带动了机械除草新技术的发展^[23-49]。但是与行株间同步高效防除的化学除草技术相比,株间机械除草相对较低的除草率和工作效率仍然是制约机械除草大面积应用的“瓶颈”问题。当前以日本为代表的移栽水稻田常采用基于苗草根系差异特点的株间机械除草技术,该技术主要是根据作物与杂草根系深浅差异,控制除草部件工作深度,除去杂草但不损伤作物的除草技术。该技术无需对作物或杂草定位,工作效率高,但是除草率相对较低,除草作业时需要作物扎好根、作物苗龄一般“四叶期”以上。其关键部件主要可分为对转式、固定弹齿式和弹齿耙式等。

1) 对转式株间除草部件:由 1 对相对转动的橡胶指盘、毛刷或者弹齿盘组成,主要对杂草进行拉拔和埋压,除草深度一般控制在 10~30 mm。日本水稻生产机械化水平较高,一些农机企业已经开发出系列水田除草装备。日本美善株式会社研发的水田除草机乘坐式机型有 4、5、8 行 3 种机型,可同时完成行-株间除草作业,株间除草部件为 1 对地面驱动的伞状除草盘(图 1)^[50]。

图 2 为日本和同产业研发的步进式水稻中耕除草机,其行间除草部件为随动的除草辊,株间除



图 1 伞齿式除草部件

Fig. 1 Umbrella-tooth weeding unit



图 2 弹齿盘式除草部件

Fig. 2 Spring-tine weeding unit

草部件为1对驱动转动的弹齿盘,作业效率为 $0.4\sim 0.6\text{ hm}^2/\text{h}$ ^[51]。国内东北农业大学研究人员在此基础上设计了一种株间除草装置,通过钢丝软轴驱动弹齿盘转动,将土壤搅动、翻转连同杂草翻出地表并将其覆盖,完成除草作业^[11,52-55]。

2) 固定弹齿式株间除草部件:扭簧式株间除草部件是固定弹齿式除草部件中结构最简单的一种,由1对连接在固定机架上的扭转弹簧齿组成。弹簧齿由2个部分组成:垂直部分以一定角度指向土壤表面;水平部分指向作物。机具工作时,株间除草部

件横跨在作物两侧,随着机具前进拖、拔或埋没株间杂草。日本三菱农机公司生产的水田除草机株间除草部件为固定在机架上的2组除草弹丝,工作原理与扭簧式株间除草部件相似,可通过调节倾斜角度和高度改变作业深度,通过调节内侧除草钢丝的上下位置调节除草弹丝组的作业强度^[56]。日本Q-HOE公司是一家专门从事机械除草的生产和销售企业,其研发的同类型株间除草部件在水田和旱地都得到了较好的应用(图3)^[57]。



图3 固定弹丝式除草部件

Fig. 3 Fixed-spring-tine weeding unit

齐龙等^[58]发明了一种株间机械弹性触觉除草器,根据稻株与杂草的生物力学差异,利用板簧激振、扭簧摆动实现株间除草。由于固定弹齿式株间除草部件横跨在作物两侧工作,与作物非常接近,准确对行是减少伤苗率的关键。

3) 弹齿耙式株间除草部件:主要由安装在固定机架上的弹簧耙齿组成,工作深度和强度的变化通过调节弹簧齿的工作角度和张紧力完成,可同时完成一行株间除草作业。研究表明弹齿耙可用于玉米、向日葵、菜豆、胡萝卜、洋葱、豌豆、扁豆、冬季谷类作物等大田杂草防控^[59-62],对阔叶型杂草的除草效果更好。为了减少对作物的损伤,应在作物苗期“四叶期”后进行机械除草。日本农研机构联合井关农机公司合作开发了弹性耙齿式水田除草机,株间除草率为 $40\%\sim 50\%$ (图4)^[63]。



