

设施农业资源利用现状及智慧化趋势

窦俊洋, 胡钧铭, 郑富海, 张俊辉, 李婷婷, 俞月凤

(广西壮族自治区农业科学院农业资源与环境研究所/广西耕地保育重点实验室, 南宁, 530007)

摘要: 随着人口、土地要素的日趋约束, 挖掘利用立体空间资源、保护生态环境, 减少资源过度消耗的设施农业生产具有重要价值。本文从设施农业内涵、历程、类型角度, 对设施农业的功能、分布、资源化利用现状进行分析。提出目前我国设施农业智慧化关键瓶颈, 从农业传感器、人工智能、应用体系等方面进行展望设施农业未来发展趋势, 以期为缓解我国人均耕地资源、高效利用水肥资源及设施农业发展提供新思路。设施农业智慧化利于提高农业资源利用和生产效率, 是未来中国式农业现代化新型发展趋势之一。

关键词: 设施农业; 智慧化; 立体空间; 植物工厂; 农业资源利用

中图分类号: S-9

文献标志码: A

0 引言

设施农业是现代农业中不可或缺的重要组成部分^[1]。随着人口、土地要素的日趋约束, 如何在增加资源消耗且的情况下绿色提高农业生产效率的关键问题亟待解决^[2]。设施农业在农业资源特别是土地资源的立体空间利用上具备独特的优势, 可以解决土地资源紧缺的问题, 使得农业生产在小型化、集约化成为可能^[3]。设施农业智慧化是调整农业结构、建设资源节约型、环境友好型农业的重要方向^[4]。设施农业发展经历阳畦、小型和中型玻璃温室、塑料大棚、无土栽培温室、现代化温室以及全自动化控制的植物工厂^[5-6]。目前, 国内外的研究重点在于将现代高科技手段与农业生产精密结合, 以促进农业的可持续发展和提升农业生产效率^[3,7]。通过应用物联网技术、智能控制系统和新型材料等新兴技术, 实现农业设施的信息化、智能化和绿色化, 并提升设施农业产品的品质和效益^[8]。随着城市化进程推进和农业用地的持续减少, 我国人

均农业资源短缺, 特别是人均耕地不足的问题亟待解决。本研究旨在以设施农业资源利用现状为基础, 总结出设施农业智慧化发展瓶颈。对应相关瓶颈, 总结分析出设施农业智慧化的未来发展和应用趋势, 为我国高质量发展现代智慧设施农业提供相关研究思路和方向。

1 设施农业

1.1 设施农业内涵

1.1.1 设施农业的概念

根据《中国农业百科全书》, 20世纪80年代中期我国学术界提出了“设施农业”这一概念, 旨在推广和研发农业生产中的设施技术, 并以提高农产品品质和产出。现在这一概念指在具备相对可控环境下, 利用工程技术手段进行动植物高效生产的一种现代农业形式, 尽管设施农业包括多种类型, 然而在实际应用中, 人们更多地将其解释为设施种植业^[9]。随着现代科技的发展, 现代农业下的设施农业是以人工智能、物联网、大数据等现代化技术为

基金项目: 广西“新世纪十百千人才工程”专项资金(2018221); 广西科技基地和人才专项(2022AC18008); 广西农业科学院创新团队项目(桂农科2021YT040); 广西特色作物试验站专项(TS202106)。

第一作者简介: 窦俊洋, 男, 2000年出生, 四川绵阳, 主要研究方向为农业资源与环境。通信地址: 530007 广西南宁市大学东路174号, 广西壮族自治区农业科学院农业资源与环境研究所, Tel: 0771-3245043, E-mail: 2315337313@qq.com。

通讯作者简介: 胡钧铭, 男, 1974年出生, 江苏宿迁, 研究员, 博士, 主要研究方向为农业有机资源利用与生境调控及逆境生态。E-mail: jmhu06@126.com, 中国农学会会员号: A011300044M。

