

机器视觉技术在玉米生产管理中的应用现状与展望

杨艳辉, 张苏鸿, 史文崇

(河北科技师范学院数学与信息科技学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 机器视觉技术具有实时性, 高精度和对不利环境的适应性, 可用于玉米生产各环节, 提高生产管理效率。通过文献查阅与梳理分析, 总结了机器视觉技术在玉米种子管理、品质管理、病虫害管理、田间管理等领域的研究现状, 并指出玉米产业应用机器视觉技术的瓶颈在于机器视觉系统研发困难、种植业主应用积极性不高、技术推广人员严重不足等问题, 提出了加强协作开发, 降低成本; 提高田间信息化管理水平, 扩大生产规模; 加大科普及技术服务力度等建议。

关键词: 机器视觉; 玉米产业; 种子管理; 品质管理; 病虫害管理; 田间管理

中图分类号: S-1; S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2023)09-0799-06

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.09.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2023.09.003)

Application Status and Prospect of Machine Vision Technology in Maize Production Management

YANG Yanhui, ZHANG Suhong, SHI Wenchong

(School of Mathematics and Information Science & Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao Hebei 066004, China)

Abstract: Machine vision technology has real-time, high-precision, and adaptability to adverse environments, which could be used in various stages of maize production to improve production management efficiency. Through literature review and analysis, the current research status of machine vision technology in fields such as maize seed management, quality management, pest and disease management, and field management are summarized in this paper. It is also pointed out that the bottleneck in the application of machine vision technology in the maize industry lies in difficulties in machine vision system research and development, low enthusiasm for application, and serious shortage of technical personnel in promotion and extension. In respect of these issues suggestions are proposed including strengthening collaborative development to reduce costs, improving the level of field information management to expand production scale, and increasing efforts in science popularization and technical services.

Key words: Machine vision; Maize industry; Seed management; Quality management; Pest and disease management; Field management

机器视觉技术即通过特定的软硬件系统使机器“获得视觉”, 其核心在于视频采集、数据提取和机器学习, 其突出优势在于实时性、高精度和对不利环境的适应性^[1], 运用得当可取代人类视觉进行鉴定或识别, 提高工作效率, 改善工作效果。机器视觉有二维(2D)和三维(3D)之分, 目前已应用于交通监控、工业质检、汽车制造等领域。

农业是国民经济基础产业。粮食生产是农业

的重要使命。玉米不仅营养成分全面、具有抗癌等功效, 还是淀粉、动物饲料的重要原料^[2]。从产量看, 玉米在世界和中国都是第一大粮食作物, 目前世界仍有 1/3 的人口以玉米为主粮。我国是最大的玉米生产国和消费国。在玉米田间管理中, 由于株高叶大, 株距行距密集, 人类视觉严重受限; 在育种选种等环节, 由于其籽粒、秧苗众多, 靠人类视觉操作效率低、效果差。如果能借助机

收稿日期: 2023-01-17; 修订日期: 2023-05-16

作者简介: 杨艳辉(1998—), 男, 山东潍坊人, 硕士在读, 研究方向为农业信息化、机器学习。Email: yyhhywf@163.com。

通信作者: 史文崇(1965—), 男, 河北秦皇岛人, 副教授, 研究方向为大数据、机器学习、图像处理。Email: mr_shi_pb@126.com。

器视觉完成上述操作,必将极大地促进玉米产业发展。因此,研究机器视觉技术在玉米产业中的应用状况以便有的放矢,具有重要意义。

1 机器视觉在玉米种子管理中的应用

机器视觉在种子管理中的应用涉及考种、种子精选、种子分类和种子活力检测等工作,多应用二维视觉技术。有人把传统选种、育种工作形象地概括为“一把尺子、一杆秤,靠牙咬、靠眼瞪”,说明传统育种选种方式严重依赖于人类视觉和主观判断,其效率和效果往往不尽人意,应用机器视觉技术可使这种状况大为改观。