图4 弹性耙齿式除草部件

Fig. 4 Flex-tine harrow weeding unit

2007年,日本农研机构联合井关、久保田等公司共同开发了高精度乘坐式水田除草机,行间除草部件为旋转耙齿,株间除草部件为摆动弹性耙齿(图5)^[64]。该机具作业速度为 $0.4\sim 0.6\text{ m/s}$ 、行间作业深度 $40\sim 60\text{ mm}$ 、株间作业深度 $20\sim 40\text{ mm}$ 、作业时水深要求 $30\sim 60\text{ mm}$,机具工作时,驱动耙齿高速转动($100\sim 200\text{ r/min}$)除去行间杂草,利用左右摆动(频率 $3.7\sim 7.3\text{ Hz}$)的梳齿除去株间杂草,行间除草率大于 85% ,株间除草率为 50% 左右^[65-66]。吴崇友等^[13]研制的2BYS-6型水田中耕除草机,其行间采用旋转部件,株间使用摆动部件除草,经鉴定相对除净率为 78.1% 。

2 新型水稻机械除草装备研究现状

2014年,日本OREC公司发明了“Weedman”水田除草机(图6)^[67],并于2017年上市销售。该机具通过对转弹齿舀取深度约 1 cm 的株间土壤并将刮除的杂草混合到行间土壤中,再通过旋转铲刀式行间除草部件切割、掩埋杂草。这种除草机有3个优点:不仅可以在作物行间除草,在株间的除草效果也很好;通过将工作机放置在车身前,操作者可以直观地观测是否对行准确以减少伤苗率;通过4轮转向和4轮驱动,最大限度地减少田间稻苗损失。

