

蒲宝山,郑回勇,黄语燕,等.我国温室农业设施装备技术发展现状及建议[J].江苏农业科学,2019,47(14):13-18.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.003

我国温室农业设施装备技术发展现状及建议

蒲宝山,郑回勇,黄语燕,吴敬才

(福建省农业科学院数字化研究所,福建福州 350001)

摘要:现代化温室设施装备发展状况是设施农业工程发展水平的重要体现,是实现农产品生产高产、高效、高品质的有效保障,也是我国现代都市型农业发展的关注重点。我国农业设施装备虽经历近 30 年跌宕起伏的发展,但仍存在许多问题。因此,总结国外先进的农业设施装备的发展与研究状况,综述目前国内温室设施装备的发展存在若干问题并提出几点建议。

关键词:现代化温室设施装备;发展现状;建议

中图分类号:S625 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)14-0013-05

现代化温室设施农业是一种高投入、高技术含量、高产出的农业,它是通过应用工程技术手段和工业化生产模式,为作物的生长营造一个可控制的、适宜的生育条件和环境条件,以保证在有限的空间内使用最小化劳动强度,最低化生产投入,获得最高产能、最优的品质及最佳的效益^[1-3]。而现代化温室设施机械化是提高整个农业生产效率的关键,对提高农业生产效率和农产品品质起到至关重要的作用。因此,温室设施机械化是未来农业发展的主导方向。温室农业设施装备主要包括滴灌设备、湿帘风机降温系统、内遮阳系统、外遮阳系统、补光设备、加温设备、CO₂ 补气系统、环流风机通风系统、顶喷淋系统及其他机械设备(穴盘播种设备、采摘运输设备、果蔬清洗分检设备、包装机械),这些为设施农业的生产作业带来了便捷性与高效性^[4]。

1 当前国外温室设施装备技术发展现状与趋势

设施农业装备具有机械化科技含量高、自动化程度高、高投入、高效率、高产出的特点,因而在国外得到了迅速发展。以色列、美国、法国、日本、荷兰、英国、意大利、西班牙、葡萄牙、比利时、墨西哥等在农业设施装备技术发展方面作出了杰出贡献。

以色列的滴灌技术与温室设备材料品质均属世界一流水平,尤其是滴灌技术的应用,利用高效、节水灌溉系统将土壤盐渍化控制到最低水平^[5-8];覆盖材料普遍采用编织复式聚乙烯薄膜,机械强度高,抗拉、抗冲击、抗老化等功能受到消费者青睐^[9]。特别是近年来一些具有光谱选择、降温、杀菌防虫等作用功能膜的开发与应用也逐渐受人们的关注^[10-12]。美国在温室结构上主要采用大型连栋温室,栽培设施中在综合环境控制技术方面取得了巨大成效,尤其是高压雾化降温

方面^[13],加湿系统以及湿帘降温系统取得世界一流水平^[14]。在育苗机器人研发方面也取得了较大突破,其能够识别种苗的好坏,将不好的苗剔除,仅对健壮的种苗进行移栽^[15-16]。另外,在环境因子采集过程及温室灌溉方面,不断改进传感器技术,通过传感器精确地确定灌溉时间及运行速率,有效地减小灌溉用水和能源成本、肥料支出以及疾病损失^[17]。日本在设施农业发展上也投入了大量的人力、物力、财力,并密切关注国外先进温室结构和设施装备的发展,通过引进、消化、吸收国外先进技术,温室设施设备研究取得了巨大成效^[18-20]。荷兰、墨西哥、比利时等是世界上拥有玻璃温室面积较多的国家,高度集成化的工业技术广泛应用于设施农业,配套的设施装备种类齐全、技术较成熟^[21-22]。其中,温室通风系统普遍采用电机驱动的机械通风,从而实现温室内空气快速地自由流通,进而调节和控制温室内的温度和湿度^[23]。另外,他们向全球 50 多个国家提供了温室计算机控制系统技术服务。可根据温室植物生长的需求,自动控制卷膜、天窗、湿帘风机、喷雾、加温、补光、CO₂ 浓度^[24-28]等产生植物生长所需因素的设备,并通过计算机控制系统,将植物生长所需温度、湿度、二氧化碳浓度、肥料需求量等控制在最佳水平,并对设施内各种作物进行多因素监测与调控,从而为作物提供最佳的生长环境^[29-30]。另外,国外温室播种、育苗、收获等机械化作业普及率很高^[31-34],作物产品采摘后的清洗、分级、包装、预冷等实现了自动化作业^[35-37],温室内病虫害防治、自动检测与鉴定设备^[38-40]、温室管理机器人以及其他现代化设施装置日趋成熟并市场化开发和应用^[41-42]。