1.1 机器视觉在玉米考种中的应用

考种作为玉米育种的重要环节,重在统计分析玉米穗与籽粒的性状参数^[3]。人工考种步骤烦琐、耗时长,严重制约着考种效率和效果。吴刚等^[4]应用自研自动考种设备,结合机器视觉技术实现了玉米果穗的形状、穗行、穗粒数等参数的无损测量,其效率可达6 s/穗。吴迪^[5]构建的玉米果穗与玉米籽粒的图像处理与参数提取算法,对玉米果穗与籽粒的参数测量高效准确。Zhang等^[6]基于玉米穗全景图像,将SIFT、指数变换、Sobel-Hough等算法用于玉米考种各参数检测。Gonzalez等^[7]借助Ear CV—一个开源的玉米穗部表型识别包,在可变的光照背景条件下成功地进行了果穗分类。马钦等^[8]基于机器视觉技术发明了一套高通量玉米穗考种装置。总的来看,引入机器视觉有助于改良玉米考种过程中存在的诸多问题。

1.2 机器视觉在玉米种子精选中的应用

种子精选分级,即“净种”,是指剔除种子中破损种子、霉变种子及各种杂质等^[9],对提高保苗率、实现精量播种具有重要意义^[10]。国内外学者已利用机器视觉技术精选玉米种子,并应用于生产实践中。张晗等^[11]提取郑单958玉米种子的形状及颜色特征,构建偏最小二乘判别模型,用于霉变和破损种子的识别。孙进等^[12]设计了种粒形态分级算法结合CAN总线,以扬农15-1号、15-6号玉米种子为研究对象,设计出了玉米种粒分类器。吕梦棋等^[13]利用机器视觉,结合改进的ResNet网络,对农大108玉米种子特征进行分级。姜龙等^[14]、权龙哲等^[15]、赵静等^[16]都发明了具有不同特征的玉米种子精选装置。

1.3 机器视觉在玉米种子分类中的应用

不同玉米品种种子形态特征极其相似,导致种子市场鱼目混珠。需要加强种子纯度鉴定,实现种子精准分类,区分不同品种的种子,以提高种子质量。学者们在探究玉米种子分类问题时,多将机器视觉与深度学习算法结合。王佳等^[17]以玉米种子胚和胚乳为数据集,结合ResNet网络模型,可鉴别登海605玉米种的真伪;冯晓等^[18]借助MobileNetV2网络和迁移学习了对玉米种胚面和非胚面进行高精度鉴别,以区分先玉335及郑丹系列玉米种子;Tu等^[19]通过VGG16网络模型,以京科968玉米种子的胚芽和非胚芽数据为分类依据,进行真伪识别;Javanmardi等^[20]提取玉米的形态、颜色、纹理特征,借助CNN-ANN分类模型,实现了对9个玉米品种的分类。

1.4 机器视觉在玉米种子活力检测中的应用

种子活力综合了种子发芽率、出苗率、幼苗生长潜力等^[21]。传统检测方法操作程序复杂,且多为有损检测^[22],易对种子造成不可逆的破坏,而机器视觉技术作为一种无损检测技术,为玉米种子活力检测提供了新方法,但实际涉及该领域的研究并不多。张晗等^[23]结合极限学习机算法提取郑单958玉米种子的主成分指标,建立了种子发芽潜力检测模型;潘同等^[24]根据玉米胚部染色指标建立MLP神经网络检测模型,证实了机器视觉技术预测不同品种玉米种子生活力的可行性;De等^[25]检测玉米种子发芽率,证明了计算机视觉可以辅助其活力分析。