支撑,按照作物或动物生长发育的生理规律和环境需求,通过科技人为手段模拟创造出适宜生长的环境,从而实现智慧化的农业生产方式^[10]。

1.1.2 设施农业的功能

设施农业是一种农业资源高效利用的农业生产方式,能较大限度地利用有限土地、水资源^[11-12],并通过水肥的精细化管理,减少资源浪费,增加土地产出率和劳动生产率^[13]。设施农业通过对农业生产的各个环节进行人工干预和控制,降低了自然环境对农业生产及农产品储存的影响,有效提高了农业生产的稳定性和可控性,减少了风险的发生概率,使得作物从自然条件的束缚中获得解放,从而实现农产品的全年生产和均衡供应^[14-15]。因此,设施农业中的生产过程及农产品储藏更具有稳定性和可预测性,能够增强农业生产的抗风险能力。

现在各国注重产品的安全性和质量,要求较少的有害残留物和环境污染,以保证未来的粮食安全^[16]。设施农业可通过优化生产环境、降低二氧化碳排放、提高生物多样性等措施,减缓了大气、水和土壤的环境压力^[17-18]。

1.1.3 设施农业的特点

设施农业的特点概括下来主要有高投入、高效益、高资源利用率。高投入体现于设施农业是一种高度技术化的农业生产模式,经营者需要投入大量资金购置各种先进的设施设备,如温室、光照设备、空气处理设备、灌溉设备、环境监测设备等,并且还需要投入大量的高品质的种子、肥料、农药和其他生产用品^[19];高效益体现于设施农业使用了相对的先进技术和手段,通过监测农业生产各个环节中的质量与安全问题,能够及时发现和解决潜在风险,从而确保农产品的品质安全,所以在同等面积和地区下生产效益更高,产品质量更好,在长期经营中能带来更高的经济效益和市场竞争力,逐渐收回投入成本,实现良性循环^[20-21]。高资源利用率体现于设施农业不仅可以利用垂直方向的空间^[11,22-23],大幅度提高土地的利用效率,而且能通过肥料和水的精细化管理,减少资源的浪费,增加土地产出率和劳动生产率^[13]。

1.2 设施农业发展历程

1.2.1 我国设施农业发展历程

根据李天来等^[3]的总结,我国设施农业自 20 世

纪 50 年代开始较快发展,经历了从简易设施到规模化生产的发展历程;20 世纪 60 年代末,我国北方城市郊区首先形成了较为完整的设施农业保护地生产技术体系,其核心是地面覆盖、防风屏障、阳畦和设施温室等,但其发展受到了当时设施农业基础条件和相关农艺技术手段的限制;20 世纪 70 年代,我国从日本引入的当时较为先进的地膜覆盖技术并广泛在全国范围内应用和推广,其在保温防风、保墒防旱、保肥防病的作用效果明显;20 世纪 80 年代,我国设施农业迈进了一个新台阶,随着设施农业保护地技术体系的更新,多材料框架结构塑料大棚技术、无自主热源太阳光温室技术、多样式遮阳网覆盖技术取得了较大进步;在技术手段和设施条件不断提高的情况下,20 世纪 90 年代以来,我国开始大规模引进国外以复合材料和优良结构类型为基础的先进连栋温室技术体系,设施农业在该体系的加持下开始尝试建立反季节园艺作物生产技术体系。

自 2010 年开始,我国以提高设施农业发展水平为主要导向,开展一系列相关技术体系的研究和试验,在超大型绿色节能连栋玻璃温室和大棚体系中取得了较大的进步和成效。目前主要研究方向是探索植物工厂集约化、产业化、机械化生产技术体系和高效利用城市空间的智慧都市农业体系^[24-25],在一定程度揭示了设施农业未来的创新方向。

1.2.2 国外设施农业发展历程

根据高峰、张英等的总结^[5-6],早在 15—16 世纪英格兰、荷兰、法国和日本等国家就开始利用温室等简易设施进行栽培多种时令蔬菜或小水果作物;随着科技的进步,19 世纪初欧洲国家开始使用玻璃温室进行栽培和养殖,提高了冬季蔬菜的产量和质量,并在 19 世纪末传入美洲及世界各地,推动了设施农业的普及;20 世纪 50~60 年代,美国、加拿大的温室设施农业发展迅速,达到高峰;欧洲的荷兰、德国等国家的温室工业化产业兴起,温室技术得到了进一步的推广和普及;20 世纪 60 年代,美国研制出无土栽培技术,改变了传统温室作物生产方式,为设施农业的高效生产提供了切实可行的措施;到了 20 世纪 70 年代初,美国已有 400 hm² 无土栽培温室专门用于生产黄瓜、番茄等冬季