2 国内温室设施装备技术发展状况

相对国外先进的农业设施装备技术,国内温室设施装备技术起步较晚,但发展迅速。温室结构硬件上,连栋温室技术发展日趋成熟,西北型单、双跨日光温室以及辽宁型日光温室结构的调整及优化得到了良好的效应,配套设施研究取得较大进展,如湿帘降温设备、水肥机、供热升温设备、通风系统、育苗设备以及温室内环境因子调控系统等在温室实际生产实践中成熟应用,并取得良好的经济、社会和生态效益,为我国温室设施工程、农业产业化的推进和发展作出了巨大

收稿日期:2018-03-16

基金项目:福建省科技重大专项(编号:2014NZ0002-2);福建省农业科学院科技创新团队项目(编号:STTT2017-2-12);福建省农业科学院院管 A 类项目(编号:A2017-34)。

作者简介:蒲宝山(1986—),男,福建漳州人,硕士,工程师,从事智慧农业、数字化制造等研究。E-mail:920253768@qq.com。

贡献^[43]。

2.1 移栽机

近年来,我国农业生产朝着规模化发展,移栽作物面积不断扩大,移栽作物品种不断增加,随着人工成本不断升高,自动化移栽设备需求日显迫切。在欧美等发达国家移栽设备已较广泛地应用于农业生产^[44],而我国移栽机研究起步较晚,又因为移栽设备结构较复杂、开发成本较高,在国内的发展受到了一定限制,至今为止未见有成批推广使用的移栽机机型。近几年,半自动移栽机发展较快,应用较广泛。但半自动移栽机作业时须配备人员较多,作业效率不高,机械化效益不够突出。因此,全自动移栽设备逐渐引起学者的关注,并开展了一系列研究。Hu 等为了提高温室插秧苗插秧的自动化程度和效率,综合一组优化的维数参数,并提出一种全局综合性能指标,设计出一种采用双自由度并联转换结构和气动机械手的高速插秧机^[45];高国华等设计了一款斜入式穴盘苗移栽机械手,有效降低了移栽伤苗率^[46];杨振宇等为提高移栽钵苗的成活率,采用单目视觉技术调整移栽钵苗叶片问题并获取钵苗移栽适合度信息,试验获得理想的成效^[47-48];王跃勇等采用双目立体视觉的定位方法,解决了自动化机械手移栽过程穴盘放置倾斜以及穴盘底部变形引起移栽不理想的问题^[49]。

2.2 穴盘播种机

穴盘育苗是工厂化育苗最普遍采用的形式,而穴盘播种则是育苗的关键环节之一。20 世纪 70 年代,我国逐步开始研究精密穴盘播种技术,初期由于国内穴盘育苗设备存在机械化效率和播种精度不高等问题。为解决该问题,农业农村部与科学技术部先后将穴盘育种列入国家重点项目,并要求各地农业机械化研究单位和生产企业及时跟进。经过多年努力,结合自身需求并借鉴国外先进技术,最终研制出多种多样的精密穴盘育苗播种机^[50]。胡建平平等开发了一款磁吸式穴盘精密播种机,实现了 300 盘/h 的播种效率^[51]。张石平等采用振动机构的激振作用,用吸种盘吸种以实现 1 粒/穴的精密播种质量^[52]。胡志新等考虑到播种机空穴率、多粒率、破碎率等问题,采用压电弹簧和气吸盘相结合的方法,设计出一套自动穴盘精量播种机^[53]。朱盘安等考虑到播种机的便携性问题以及中小型大棚温室的客户需求,根据激光传感器检测定位,设计出一种穴盘基质打孔与播种的便携式蔬菜穴盘自动播种机^[54]。