1.5 机器视觉在玉米种子品质管理中的应用

玉米果实籽粒是玉米生产的最终成果,其性状寄托了玉米种植者的期望,也是验证种子好坏和田间管理效果的直接依据,与种植收益密切相关。玉米果实籽粒品质检测和种子检测目的不同,重点也不同。不少学者也关注了机器视觉在这方面的研究,主要集中在果粒破损率等方面。彭灿^[26]构建的水分检测模型实现了对4种玉米籽粒的水分和破损检测。胡艳侠^[27]通过分析玉米穗外观特征,设计了图像预处理方案,完成对其大小、形状、颜色等精确检测。高新浩等^[28]基于玉米纹理特征建立品质检测模型,用于水果玉米尺寸及破损程度检测。Ren等^[29]设计的青贮玉米二次发酵pH

变化检测模型, 提供了一种青贮玉米质量检测方法。Szwedziak 等^[30]基于机器视觉技术对粮仓中的玉米籽粒污染情况进行了分析。梁鹏等^[31]、王卓等^[32]分别发明出了玉米籽粒品质检测装置和玉米籽粒破损率在线检测装置。

1.6 机器视觉在玉米病虫害检测中的应用

病虫害会影响玉米品质、降低其产量, 传统病虫害检测方式耗时长、效率低、准确率差^[33], 机器视觉技术的应用为解决该问题提供了可能。熊梦园等^[34]使用 ResNet50 网络模型, 包含 50 个卷积操作, 结合 CBAM 模型实现了玉米叶片锈病等多种病害的检测。王超等^[35]利用聚类算法和支持向量机对玉米叶片大斑病等 4 种病害进行了检测。Richey 等^[36]基于机器视觉技术结合 YOLOv4 网络, 对玉米叶枯病进行了实时检测。田磊等^[37]设计了基于安卓手机端的玉米病虫害专家诊断系统。陈峰等^[38]对东北寒地玉米常见的害虫如玉米螟等进行机器识别。

1.7 机器视觉在玉米田间传统管理中的应用

机器视觉在玉米播种、除草、施肥、长势检测管理等方面均有涉及。Ji 等^[39]使用 GABP 算法结合机器视觉设计了智能玉米播种机。冯俊慧等^[40]发明了一套玉米苗期机械除草识别装置。宗泽等^[41]借助机器视觉技术, 设计出苗期玉米定位施肥控制系统, 平均施肥误差仅为 3.2 cm。谭文豪等^[42]基于机器视觉技术设计出了针对玉米中后期喷药作业导航系统。齐江涛等^[43]发明了玉米株心识别系统, 用于玉米苗期病虫害防治。贾彪^[44]构建出针对宁夏滴灌玉米长势和营养检测的技术体系, 并用于实际生产。Jia 等^[45]借助机器视觉对田间玉米植株数量进行统计。McCarthy 等^[46]基于机器视觉对玉米株高和开花期进行检测。Zhao 等^[47]提出了一种检测玉米粒收获机的筛子堵塞情况的算法。Liu 等^[48]借助 CPU-Net 模型对机械化玉米粒收获

过程中存在的杂质进行检测。卜小东等^[49]构建土壤图像与水分数据模型, 对玉米苗期土壤湿度进行检测。刘玉梅^[50]设计了一套筛选玉米单倍体籽粒的系统。张高美等^[51]基于机器视觉技术发明了玉米田间管理机器人。

1.8 机器视觉在玉米田间无人化管理中的应用

田间管理无人化是未来发展趋势, 机器视觉技术可为机器人、无人机参与农作物田间管理助力, 主要是为其提供导航等服务。对作物行的精准识别是农业机器人实现自动驾驶作业的依据^[52], 机器视觉作为行线识别的关键技术在玉米行线提取中得到广泛应用。李霞等^[53]则采用 Hough 变换对玉米行检测进行导航线提取, 为植保机器人自动作业提供了导航依据。李祥光等^[54]对存在缺株现象的玉米行进行了中心线提取算法的研究, 为无人机自动作业提供依据。徐宁等^[55]发明公开了一种基于机器视觉的玉米行道识别方法; 张彦斐等^[56]发明公开了玉米根茎导航基准线提取方法, 这些应用多已涉及三维视觉技术。