作物；从此设施农业开始朝着更加高效、均衡、生态的方向发展。

根据李清明等的总结^[7]，目前设施农业研究热点是植物工厂高技术研发领域，日本、美国等国家在机械化、自动化、智能化等方面处于世界领先地位。这些国家的植物工厂在种植的全过程中，从种子播种、育苗、移栽、管理、采摘等关键生产环节逐步实现了生产过程的半自动化，融合了各种高科技手段与设备。

1.3 设施农业类型

根据《中国农业百科全书》，设施栽培一般指在保护结构下按照要求人工调节空气、水、温度、光照等条件，实现优质、高产、无污染的作物生产。设施栽培包括塑料棚栽培、温室栽培和植物工厂栽培等不同技术层次。设施栽培一般指设施园艺；设施养殖主要包括畜、禽、水产饲养，通过人工调节空气、水、温度等环境，提高动物生长发育效率和生产效益。设施养殖包括塑料棚饲养、畜舍饲养和工厂化饲养等不同技术层次。

2 我国设施农业资源利用现状

2.1 设施农业功效

2.1.1 满足人们对肉、蛋、奶、蔬菜、水果等食物需求

根据李天来等统计^[3]，目前设施蔬菜的生产面积已超过 230 万 hm^2 ，年产量达到 2.5 亿 t 以上，占全国农业中蔬菜总生产量的三成以上、商品菜一半以上，年产量面积比约为 $11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，年人均蔬菜消耗量接近 200 kg。设施蔬菜的生产实现了一年四季的供应，有效地缓解了蔬菜季节性短缺的问题，并且为市场提供了及时保存和运输不耐储存、运输瓜果的基础。

根据《中国农业年鉴》，2019 年全国肉类总产量为 7758.8 万 t，人均可供给肉量约为 55.42 kg。猪肉产量为 4255.3 万 t，人均约 30.40 kg；牛肉产量为 667.3 万 t，人均约 4.77 kg；羊肉产量为 487.5 万 t，约 3.48 kg；禽肉产量为 2238.6 万 t，人均约 15.99 kg。禽蛋产量为 3309 万 t，人均约 23.64 kg。奶类产量为 3297.6 万 t，人均约 23.55 kg。全年水产养殖产量为 5,079 万 t，人均约 36.28 kg；捕捞产量为 1,401 万 t，人均约 10.01 kg，养殖产品与捕捞产品的产量比约为 4:1。

2.1.2 助力乡村振兴

根据李天来等^[3]总结：目前，我国设施园艺产业总产值已超过 1.4 万亿元，占全国园艺相关生产总产值的 40%以上、种植业生产总产值的 25%以上、以及农业总产值的 12%以上。据测算^[26]，设施园艺产业需要建筑材料、塑料薄膜、农资用品、优质种子或秧苗、环境温湿度控制设备、相关农业器械等关联产业的服务支撑，全产业链年估产值约 4500 亿元，提供相关就业岗位约 2000 万个。

根据《中国农业年鉴》，2019 年全国平均每头（只）商品肥猪、产蛋鸡、肉鸡、育肥牛、产奶牛、绵羊、山羊利润分别为 660 元、44 元、7.4 元、2048 元、4275 元、381 元、565 元；养殖渔业也有一些典型，例如广西三江的“一季稻+再生稻+鱼”模式经济效益的平均产值达 $72090 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ^[27]；“三区三州”深度贫困地区生态渔业扶贫典型案例^[28]。