2.3 灌溉施肥机

以往温室大棚内灌溉施肥大多采用沟灌、漫灌,导致水资源利用率低,工人作业强度大,土壤养分流失等。另外,温室长期湿度较大给整个大棚环境带来了危害,并诱发一些病害^[55]。滴灌施肥技术在现代农业生产中逐步受到业界人士的青睐。目前市面上主流滴灌施肥装备大多是从荷兰、以色列等国家进口,而采购设备费用昂贵,实际应用中存在一定局限性,也成为消费者须要考虑的问题。杨仁全等对国内外现有灌溉施肥技术的现状进行调研,并开发出一套实用可靠的高精密灌溉施肥机系统^[56]。孙宜田等采用营养液混合的模糊控制器,并利用 LabVIEW 开发出一套智能水肥药一体化设备,解决了混肥精度不高的问题^[57]。刘永华等从吸肥性能角度研究水肥一体化灌溉施肥机,对关键核心部件文丘里吸肥器渐缩角、渐扩角及喉部直径等参数进行优化,并取得了显著

效果^[58-59]。袁洪波等为提高水、肥料利用率,再增加文丘里装置后,对混合罐 2 种不同模式进行组合,设计出一种水和肥料集成营养液的调节和控制装备,试验结果表明该设备调节速度快、响应精度高^[60]。房俊龙等针对当前国内大多水肥机设备内部简单混肥、监测管理不到位、自动化程度不够高、稳定性不强等问题,提出一种通用灌溉施肥结构和可配置智能控制器,并利用传感技术、自动控制技术信息采集与处理技术,实现灌溉施肥从传统模式到智能模式的切换^[61]。李坚等针对一些规模较小、栽培管理有特殊要求的日光温室,以两路母液/一路酸液与 EC/pH 值建立关系模型,设计出一种基于施肥器的小型灌溉施肥机,该设计造价成本低廉、实用方便,为日光温室作物栽培标准化管理奠定了基础^[62]。

2.4 通风降温设备

大棚温室通风的主要目的是降温,通风分为自然通风与机械通风 2 种,而这 2 种通风效果最多只能接近或与室外温度相同。为了能取得较好的降温效果,目前国内普遍采用内、外遮阳网进行降温,即室外采用黑色聚乙烯遮阳网将阳光挡在室外,减少热量累积;室内采用铝箔保温网膜,夏季起到隔热、冬季起到保温的效果^[63]。但在高温的夏季,仅依靠天窗、侧窗、通风排气扇、遮阳网等降温措施,降温效果并不理想。为保证植物能够在适宜环境下正常生长,目前温室普遍安装了喷雾降温 and 湿帘风机 2 种降温设备。另外,国内许多学者对 2 种降温设备作了许多细化研究,为温室降温方面的研究提供了许多坚实的科研基础。周伟等考虑到作物和环境的相互作用,对采用天窗、外遮阳、内喷雾降温措施进行组合试验,并利用流体力学(CFD)中稳态方法仿真模拟了 Venlo 型温室不同的降温效果,为温室作物系统环境控制策略的定制提供了科学依据^[64];Lin 等从节能、降低损耗的角度考虑,利用洗车泵作为高压水源,将能量贮存于贮能管中,在泵停止运行期间通过释放压缩空气的能量维持喷雾,并成功将该设备推广至温室大棚降温^[65];吴霞等针对人工喷雾降温存在的问题,设计了一套枸杞育苗的自动喷雾降温设备,通过温湿度传感器实时采集信息并反馈至控制器,自动调节枸杞育苗温室内的温湿度,不仅准确地控制了温室内的温湿度,还大大降低了人工成本^[66]。胥芳等为了提高温室夏季降温环境性能,提出一种基于计算流体力学(CFD)的温室湿帘风机系统的降温环境优化设计方法,建立了温室长度、湿帘面积、风机速度等参数的拟合结果,为 Venlo 型温室湿帘风机系统的设计提供了可靠的理论依据^[67];张树阁等考虑到湿帘风机安装高度对夏季温室内气温的影响,将湿帘风机的安装高度对降温效果进行了对比试验,认为高度不同的作物对湿帘风机安装高度有不同的要求^[68]。