2 机器视觉在玉米生产应用的受限因素

机器视觉技术在玉米产业应用研究几乎已涉及常规产业管理的各个领域, 并已发挥巨大作用。表 1 可知, 中外学者在机器视觉用于玉米产业研究各领域的占比情况极其相似, 在玉米种子管理和田间管理方面的探索最多, 在玉米果实品质方面和病虫害管理方面则较少, 在土壤、水质对玉米生产的影响方面涉猎极少, 而在气象对玉米产业的影响方面的文献尚未发现。

学者对玉米生产应用机器视觉技术的研究既受需求的支配、又受技术的制约。机器视觉技术在玉米产业应用目前主要仍局限于研究机构和实验阶段, 玉米种植户直接应用极少, 尤其用于常规田间管理的案例占比极低。在我国育种产业还处于 2.0 向 3.0 发展的传统阶段^[57], 这些现状值得

表 1 机器视觉文献用于玉米产业各领域分支占比

分支	外文文献数	各分支外文文献占比	中文文献总数	各分支中文文献占比
	/篇	%		/篇
种子管理	198	40.09	117	42.86
品质管理	69	13.91	42	15.38
病虫害管理	47	7.70	15	5.49
田间管理	162	32.15	90	32.97
其他	26	6.15	9	3.30
总计	502	100	273	100

业界关注,尤其对一些普遍性的瓶颈问题,必须及时发现和处理。机器视觉技术在玉米生产上应用不足,主要与以下诸因素有关。

2.1 机器视觉系统研发门槛高

机器视觉系统专用性、针对性强,已有的小麦或水稻的机器视觉系统不能用于玉米生产,必须独立开发。已有的研发产品因为精度要求高导致硬件价格昂贵,或者机械设备本身具有缺陷不适合开发相应仪器,而且算法模型开发困难,相应的实时性机器学习模型的开发成为主要技术瓶颈,致使一个完整的机器视觉系统研发成本高、周期长、落地难。尽管有业内人士反映,某些玉米考种仪对杂交种识别和考种数据较为真实,但是对玉米自交系,尤其是穗行数排列不整齐的自交系果穗的考种结果不准确,应用空间自然受到限制。

2.2 种植业主应用积极性不足

我国小农经济占比大,农民个体生产的种植成本高,收益低,应用高技术设备的自觉性、主动性差。对于玉米种植面积较小的小农户来说尤其如此。玉米本身不是经济作物,作为粮食出售,售价较低,收益不足以引导种植户在田间管理中投入较大资金添置农业设施。只有足够的种植面积、出现用传统手段难以解决的问题时,才有强烈的技术需求。

2.3 技术推广人员严重不足

至 2021 年,我国农业科研机构从业人员为 7.23 万人^[58]。玉米作为传统的粮食作物,专业技术人员本来不多,而其中熟悉机器视觉的技术人员微乎其微。一些技术人员从未接受机器视觉技术培训,对机器视觉技术缺乏了解,普及相关技术困难重重。

3 促进机器视觉技术在玉米生产中应用的措施

3.1 加强协作开发,降低成本

加强玉米产业实时性机器学习模型的开发协作攻关,以降低研发成本和成型系统售价,并增强系统的实用性和普适性。这需要研发公司和用户的长期合作,从实用性入手,向普适性拓展,既提升效率又改良效果,以求更多、更好地解决玉米生产管理中的实际问题。

3.2 提高田间信息化管理水平,扩大生产规模

加速玉米种植业主联合、并产,提高田间管

理的信息化、智能化水平。生产规模扩大后,玉米种植户原有的粗放经营意识逐渐被颠覆,向科学管理要效益的意识增强,会主动寻求机器视觉技术的支持。

3.3 加大科普及技术服务业力度

做好玉米产业小农户的科普和技术服务工作。小面积种植户始终是我国玉米种植业主体。也应该成为机器视觉技术的主要受益者。必须使农户在玉米种植过程中想得到、用得上、学得会、用得起,初步尝试使用新技术。为此,一方面,政府主管部门要加强相关技术培训,农技人员大力宣传、示范机器视觉技术的应用;另一方面,技术推广部门要推行机器视觉系统的流动性、租赁性服务,以降低玉米种植业主的生产成本。