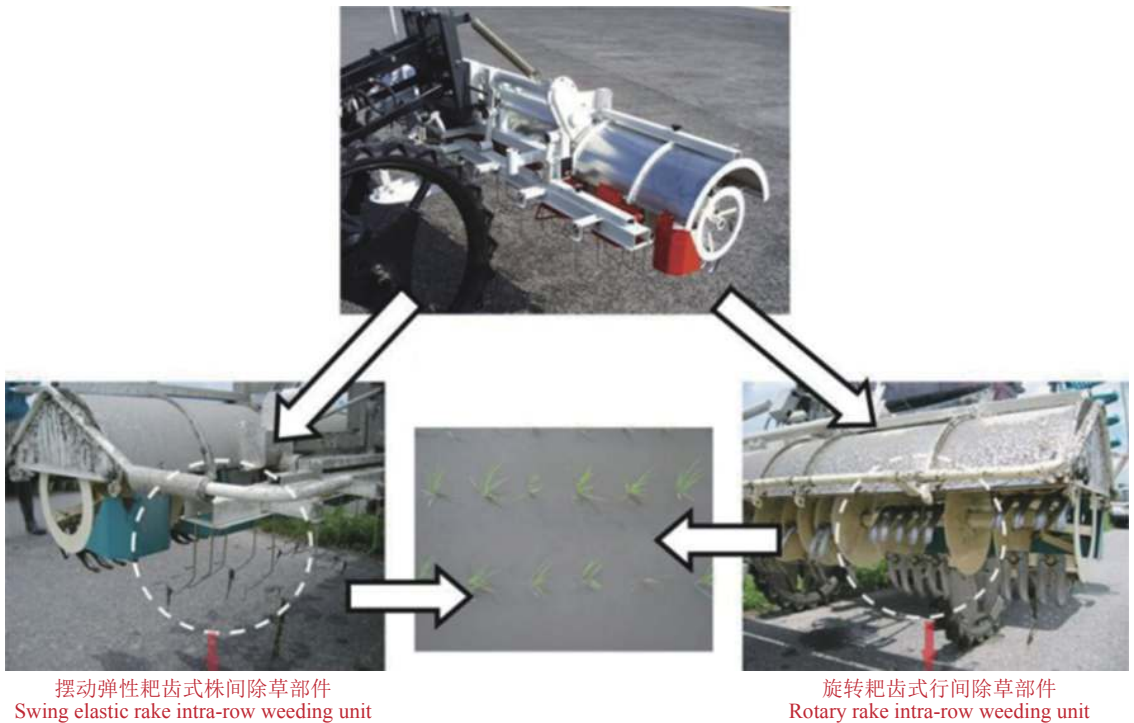


图 5 旋转-摆动式除草部件

Fig. 5 Rotary-swing weeding unit

a: “Weedman”水田除草机
a: “Weedman” weeding machine for paddy fieldb: 田间作业情况
b: Field operation

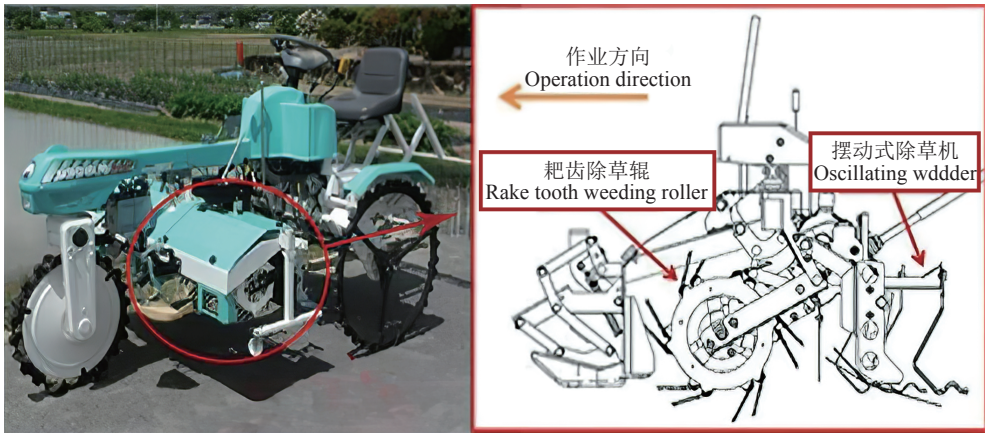
图 6 OREC 公司研制的“Weedman”水田除草机

Fig. 6 “Weedman” weeding machine for paddy field developed by OREC company

2015 年, 日本农研机构开发了一种三轮乘坐式高精度水田除草机 (图 7)^[68]。在三轮式管理机中部搭载除草装置, 除草装置可升降, 行间采用旋转指齿除草, 除草深度可调整为 6 级 (1、2、3、4、5 和 6 cm); 株间采用摆动梳齿除草, 除草深度可调整为 3 级 (1、2 和 3 cm), 摆动继电器可根据杂草发生情况调节摆动频率。操作人员可以根据稻株和田间状况进行精准作业, 工作速度是 1.2 m/s, 约为步行除草机 (0.3 m/s) 的 4 倍。二次作业的除草率达到 80% 以上, 伤苗率小于 3%, 尾部结合链式除草部件, 除草效果更好。与此机结构相似的还有实产业公司 2016 年研制的三轮水田除草机 (图 8)^[69], 可同

时作业 8 行, 工作效率高; 运输时除草部分可折叠, 方便运输。

日本秋田县立大学研制了一种水田除草机器人, 如图 9 所示^[70]。运用气垫船的原理向下喷气使其浮于水田表面, 安装天线后可根据 GPS 自动导航行驶, 按照预定路线或人为遥控进行水田除草。这种自动行走机器人采用柔性辊刷进行除草, 使得刚发芽的杂草浮在水面上枯萎, 可大幅度减少除草剂的使用。由于旋转的柔性辊刷可以一边进行行间、株间除草, 一边在水田里纵、横、斜地自由行走, 不需要像轮式除草机要到田边掉头转弯, 因此具有高效率、低伤苗率的优点。