2.1.3 农业资源环保高效利用

根据李天来的统计^[3]，设施园艺作物的高产效应加上寒冷地区复种指数提高一倍，使优质用地可节省 200 万 hm^2 以上。设施园艺每生产 1kg 果菜耗水量可减少 20 kg，其节水效益是传统蔬菜种植耗水量的一半以上。在资源利用方面，实现农业废弃物高效利用和绿色节约生产。例如，我国通过节能日光温室和塑料棚为主要技术体系的设施农业，避免了使用其他能源提高温室或棚内温度所带来的能源额外资源消耗和碳排放过量问题，据估算：约 1 hm^2 的日光温室在节约煤炭方面相较于连栋玻璃温室，每年可节省约 1000t 煤，约占全国煤炭消耗量的 16.6%，减排二氧化碳 1875 t 以上，降低了大气环境压力。根据《中国农业年鉴》，2019 年全国畜禽粪污资源化综合利用率达到 75%。

2.2 设施农业分布

截至 2022 年我国设施园艺总面积 280 多万 hm^2 ，占世界设施总面积的 80%以上。在这些设施中，蔬菜（含食用菌）、果树和花卉种植面积分别占 81%、11%和 7%^[3]。从面积分布来看^[29]，368 万 hm^2 设施蔬菜区域分布：黄淮海及环渤海湾地区占 57%，长江中下游地区占 20%，西北地区占 11%，其他地区占 12%。其中，山东省面积最大，约 600 万 hm^2 ，与江苏、河北、辽宁、安徽、河南、陕西 7 省共占全国设施蔬菜面积的 69%。

据农业农村部统计和熊学振等^[30]统计, 2019 年按生猪年出栏 500 头以上、肉牛年出栏 50 头以上、羊年出栏 100 只以上、肉鸡年出栏 10000 只以上、蛋鸡年存栏 2000 只以上、奶牛年存栏 100 头以上的规模化标准计算, 生猪、肉牛、羊、肉鸡、蛋鸡和奶牛的规模化率分别达到 53.0%、27.4%、40.7%、82.5%、78.1%、64.0%。从产值分布方面来分析, 畜牧业经济活跃的区域主要分布在中东部, 尤其是倾向于集聚在耕地资源和粮食生产丰富的农业大省(直辖市、自治区); 同时, 靠近主要消费区也是畜牧业经济布局的一个显著特征。

根据《中国渔业统计年鉴》, 2019 年全国水产养殖面积总计 7108497 hm², 简单池塘化养殖约占比 5.29% (只有海水养殖), 普通设施养殖约占比 94.58%, 工厂化养殖约占比 0.13%。根据姜雨青等^[31]分析我国沿海省份普通网箱、深水网箱、筏式养殖等设施渔业分布。我国沿海省份普通网箱数量的分布情况呈现南多北少的分布趋势。其中, 普通网箱南方占据九成以上, 主要在福建和广东两省, 剩余一成普通网箱主要集中在北方的山东省和辽宁省。深水网箱南方主要分布于广西、海南、浙江等地区, 北方则是主要集中于山东省。筏式养殖设施在全国沿海省份分布相对均匀, 南方主要位于福建省, 北方则在山东和江苏两省。

2.3 设施农业智慧化

如果按照农业分级对照来看^[32], 可以将设施农业分成 4 个等级, 1.0 是设施和生产都没有规范背景下的人力与畜力为主的传统设施农业。2.0 是设施和生产有了相应规范机械化设施农业。3.0 是设施和生产实现现代化的自动化设施农业。4.0 是以智能化为特征的智慧农业。随着现代农业推进, 传统农业机械将会被智慧化设备替代^[33]。目前我国设施农业主要还是停留在 1.0 到 2.0 中^[34], 有小部分先进产业园区达到 3.0, 而 4.0 目前还在摸索^[25,35-36]。

3 设施农业智慧化发展瓶颈

3.1 农业传感器发展缓慢

农业传感器是设施农业智慧化主要硬件瓶颈。由于农业生产的多样性, 智能传感器技术种类也较多。这些传感器技术根据检测对象分为生物信息传感器技术、环境信息传感器技术、食品质量传感器技术和食品安全传感器技术。

目前, 智慧农业大多数研究和应用下都采用将工业级传感器、微控制器和无线通信等单个组件以模块化方式集成的方法, 这种方法所需的成本相对较高, 传感器的大小和结构不能随意更改。在多数数据、多传感器的智慧农业物联网背景下, 这些都不利于农业传感器在实际生产中大规模应用^[37]。此外, 传感器高端技术主要还是依赖进口, 本国相关知识产权较少, 特别是在农产品品质和安全相关方面存在较大空白^[4,38]。