4 机器视觉在玉米生产中的应用展望

目前,机器学习技术已经成熟并逐步普及,这为玉米产业广泛应用机器视觉技术奠定了基础,有利于加速玉米产业多种专用机器视觉系统的开发。我国实行农村土地确权后,更便于农户租赁、转让土地,利于玉米种植户扩大种植规模,实现集约化经营,并最终有利于种植业主添置新的技术装备并降低运作成本。更重要的是,我国最新出台的粮食产业政策有利于机器视觉技术的开发和普及。2017 年国务院发布《新一代人工智能发展规划》,提出加速推进农业产业等智能化升级,并将“研制农业智能传感与控制系统、智能化农业装备、农机田间作业自主系统等”作为奋斗目标。2022 年末的中央农村工作会议指出,在目前主产地、主粮产量接近天花板的形势下,要发展粮食产业,必须深刻认识“藏粮于地”“藏粮于技”,并重点提到了玉米价值^[59],这些都有利于机器视觉技术在玉米生产中的应用。

目前我国已经有一些机器视觉产品公司,如中视智能、全帝视觉、北京盈美智等,参与到玉米产业发展中。在背景技术突飞猛进、管理体制日渐灵活、国家政策高度支持的形势下,机器视觉技术必将迅速弥补诸多应用缺口,对促进我国和世界玉米产业的发展做出巨大贡献。

参考文献:

- [1] 360 百科. 机器视觉技术[EB/OL]. (2022-12-8)[2023-1-8]. <https://baike.so.com/doc/6004762-6217745.html>.