a: 整机机构示意图
a: Schematic diagram of machine structure



b: 摆动梳齿式株间除草部件
b: Swinging elastic tooth intra-row weeding unit



c: 田间作业情况
c: Field operation

图 7 农研机构研制的三轮水田除草机

Fig. 7 Tricycle weeding machine for paddy field developed by agricultural research institute



a: 整机工作状态图
a: Working state diagram

b: 整机运输状态图
b: Transporting state diagram

图 8 实产业公司研制的三轮水田除草机

Fig. 8 Tricycle weeding machine for paddy field developed by real estate company



图 9 柔性辊刷式水田除草机器人

Fig. 9 Brush weeding robot for paddy field

3 结论与展望

3.1 结论

本文基于苗草根系差异特点的株间机械除草技术综述了国内外相关领域的研究现状,并介绍了新型水稻机械除草装备。通过对国内外行株间机械除草新技术的综述,尤其是水稻株间机械除草现状的分析发现,现有水田除草机的株间除草装置均不具备稻株或杂草的识别和定位功能,仅根据机械化移栽田水稻与杂草根系差异特点对水稻和杂草统一处理,株间除草率仅为 60% 左右^[71],需多次作业才能完成除草要求。然而多次作业不仅降低了生产效率,而且增加了机具对秧苗的碾压概率。因此,水稻株间机械除草技术的研究可借鉴智能株间除草技术,通过智能除草的优势来提高除草精度和除草效果。

3.2 展望

水稻智能除草技术的研究主要集中在基于作物行的视觉导航方面^[71-79],鲜见根据稻株位置精确控制智能除草机械进行株间除草作业的研究。要实现水稻株间智能化机械除草,提高除草率、降低伤苗率,今后需在一些机理和关键技术上做进一步的研究,具体包括:

1) 稻株精确识别和定位方法研究。稻株精确识别和定位是智能株间机械除草作业的前提,由于除草期内相邻稻穴(株)间顶部叶冠已有部分遮叠、禾本科杂草与水稻形态相似、稻穴内稻株丛生、移栽时取秧量不同、生长过程中分蘖数不一以及气流引起的自然形变等对稻株的视觉识别精度影响很大。因此,应该根据水稻生长和种植的农艺特点,研究适合的稻株识别和定位方法。

2) 小株距作物株间除草-避苗状态高速切换技术研究。由于机械化种植水稻株距较小,这就要求株间除草装置应具有较高的状态切换速度和工作平稳性。因此,应加强对株间除草装置工作机理的研究,探明影响除草装置工作性能的主要原因,优化除草装置的结构参数。

3) 机械除草(触土)部件与水田土壤相互作用机理研究。除草部件主要通过杂草周围水田土壤的扰动以及对杂草的直接机械作用实现去除杂草的目的,除草效果可以通过土壤的形变体现出来。由于水田土壤复杂的流变特性,通过土槽或田间试验很难观测到土壤颗粒的扰动程度、位移以及力场,因此需要采用先进的土壤-机器系统仿真方法,研究除草刀齿与水田土壤颗粒的相互作用过程,为除草刀齿结构和工作参数的优化提供理论基础。

研制高精度、高效率的智能水稻除草机是当今水稻机械除草研究急需攻关的技术难点,未来水田机械除草技术随着图像处理技术的不断更新和应用,这些问题将会得到解决,研制出定位精度高、作业速度快的智能水田除草机也将是未来水田机械除草技术发展的必然趋势。

参考文献:

- [1] 董立尧,高原,房加鹏,等.我国水稻田杂草抗药性研究进展[J].植物保护,2018,44(5):69-76.
- [2] 吕威,董黎,孙宇涵,等.浅谈国内外杂草控制方法[J].中国农学通报,2018,34(11):34-39.
- [3] 李德萍,伦志安,王振东,等.长残效除草剂田下茬种植水稻药害缓解效果研究[J].北方水稻,2014,44(4):48-50.
- [4] 张石云,宋超,张敬卫,等.哈尼梯田稻鱼共作系统中除草剂的污染特征[J].环境科学与技术,2018,41(S1):184-192.
- [5] 左平春,纪明山,臧晓霞,等.稻田稗草对啶啉酰草胺的抗性水平和 ACCase 活性[J].植物保护学报,2017,44(6):1040-1045.
- [6] 张银华,孙林军.水稻机械化插秧栽培技术中除草技术浅析[J].南方农业,2016,10(30):34.
- [7] 赵凌,赵春芳,周丽慧,等.中国水稻生产现状与发展趋势[J].江苏农业科学,2015,43(10):105-107.
- [8] 张泽溥.浅谈我国化学除草面临的挑战与未来发展[J].农药科学与管理,2010,31(12):14-18.
- [9] 杨彩宏,田兴山,岳茂峰,等.农田杂草抗药性概述[J].中国农学通报,2009,25(22):236-240.
- [10] 张家源,王蔚,李卓霖,等.新型水田中耕除草机械的设计研究[J].内燃机与配件,2018(14):51-52.
- [11] 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.
- [12] 伍同,曾山,赵润茂,等.智能化作物株间机械除草技术分析[J].农机化研究,2019,41(6):1-6.
- [13] 吴崇友,张敏,金诚谦,等.2BYS-6型水田中耕除草机设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(7):51-54.
- [14] 赵柳霖,齐龙,马旭,等.复合式水稻田除草机的设计与试验[J].农机化研究,2018,40(3):50-54.
- [15] 刘照启,张蔚然,韩鑫,等.浅谈除草技术[J].农业技术与装备,2020(4):80-81.
- [16] 田立权,毛旭辉,姚秀奇,等.水稻株间除草装置设计[J].农业与技术,2019,39(10):45-47.
- [17] 陈修宏.直播水稻田间除草技术[J].现代农业科技,2018(7):143.
- [18] 刘文,徐丽明,邢洁洁,等.作物株间机械除草技术的研究现状[J].农机化研究,2017,39(1):243-250.
- [19] 李东升,张莲洁,盖志武,等.国内外除草技术研究现状[J].森林工程,2002(1):17-18.
- [20] 陈子文,李南,孙哲,等.行星刷式株间锄草机械手优化与试验[J].农业机械学报,2015,46(9):94-99.
- [21] 杨欣伦.有机农业生产中果园机械化除草的现状与发展趋势[J].四川农业科技,2020(5):33-34.