2.5 微型耕作机

高产、高效的自动化生产是当前人们追求的目标。结合我国温室、大棚等农业生产环境的特征,当前微型耕作机不仅可实现耕作,还可以实现施肥、灌溉、除草等功能,其体积小、质量轻、单价低、使用便捷等优点越来越受到业界人士的青睐。因此,国内不少学者对微耕机的操作便捷性、舒适性和拓展功能进行了细致的研究。郝允志等考虑到小型耕耘机的自动化水平与操作舒适性,提出一种根据作业阻力自动换挡的 2 档自动变速器结构,并通过样机试验证明了变数器自动换

挡功能与换挡的稳定性^[69]。王元杰等针对温室大棚耕作机械存在操作不灵便,作业人员劳动强度大,设备污染严重等问题,对整机驱动系统进行了细致研究,设计了一种适用于温室大棚耕犁作业的微型电动耕作机,样机试验证明了整机设计满足要求^[70-71]。曾晨等为了提高微耕机变速箱的传统性能和放耕效率,针对变速箱主要参数进行设计,建立了多轴式微耕机变速箱的优化设计模型,并用 NSGA-2 算法求解优化模型^[72]。高辉松等根据设施农业的环境特点,设计电动微耕机结构形式及传动系参数,开发温室大棚用供取电系统和单输入三输出变频调速系统,研制一种温室大棚专用的电动微耕机系统,并通过试验论证其经济性能远高于同功率的汽油微耕机^[73]。

2.6 其他温室设施装备

随着设施农业发展,机械化装备日益健全。曹峥勇等针对传统简易施药机易造成人员中毒、药液喷洒过多造成环境污染等问题,设计了 3 自由度喷雾机器人控制系统,实现了对黄瓜植株对靶作业,试验结果表明该设计具有较高的实用性^[74]。李东星在曹峥勇研究^[74]的基础上研发了一种无轨道自走式并自适应升降喷杆施药系统,实现了温室施药的无人化、机械化、自动化、精准化^[75]。传统依靠化学植保维持农场日常生产,逐渐无法满足现代农业生产节能环保的要求。另外,随生活品质的提升,人们对无公害、绿色环保的农产品品质不断提出了更高的要求。因此,越来越多的物理植保设备逐渐被开发和应用。常泽辉等针对传统土壤灭虫除菌的化学消毒法带来的环境污染及药物残留问题,提出了新型聚光回热式太阳能灭虫除菌装置^[76]。隋俊杰提出一种土壤电消毒灭虫原理,并对灭虫机进行应用,为土壤连作障碍提供了有益的探索^[77]。另外,在农产品产后处理中,为减轻人工劳动力强度、提高黄瓜采收智能化水平,纪超等提出一种 3 层式系统控制方案,研发了一套黄瓜采摘机器人系统,并在温室内成功进行了各项性能测试^[78]。果蔬产后分级、清洗、包装等工作是产品商品化的必要基础。魏忠彩等针对机械化收割、清洗、分拣、分级等机械化作业造成马铃薯损伤问题,进一步总结分析几种造成损伤的原因,采用抗损伤新材料和高频低振幅振动分离技术,对后期开发和研究马铃薯收获、清洗、分级等仓储设备具有重要的指导意义^[79]。随着消费者对易腐食品纯正口味、长保质期的追求,食品包装设备技术正演变成为一种市场趋势^[80]。高德等综合考虑果蔬呼吸与薄膜透气 2 个相互交叉动态过程,采用臭氧果蔬保鲜技术,有效延长青水蜜桃与油豆角等果蔬 2 周以上的保鲜期^[81-82]。