- [2] 360 百科. 玉米[EB/OL]. (2018-6-27) [2023-1-8]. <https://baike.so.com/doc/5370249-5606124.html>.
- [3] 托普云农. 考种是什么意思, 考种的意义[EB/OL]. (2022-6-15) [2023-1-10]. http://www.seed17.com/tech/id_4298.html.
- [4] 吴刚, 吴云帆, 陈度, 等. 基于机器视觉的玉米果穗性状参数测量方法研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(S2): 357-365.
- [5] 吴迪. 基于计算机视觉的玉米考种参数获取研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2020.
- [6] ZHANG X, LIU J, SONG H. Corn ear test using SIFT-based panoramic photography and machine vision technology[J]. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2020, 4: 162-171.
- [7] GONZALEZ JUAN M., GHOSH NAYANIKA, COLANTONIO VINCENT, et al. EarCV: An open source, computer vision package for maize ear phenotyping [J]. *The Plant Phenome Journal*, 2022, 5(1): e20055.
- [8] 马钦, 周金辉, 朱德海, 等. 基于机器视觉的高通量玉米果穗考种流水线装置及其方法: CN104488405B [P]. 2016-04-27.
- [9] 中国农业信息网. 种子加工处理方法[EB/OL]. (2020-10-30)[2023-1-10]. http://www.agri.cn/province/gansu/syjs/jgjs/202010/t20201031_7550129.htm.
- [10] 李寒松, 陈立涛, 张晓亮, 等. 国内外玉米种子精选分级技术装备及发展趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2016, 54(11): 11-13.
- [11] 张晗, 闫宁, 吴旭东, 等. 在线式玉米单粒种子检测分选装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(6): 159-166.
- [12] 孙进, 张洋, 王宁, 等. 融合机器视觉和CAN总线的玉米种粒分类器设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(8): 81-89; 120.
- [13] 吕梦棋, 张芮祥, 贾浩, 等. 基于改进 ResNet 玉米种子分类方法研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(4): 92-98.
- [14] 姜龙, 王雪, 王佳航, 等. 基于机器视觉的玉米种子精选机、精选方法和精选系统: CN112642727A [P]. 2021-04-13.
- [15] 权龙哲, 郇亚军, 奚德君, 等. 一种基于机器视觉的气吸式垂直双圆盘玉米种子分选装置: CN106694396B [P]. 2018-11-13.
- [16] 赵静, 崔欣, 徐文腾, 等. 一种基于机器视觉的玉米种子在线破损识别分类装置: CN108655021B [P]. 2020-03-13.
- [17] 王佳, 马睿, 马德新. 基于深度学习的登海 605 玉米品种真伪鉴别方法研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(3): 151-157.
- [18] 冯晓, 张辉, 周蕊, 等. 基于深度学习和籽粒双面特征的玉米品种识别[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(12): 2983-2991.
- [19] TU K, WEN S, CHENG Y, et al. A non-destructive and highly efficient model for detecting the genuineness of maize variety 'JINGKE 968' using machine vision combined with deep learning[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021, 182:106002.
- [20] JAVANMARDI S, ASHTIANI S H M, VERBEEK F J, et al. Computer-vision classification of corn seed varieties using deep convolutional neural network[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2021, 92: 101800.
- [21] ZHOU Y, ZHOU S, WANG L, et al. MiR164c and miR168a regulate seed vigor in rice[J]. *Journal of integrative plant biology*, 2020, 62(4): 470-486.
- [22] FENG L, ZHU S, ZHANG C, et al. Identification of maize kernel vigor under different accelerated aging times using hyperspectral imaging[J]. *Molecules*, 2018, 23(12): 3078.
- [23] 张晗, 董宏图, 栗彬彬, 等. 玉米单粒种子发芽潜力无损检测方法研究[J]. 种子, 2021, 40(11): 144-148.
- [24] 潘同, 吴伟锋, 侯浩楠, 等. 机器视觉技术对氯化三苯基四氮唑染色法鉴定玉米种子生活力的改进[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(5): 106-113.
- [25] DE MEDEIROS A D, PEREIRA M D, SOARES T, et al. Computer vision as a complementary method to vigour analysis in maize seeds[J]. *Journal of Experimental Agriculture International*, 2018, 25(5): 1-8.
- [26] 彭灿. 基于机器视觉的玉米水分和破损籽粒检测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [27] 胡艳侠. 基于机器视觉的玉米果穗品质检测方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [28] 高新浩, 刘斌. 基于机器视觉的鲜食玉米品质检测分类器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 298-303.
- [29] REN X, TIAN H, ZHAO K, et al. Research on pH value detection method during maize silage secondary fermentation based on computer vision[J]. *Agriculture*, 2022, 12(10): 1-18.
- [30] SZWEDZIAK K. The use of vision techniques for the evaluation of selected quality parameters of maize grain during storage[C]//E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019, 132: 1-8.