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 韩豹,杨亚楠,王宏伟,等.苗间除草部件入土深度PID自动控制系统设计与台架试验[J].农业工程学报,2018,34(11):68-77.
- [25] 韩豹,吴文福,申建英.水平圆盘式苗间除草装置试验台优化试验[J].农业工程学报,2010,26(2):142-146.
- [26] 韩豹,吴文福,李兴.组合梳齿式株间除草机构优化试验[J].农业工程,2011,1(1):16-19.
- [27] 韩豹.东北垄作株间机械除草关键部件研究与整机设计[D].长春:吉林大学,2011.
- [28] 周恩权,毛罕平,陈树人.八爪除草机构的设计与实验:基于虚拟样机技术[J].农机化研究,2011,33(2):62-64.
- [29] 车刚,张伟,梁远,等.3ZFC-7型全方位复式中耕机的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(1):130-135.
- [30] BOND W, GRUNDY A C. Non-chemical weed management in organic farming systems[J]. *Weed Res*, 2001, 41(5): 383-405.
- [31] PANNACCI E, TEI F. Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean[J]. *Crop Prot*, 2014, 64: 51-59.
- [32] VAN DER WEIDE R Y, BLEEKER P O, ACHTEN V T J M, et al. Innovation in mechanical weed control in crop rows[J]. *Weed Res*, 2010, 48(3): 215-224.
- [33] 王洪昌,涂鸣,刘念,等.苗间除草机械末端执行装置研究现状[J].安徽农业科学,2018,46(17):22-26.
- [34] 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.
- [35] 胡炼,罗锡文,张智刚,等.基于余摆运动的株间机械除草爪齿避苗控制算法[J].农业工程学报,2012,28(23):12-18.
- [36] 黄小龙.蔬菜株间锄草机器人末端执行器优化设计研究[D].北京:中国农业大学,2014.
- [37] 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(08):47-55.
- [38] 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.
- [39] 李谦,蔡晓华.机器视觉在除草机器人中的应用[J].农机化研究,2014,36(7):204-206.
- [40] 张占胜.三行步进式水田中耕除草机的机理与应用[J].农业开发与装备,2013(1):47.
- [41] 杨硕,李法德,闫银发,等.果园株间机械除草技术研究进展与分析[J].农机化研究,2020,42(10):1-8.
- [42] 王文明.垄作玉米机械除草装置设计与试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [43] 马程宏,李南,王汉斌,等.温室株间电驱锄草机控制系统设计与试验[J].农业机械学报,2015,46(1):89-93.
- [44] 张贺,张喆.田间除草机械刀具关键技术与装置分析[J].农业技术与装备,2019(11):90.
- [45] 柴民杰,李磊,孟祥龙.北方地区田间机械除草关键技术与装置研究[J].南方农机,2017,48(6):3.
- [46] 李瑞平,罗洋,谢瑞芝,等.秸秆覆盖免耕条件下玉米和大豆田机械与化学除草效果比较分析[J].东北农业科学,2019,44(2):1-6.
- [47] 胡炼,罗锡文,曾山,等.基于机器视觉的株间机械除草装置的作物识别与定位方法[J].农业工程学报,2013,29(10):12-18.
- [48] 张朋举,张纹,陈树人,等.八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真[J].农业机械学报,2010,41(4):56-59.
- [49] 李江国,刘占良,张晋国,等.国内外田间机械除草技术研究现状[J].农机化研究,2006(10):14-16.
- [50] 株式会社美善.水田除草兼用沟切り機:2007105006[P].2007-04-26.
- [51] 石井博和,佐藤正憲.3水田中耕用除草機の性能と除草効果向上方策[J].日本作物学会関東支部会報,2006,21:22-23.
- [52] 牛春亮,王金武,马莉莎,等.双弧形水稻株间除草部件设计及切土轨迹研究[J].农机化研究,2016,38(12):122-126.
- [53] 王金武,牛春亮,张春建,等.3ZS-150型水稻中耕除草机设计试验[J].农业机械学报,2011,42(2):75-79.
- [54] 牛春亮,王金武,唐继武,等.稻田株间除草弹齿齿形及安装方式分析与试验[J].农机化研究,2017,39(12):176-179.
- [55] 杨松梅,王金武,刘永军,等.水田株间立式除草装置的设计[J].农机化研究,2014,36(12):154-157.
- [56] 三菱農機株式会社,株式会社キュウホー.除草機:2007105006[P].2007-04-26.
- [57] 株式会社キュウホー.水田除草機:4268898[P].2005-10-20.
- [58] 齐龙,马旭,谭永焱,等.一种水稻株间机械弹性触觉除草器:ZL2012105935548[P].2014-09-24.
- [59] PANACEA E, TEI F, GUIDUCCI M. Mechanical weed control in organic winter wheat[C]//Proceedings of XLV Congress of Italian Society for Agronomy. Sassari, Italy, 2016:115-116.
- [60] ASCARD J, BELLINDER R M. Mechanical in-row cultivation in row crop[C]//Proceeding of 2nd International Weed Control Congress. Copenhagen, Denmark, 1996:1121-1126.
- [61] RAFFAELLI M, BARBERI P, PERUZZI A, et al. Options for mechanical weed control in grain maize effects on weeds[C]//Proceedings of 5th EWRS Workshop on Physical Weed Control. Pisa, Italy, 2002:147-152.
- [62] MOUAZEN A M, DUERINCKX K, RAMON H, et al. Soil influences on the mechanical actions of a flexible spring tine during selective weed harrowing[J]. *Biosyst Eng*, 2007, 96(1):7-18.
- [63] 権騰昭博.水田の条間・株間同時除草機械[R].日本埼玉:生研機構・生産システム研究部,技術の窓,2008.
- [64] 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構,株式会社クボタ,井関農機株式会社.水田除草機:3965430[P].2007-06-08.