3 国内温室设施装备发展存在问题与建议

3.1 存在问题

我国在设施农业方面给予了高度重视与巨大投入,开发了许多满足客户需求的产品,也发明创造了许多新装备、新设施,国内温室设施装备自动化水平得到了大幅度提升,作物生产的产量与品质也得到了提高,设施农业生产的规模也日趋庞大。但与国外设施农业发达国家相比,我国设施农业装备的发展还存在许多问题:第一,部分机械设施装备直接从国外原样引进或是仿制,对设备内在工作机理未进行深入的消化和吸收,或是根据不同地区、场合以及一些外界环境因素进行

相应的设计和改造,导致温室设施产品使用性能达不到国外预期的水平。另外,国内温室农业产品自动化采收,产后分级、清洗及包装等自动化装备的相关研究也相对较少,技术仍不够成熟,市场推广面不强。国内温室内部自动化生产的物流装备的应用仍是空白。第二,部分自主研发的新装备的机械工艺较粗糙,体型较笨重,产品生产设计还不能实现从设备整体协调工作的节能、环保及耐用等方面进行综合考虑。材料配件抗老化、稳定性等性能远低于国外水平,从而在设备整体使用性能上达不到国外先进水平。另外,农业设施装备产品标准化程度不高,产品配件之间通用性与可替换性不强,某种程度上影响了设施农业装备的发展。第三,不仅在温室硬件设施装备与农业发达国家存在一定差距,已开发的自动化环境控制系统软件也不够完善,稳定性与科学性也须进一步提高。国内少数设施装备较完善的大型温室,硬件设施设备配置较高,但生产管理和设备运行水平仍不及国外。温室内各个设施装备运作与调控模式很大程度上仍依靠人工经验管理,半机械化操作,设备智能化协调性较差,未能充分发挥各个装备的协调性作用,在一定程度上影响了设施设备的发展。第四,设施农业装备产业大环境不够健全。产业支持、税收、科研等政策上未获得与涉农产业同等的待遇,从而制约了该产业的发展步伐。人才培养起步较迟,中、高层实用性人才稀缺,实战经验普遍存在不足。另外,行业管理规范性不足,缺乏引导行业发展的作用,盲目追求低水平“示范”“低质—低价”等^[50],导致温室设施装备产品开发与发展的道路更加曲折漫长。

3.2 解决问题的几点建议

首先,设施装备产品在研发上不能仅考虑到工艺性能与伺服性能指标,还应注重节能、环保等方面的设计与研发,特别是太阳能、风能及地热能等新型能源、资源的利用。另外,基础性学科研究工作须要加强,如温室设施装备材料的各项性能研究,包括抗老化、柔韧性、透光、透气等。其次,在引进国外先进技术的同时,须要消化、吸收国外先进技术与工艺,并根据我国温室的现实需求进行相应的改进、升级,最终成为适合国内使用的产品。对于温室内生产线生产、植保、产品产后处理等自动化设施装备的研究仍处于初级阶段,可行性与适用性等研究须要进一步加强。另外,充分利用一些在其他领域已经成熟应用的自动化装备,根据农场现场环境需求进行适当改造,进一步推广至农场的应用。再次,注重从业人员实践技能培训,提高从业人员技能素质。我国与农业发达国家差距的本质在于人才的差距。政府和农业有关职能部门应重视人才队伍培养,尤其是懂农机与农艺的复合型人才以及温室综合性管理人才的发展和培养。最后,进一步提升对农业设施设备发展相关的政策扶持力度。一方面减免设施设备购置税收,并加大设施设备购置上的补贴力度,缓解消费者的经济负担,促进设备推广;另一方面政府应加大对设施设备科研开发的支持力度,积极协调组织科研单位、高等院校以及生产企业三者技术创新上的对接与耦合,高度集成化、协同三者的资源优势,凝聚攻坚力量攻克技术难题,争取早日开发出实用性强、适合我国农业温室生产的全套自动化生产装备。