- [31] 梁 鹏, 林智勇, 郝 刚. 基于机器视觉的玉米籽粒品质自动检测装置: CN108204977A [P]. 2018-06-26.
- [32] 王 卓, 杨 亮, 高 雷, 等. 一种基于机器视觉的玉米籽粒破碎率在线检测方法及其装置: CN108120715A [P]. 2018-06-05.
- [33] 温艳兰, 陈友鹏, 王克强, 等. 基于机器视觉的病虫草检测综述[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(10): 271-279.
- [34] 熊梦园, 詹 炜, 桂连友, 等. 基于 ResNet 模型的玉米叶片病害检测与识别[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(8): 164-170.
- [35] 王 超, 张 勇, 王 森, 等. 基于机器视觉的网络化玉米病害检测方法研究[J]. 江苏科技信息, 2020, 37(5): 27-28.
- [36] RICHEY B, SHIRVAIKAR M V. Deep learning based real-time detection of Northern Corn Leaf Blight crop disease using YoloV4[C]//Real-Time Image Processing and Deep Learning 2021. SPIE, 2021, 11736: 39-45.
- [37] 田 磊, 李 丽, 王明绪. 基于 Android 的玉米病虫害机器视觉诊断系统研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 207-211.
- [38] 陈 峰, 谷俊涛, 李玉磊, 等. 基于机器视觉和卷积神经网络的东北寒地玉米害虫识别方法[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 237-244.
- [39] JI J, SANG Y, HE Z, et al. Designing an intelligent monitoring system for corn seeding by machine vision and genetic algorithm-optimized back propagation algorithm under precision positioning[J]. Plos one, 2021, 16(7): e0254544.
- [40] 冯俊惠, 李志伟, 方休俊. 一种基于机器视觉的玉米苗期机械除草识别方法及装置: CN111028233A [P]. 2020-04-17.
- [41] 宗 泽, 刘 刚. 基于机器视觉的玉米定位施肥控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(S1): 66-73.
- [42] 谭文豪, 桑永英, 胡敏英, 等. 基于机器视觉的高地隙喷雾机自动导航系统设计[J]. 农机化研究, 2022, 44(1): 130-136.
- [43] 齐江涛, 刘 凯, 郑筱光, 等. 一种基于机器视觉的玉米株心识别系统: CN212322280U [P]. 2021-01-08.
- [44] 贾 彪. 基于机器视觉的玉米长势监测与营养诊断体系构建. 宁夏大学, 2021-05-08.
- [45] JIA H, WANG G, GUO M, et al. Methods and experiments of obtaining corn population based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(3): 215-220.
- [46] MCCARTHY ALISON, RAINE STEVEN. Automated variety trial plot growth and flowering detection for maize and soybean using machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022: 194.
- [47] ZHAO R, FU J, CHEN Z, et al. Low-rank-constraint-based machine vision algorithm for chaffer-sieve-clogging recognition of corn harvester[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198: 107056.
- [48] LIU L, DU Y, CHEN D, et al. Impurity monitoring study for corn kernel harvesting based on machine vision and CPU-Net[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 202: 107436.
- [49] 卜小东, 张馨月, 黄可京, 等. 基于机器视觉的玉米苗期土壤湿度检测试验研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(7): 150-156.
- [50] 刘玉梅. 基于机器视觉的玉米单倍体籽粒分拣技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015.
- [51] 张高美, 李怀强, 屈嘉棋, 等. 一种基于机器视觉技术的玉米田间管理机器人: CN112487936A [P]. 2021-03-12.
- [52] 刁智华, 闫娇楠, 赵素娜, 等. 基于图像处理的作物行识别算法研究进展[J]. 河南农业科学, 2022, 51(3): 12-19.
- [53] 李 霞, 苏筠皓, 岳振超, 等. 基于中值点 Hough 变换玉米行检测的航线提取方法[J]. 农业工程学报, 2022, 38(5): 167-174.
- [54] 李祥光, 赵 伟, 赵雷雷. 缺株玉米行中心线提取算法研究[J]. 农业工程学报, 2021, 37(18): 203-210.
- [55] 徐 宁, 胡敏英, 桑永英, 等. 一种基于机器视觉的玉米行道识别的方法: CN115410193A [P]. 2022-11-29.
- [56] 张彦斐, 刘 皓, 官金良, 等. 基于导航趋势线的玉米根茎导航基准线提取方法: CN11 2712534A [P]. 2021-04-27.
- [57] 张佳星. 我国瞄准智慧育种 4.0 时代进阶[N]. 科技日报, 2021-12-31(002).
- [58] 人民网. 人民网评: 让农业科技人才茁壮成长、大显身手[EB/OL]. (2022-9-1) [2023-1-14]. <http://opinion.people.com.cn/n1/2022/0901/c223228-32517269.html>.
- [59] 周怀宗. 解读中央农村工作会议 | 新一轮千亿斤粮食产能提升如何实现? [N]. 新京报, 2022-12-25(1).