MEMS 技术可以实现传感器、反应器和电路装置之间的高度集成, 形成一个内部局域网络连接的完整系统, 有助于加强不同部分之间的联系, 并提高整体性能^[39]。但基于 MEMS 技术而研发的农业智能传感器极少^[40]。

3.2 缺乏动态人工智能技术

人工智能技术是设施农业发展的主要软件瓶颈, 它是整个智慧设施农业的控制核心。人工智能的决策伴随整个生产销售流程, 包含作物种子鉴定、生产环境监测、植保专家系统、作物采收、产品检验、智慧仓储、智慧物流等^[41]。但这类系统的开发应用多数情况下是针对某一个特定的对象, 人工智能系统内容一经训练就基本固定, 贸然修改会降低软件运行效率和准确度。若想改变其对象或相关数据多数情况下需要添加新的训练集, 重新再训练一个独立的模型。而在实际的农业生产中, 各方面要求都在改变, 例如病虫害的种类和抗药性以及环境条件在不断发生变化, 人工智能在此复杂的环境下较难发挥功效^[42]。

3.3 应用体系不完全

我国设施农业装备发展滞后, 设备相对简单, 环境控制能力差, 机械化和自动化程度还较低, 设施农业试点工作仍需稳步推行^[43]。发达国家现代设施农业工程建立了相对独立的产业体系, 开始商业化探索^[44], 而我国设施农业行业尚处于分散经营的阶段, 小型乡镇企业居多, 工艺水平较低, 高水平集成尚在摸索状态^[4]。

4 设施农业智慧化趋势

4.1 农业传感器高度集成化

MEMS 技术未来的发展前景非常广阔^[37,40], 未来 MEMS 技术可以通过安装在温室内的无线传感器网络 (WSN) 来实现对温室环境的实时监测和控

制。这些传感器可以测量温度、湿度、二氧化碳浓度、光照强度等参数，从而优化温室环境，提高作物生长效率。MEMS 技术也可用于设计微型土壤水分传感器，通过传感器内的微型元件实时检测土壤水分情况，并将数据传输到无线传感器网络 (WSN) 中，从而实现对土壤水分的远程监测和管理。这种技术对于提高水资源的利用效率有很大的实际应用价值。这将提高加速设施农业的安全性、效率、可持续性等方面的表现，并在农业生产中发挥更大的作用。

4.2 构建模块化人工智能

尽管人工智能智能系统的修改难度较大，但其模块调用相对简单。通过模块化部署，可以在运行过程中轻松添加、删除或替换任何模块，从而更容易适应新的环境或需求。传统的人工智能系统通常是单一的大型应用程序，其中一个部分出现故障就可能整个系统崩溃。而模块化部署意味着每个模块都相对独立，使系统更具健壮性，有利于减少冗余和提高可靠性。未来海量优质数据集集成到一个大的农业人工智能里，各产业相互连通，数据清晰可见，生产模式可完美复制。

4.3 应用体系完整化

大数据技术将全面渗透农业产业链，从最开始的种子肥料生产、运输、保存，到智慧农场的种养、加工、存储，再运输到消费者手里，最后到各阶段处理废弃物的全过程，展现出信息科技对于农业产业发展的关键支撑作用。至此农业生产将从人力和畜力的低效模式转变为工厂化高效生产模式^[45]。在未来，戈壁、沙漠、太空等恶劣不适宜种植的环境将有可能发展现代设施农业^[46]；蔬菜集约化育苗中心等示范中心^[47]、“休闲农业”等乡村旅游项目，将辐射周边设施农业产业升级^[48]；另外废物资源化研究也应集成进入产业体系，如禽粮绿色循环^[49]，农业尾水回用^[50]，从而实现设施农业真正的全面智慧化。