4 结语

随着科技日新月异的发展,推动了农业设施装备向更高

层次迈进,以满足设施农业自动化、智能化的要求。我国在农业设施装备方面应该加大步伐,在积极引进国外先进技术的同时,注重消化、吸收国外先进科技,结合国情、国力以及我国各地区的气候特点,建立具有我国特色的温室结构、规模及完整的装备体系,逐步缩小与农业发达国家的差距。

参考文献:

- [1] 齐 飞,周新群,张跃峰,等. 世界现代化温室装备技术发展及对中国的启示[J]. 农业工程学报,2008,24(10):279-285.
- [2] 齐 飞,朱 明,周新群,等. 农业工程与中国农业现代化相互关系分析[J]. 农业工程学报,2015,31(1):1-10.
- [3] van Henten E J. Greenhouse mechanization; state of the art and future perspective [C]. International Symposium on Greenhouses, Environmental Controls and Inhouse Mechanization for Crop Production in the Tropics and Sub-Tropics, 2006:55-70.
- [4] 农业部南京农业机械化研究所. 中国农业机械化年鉴[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2013.
- [5] Sinaia N. Water development for Israel; challenges and opportunities [M]//Lipchin C, Pallant E, Saranga D, et al. Integrated water resources management and security in the middle east. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007:65-72.
- [6] Katsoulas N, Sapounas A, Zwart F, et al. Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency[J]. Agricultural Water Management, 2015(15):690-699.
- [7] Flores-Velazquez J, Villarreal-Guerrero F. Design of a forced ventilation system for a zenithal greenhouse using CFD[J]. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2015,6(2):303-316.
- [8] Srdic S, Koleska I, Mihajlovic D, et al. Irrigation and fertilization control trial using two different drip irrigation systems (autoagronom and conventional drip) in greenhouse cucumber production in Israel[J]. Agroznanje-Agro-Knowledge Journal, 2015;16(3):311-323.
- [9] Khoshimkhujaev B, Kwon J K, Park K S, et al. Optical characteristics of three woven plastic films[J]. Acta Horticulturae, 2014(1037):939-944.
- [10] Alsadon A A, Al-Helal I M, Ibrahim A A. Growth response of cucumber under greenhouses covered with plastic films[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2016,26(1):139-148.
- [11] Abdullah A, Al-Helal I, Abdullah I, et al. The effects of plastic greenhouse covering on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth[J]. Ecological Engineering, 2016(87):305-312.
- [12] Alsadon A A, Al-Helal I M, Ibrahim A A. Growth response of cucumber under greenhouses covered with plastic films[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2016,26(1):139-148.
- [13] Tamimi E, Kacira M, Choi C Y S, et al. Analysis of microclimate uniformity in a naturally vented greenhouse with a high-pressure fogging system[J]. Transactions of the ASABE, 2013,56(3):1241-1254.
- [14] Kroggel M, Kubota C. Controlled environment strategies for tipburn management in greenhouse strawberry production[J]. Acta Horticulturae, 2017(1156):529-536.
- [15] Buckhn R A. Florida greenhouse design[EB/OL]. (2008-09-10)[2008-04-20]. <http://edis.ifas.un.edu>.
- [16] Rovira-Mas F, Chatterjee I, Saiz-Rubio V. The role of GNSS in the navigation strategies of cost-effective agricultural robots[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015,112:172-183.
- [17] Lichtenberg E, Majsztrik J, Saavoss M. Profitability of sensor based irrigation in greenhouse and nursery crops[J]. Hort Technology, 2013,23(6):770-774.
- [18] Hoshi T, Yasuba K, Kurosaki H. Present situation and prospects of Japanese protected horticulture and ubiquitous environment control systems[J]. Journal of Science and High Technology in Agriculture, 2016,28(4):163-171.
- [19] Sato M, Sakamoto T. Development of energy-saving plant cultivation system suitable for Hokuriku region in Japan[J]. Seibutsu-Kogaku Kaishi, 2015,93(9):542-546.
- [20] Kawashima H. Development of a new energy-saving pipe-framed greenhouse[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2015,49(3):235-243.