- [65] 宮原佳彦, 戸崎紘一, 市川友彦. 高精度水田用除草機の開発(第1報): 試作機の構造概要と作業性能[J]. 農業機械学会年次大会講演要旨, 2001, 60: 37-38.
- [66] 宮原佳彦. 機械除草技術開発の動向[J]. 東北雑草研究会, 2007(7): 1-6.
- [67] 株式会社オーレック(福岡県). 水田除草作業機: 6000050[P]. 2014-05-01.
- [68] 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構. 除草機: 6240957[P]. 2015-07-06.
- [69] みのる産業株式会社. 水田用除草装置: 6403318[P]. 2016-04-25.
- [70] 今井淳容. 除草用ブラシローラ及び水田除草方法: 5400715[P]. 2012-01-19.
- [71] CHEN B, TOJO S, WATANABE K. Machine vision for a micro weeding robot in a paddy field[J]. *Biosyst Eng*, 2003, 85: 393-404.
- [72] YUTAKA K, KENJI I. A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection[J]. *Comput Electron Agr*, 2008, 63: 49-56.
- [73] PEREZRUIZ M, SLAUGHTER D C, FATHALLAH F A, et al. Co-robotic intra-row weed control system[J]. *Biosyst Eng*, 2014, 126: 45-55.
- [74] 孙君亮, 闫银发, 李法德, 等. 智能除草机器人的研究进展与分析[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 73-80.
- [75] 胡迎思, 于跃, 朱凤武. 基于图像处理的田间杂草识别定位技术的研究[J]. 农业与技术, 2018, 38(3): 17-20.
- [76] 赵德升. 基于机器视觉的精确喷施智能除草装置杂草实时识别技术[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
- [77] 余涛, 蔡晓华, 赵德春, 等. 智能苗间锄草平台设计[J]. 农机化研究, 2013, 35(11): 130-134.
- [78] 权龙哲, 肖云瀚, 王建宇, 等. 智能除草装备苗草模式识别方法研究[J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(9): 79-87.

- [79] 钟启鸣. 浅谈智能化除草机器人技术发展现状及趋势展望[J]. 山东工业技术, 2016(24): 126-127.

【责任编辑 周志红】



齐 龙, 博士, 研究员, 博士生导师。广东省水稻移栽机械装备工程技术研究中心副主任; 兼任加拿大 University of Manitoba 客座教授、中国农业机械学会青年委员会副主任、全国农业机械标准委员会耕种和施肥机械委员会委员、广东省农业机械学会副秘书长。2014 年获“广州市珠江科技新星”; 2019 年获“广东省杰出青年基金”; 2019 年遴选为“第六次国家技术预测智慧农业领域专家”(科技部); 2019 年获“中国农业工程学会第八届青年科技奖”。主要从事农机-土壤-作物系统互作的基础理论研究以及水稻机械装备的研发、示范推广工作。在农林科学 Top 期刊《Geoderma》《Soil & Tillage Research》《Plant and Soil》以及农业工程领域的著名期刊《Computers and Electronics in Agriculture》《农业工程学报》上发表学术论文 70 余篇。授权中国发明专利 23 件、美国专利 1 件, 参与制定国家标准 1 项。产学研合作开发的水稻精密育秧播种成套装备、水稻机械除草施肥装备、中药材采收装备、水稻营养及病虫害检测系统等在广东、湖南、云南、黑龙江等地大面积推广应用, 完成科技成果鉴定 2 项。