参考文献

- [1] 初侨,燕艳华,翟明普等.2021.现代农业全产业链标准体系发展路径与对策研究[J].中国工程科学,23(03):8-15.
- [2] 仇焕广,雷攀圆,冷淦满等.新时期中国粮食安全的理论辨析[J].中国农村经济,2022,No.451(07):2-17.
- [3] 李天来,齐明芳,孟思达.中国设施园艺发展 60 年成就与展望[J].园艺学报,2022,49(10):2119-2130.
- [4] 赵春江.智慧农业的发展现状与未来展望[J].华南农业大学学报,2021,42(06):1-7.
- [5] 高峰,俞立,卢尚琼,徐青香,于莉洁.国外设施农业的现状与发展趋势[J].浙江林学院学报,2009,26(02):279-285.
- [6] 张英,穆楠,张雪清.国外设施农业的发展现状与趋势[J].农业与技术,2008,No.163(02):123-125.
- [7] 李清明,仝宇欣,杨晓,杨其长.国内外植物工厂研究进展与发展趋势[J].农业工程技术,2022(10):49-53.
- [8] Yang X ,Shu L ,Chen J , et al.A Survey on Smart Agriculture:Development Modes, Technologies, and Security and Privacy Challenges[J].IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica,2021,8(02):273-302.
- [9] 杨其长,魏灵玲,刘文科等.中国设施农业研究现状及发展战略[J].中国农业信息,2012,No.141(11):22-27.
- [10] 杜志雄.农业农村现代化:内涵辨析、问题挑战与实现路径[J].南京农业大学学报(社会科学版),2021,21(05):1-10.
- [11] 李峰,文辉,韩晓华等.“立体种养”模式助力高营子村乡村振兴事业[J].现代农业,2021,No.540(06):93-95.
- [12] 粟泽荣.立体农业栽培技术类型及改善建议[J].乡村科技,2021,12(16):52-53.
- [13] 宗哲英,王帅,王海超等.水肥一体化技术在设施农业中的研究与建设[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2020,41(01):97-100.
- [14] 王牧野,李建平,李俊杰.成本收益视角下中国设施蔬菜生产效率研究——以黄瓜、番茄栽培为例[J].中国农业资源与区划,2021,42(12):170-183.
- [15] 乐章燕,石茗化,李德等.河南省设施农业冬季低温灾害风险评估[J].干旱气象,2022,40(04):667-676.
- [16] 廖小静,徐雪高,易中懿等.“政府-市场-社会”协同视角下欧盟农业可持续发展的经验与启示[J].世界农业,2022,No.516(04):5-13.
- [17] 尹岩,郝凤明,郝龙飞,王娇月,李杰颖,杜立宇,刘丽.我国设施农业碳排放核算及碳减排路径[J].应用生态学报,2021,32(11):3856-3864.
- [18] 刘霓红,蒋先平,程俊峰等.国外有机设施园艺现状及对国内设施农业可持续发展的启示[J].农业工程学报,2018,34(15):1-9.
- [19] 香银元.河西走廊地区设施农业发展的影响因素研究[D].长江大学,2022.
- [20] 凡久彬.严重缺水地区“高产、优质、高效”设施农业生产模式的应用——以建平县太平庄乡温室大棚工程为例[J].水利科学与寒区工程,2021,4(05):165-167.
- [21] 刘俊峰,孔亮亮,宋俏娟等.四川冬季设施鲜食玉米高产栽培技术探讨[J].安徽农学通报,2021,27(19):23-24.
- [22] 王妮,游红章,韩倩等.设施农业新型栽培模式探析[J].现代农业科技,2020,No.761(03):166+170.
- [23] 张开军,吴涛,刘世海.大棚双层覆盖草莓立体无土栽培技术[J].长江蔬菜,2018,No.457(11):44-46.
- [24] 周增产,董微,李秀刚,兰立波,姚涛,胡福生.植物工厂产业发展现状与展望[J].农业工程技术,2022,42(01):18-23.
- [25] 杨其长.以都市农业为载体,推动城乡融合发展[J].中国科学院院刊,2022,37(02):246-255.
- [26] 陈德明.设施农业为高质量发展赋能 为大食物安全护航[J].上海农村经济,2022(09):25-27.
- [27] 吴良勇,屈炳宏,黄京华.广西三江县稻田养鱼产业发展现状与对策分析[J].农村经济与科技,2019,30(21):72-75.
- [28] 戴金良.“三区三州”深度贫困地区生态渔业扶贫典型案例研究[D].桂林理工大学,2022.
- [29] 李天来.我国设施蔬菜科技与产业发展现状及趋势[J].中国农村科技,2016,No.252(05):75-77.
- [30] 熊学振,杨春,马晓萍.我国畜牧业发展现状与高质量发展策略选择

- [J].中国农业科技导报,2022,24(03):1-10.
- [31] 姜雨青,张俊波,国志兴等.我国沿海渔业养殖设施空间分布与台风影响关联性研究[J].海洋湖沼通报,2023,45(01):183-192.
- [32] 李道亮.农业 4.0——即将到来的智能农业时代[J].农学报,2018,8(01):207-214.
- [33] Cheng Chao,Fu Jun,Su Hang,Ren Luquan. Recent Advancements in Agriculture Robots: Benefits and Challenges[J]. Machines,2023,11(1).
- [34] 刘小龙,王国强,刘娜等.设施农业机械发展现状及趋势分析[J].农业技术与装备,2022,No.387(03):61-62.
- [35] 韦冲.党建引领产业兴旺的实践与思考——以张掖市甘州区国道227线乡村振兴示范带设施农业片区党委为例[J].发展,2022,No.384(10):66-69.
- [36] 张靖才.设施农业发展存在的问题及建议——以甘肃省靖远县北湾镇富坪村为例[J].农业科技与信息,2022(19):31-34.
- [37] 颜瑞,王震,李言浩等.中国农业智能传感器的应用、问题与发展[J].农业大数据学报,2021,3(02):3-15.DOI:10.19788/j.issn.2096-6369.210201.
- [38] 崔连标,翁世梅,莫建雷等.国际禁运联盟、供应链中断风险与我国宏观经济易损性——以芯片为例[J].财经研究,2022,48(12):92-105+165.
- [39] 张佳,韩健.基于 MEMS 技术的电子通信技术特点[J].现代雷达,2022,44(08):118-119.
- [40] 黎永键,赵祚喜,关伟.MEMS 传感器融合技术在农业工程的应用与前景[J].农业机械,2020,No.865(01):111-114+118.
- [41] 马菁泽,甘诗润,魏霖静.人工智能在农业领域的应用现状与未来趋势[J].软件导刊,2019,18(10):8-11.
- [42] 兰玉彬,王天伟,陈盛德等.农业人工智能技术:现代农业科技的翅膀[J].华南农业大学学报,2020,41(06):1-13.
- [43] 王康宁.洪泽区高效设施农业机械化发展现状研究[J].江苏农机化,2021,No.202(01):11-13.
- [44] Parkes Michael G.,Azevedo Duarte Leal,Domingos Tiago,Teixeira Ricardo F. M.. Narratives and Benefits of Agricultural Technology in Urban Buildings: A Review[J]. Atmosphere,2022,13(8).
- [45] 罗锡文,廖娟,胡炼,周志艳,张智刚,臧英,汪沛,何杰.我国智能农机的研究进展与无人农场的实践[J].华南农业大学学报,2021,42(06):8-17+5.
- [46] 刘小京,郭凯,封晓辉,孙宏勇.农业高效利用盐碱地资源探讨[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(03):345-353.
- [47] 王林闯,赵建锋,汪国莲等.淮安市蔬菜工厂化育苗产业发展调研报告[J].农业科技通讯,2023,No.615(03):27-30.
- [48] 黄细嘉,张科,熊子怡等.乡村旅游、结构转型与农民收入增长——来自“全国休闲农业与乡村旅游示范县”的经验证据[J].世界农业,2023,No.527(03):71-84.
- [49] 胡钧铭,张雅婷,李婷婷等.禽粮耦合在农业转型中的功能与发展机遇[J].江苏农业科学,2018,46(03):1-5.
- [50] 吴祥云,招建国.宜良县利用农业种植技术降低农业面源污染的措施探析[J].南方农业,2022,16(24):189-191.