- [21] Kempkes F L K, Janse J, Hemming S. Greenhouse concept with high insulating double glass with coatings and new climate control strategies; from design to results from tomato experiments[J]. Acta Horticulturae, 2014(1037):83-92.
- [22] Yang G S, Zhang Y L, Feng Y, et al. Development status of automated equipment systems for greenhouse vegetable seedlings production in Netherlands and its inspiration for China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013,29(14):185-194.
- [23] Zhang Z, Gates R S, Zou Z R, et al. Evaluation of ventilation performance and energy efficiency of greenhouse fans[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2015,8(1):103-110.
- [24] Maican E, Dutu I C. CFD validation of a novel heat generation equipment for greenhouses and hothouses[C]. Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 2017:481-489.
- [25] Grisey A, Brajeul E. Energy in tomato and cucumber greenhouse production: developments in greenhouses and heating equipment[J]. Infos-Ctifl, 2013(289):35-40.
- [26] Bjgstad N. Inspection of spraying equipment in use in greenhouses in Norway[C]. Proceedings of the 25th NJF Congress(Nordic View to Sustainable Rural Development), 2015:375-380.
- [27] Harbick K, Albright L D, Mattson N S. Electrical savings comparison of supplemental lighting control systems in greenhouse environments[C]. 2016 ASABE Annual International Meeting, 2016:162460478.
- [28] Iersel M W, van Gianino D. An adaptive control approach for light-emitting diode lights can reduce the energy costs of supplemental lighting in greenhouses[J]. HortScience, 2017,52(1):72-77.
- [29] Voltan D S, Barbosa R Z, Martins J E M P, et al. Development of technologies and methods for monitoring the spatial variability of air temperature in greenhouse environment[J]. Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, 2013,6(3):7-16.
- [30] Markovic D B, Pavlovic R M, Pesovic U M, et al. System for monitoring microclimate conditions in greenhouse[J]. Acta Agriculturae Serbica, 2014,19(38):105-114.
- [31] Sudduth K A. Current status and future directions of precision agriculture in the USA[R]. Pyeongtaek: Proceedings 2nd Asian

- Conference on Precision Agriculture, 2007.
- [32] Yazg A, Degirmencioglu A. Optimization of the seed spacing uniformity of a vacuum type precision seeder using spherical materials[J]. Ege Universitesi Ziraat Fakultesi Dergisi, 2015, 52(3): 277–286.
 - [33] Macedo D X S, de Nicolau F E A, do Nascimento H C F, et al. Operational performance of a tractor – seeder according to the velocity and working depth[J]. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, 2016, 20(3): 280–285.
 - [34] Kokuryu T, Ohshita Y, Takayama S, et al. Development of a no – till seeder with a chisel at each row – performance of the seeder for soybean seeding after harvesting wheat on upland paddy[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers, 2016, 78(2): 154–163.
 - [35] Hayashi S, Yamamoto S, Tsubota S. Automation technologies for strawberry harvesting and packing operations in Japan[J]. Journal of Berry Research, 2014, 4(1): 19–27.
 - [36] Yang G S, Zhang Y L, Feng Y. Development status of automated equipment systems for greenhouse potted flowers production in Netherlands[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(19): 1–8.
 - [37] Shivmurti S, Joshi D C. Mathematical model for design and development of double drum rotary screen cleaner – cum – grader for cumin seed[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2013, 44(3): 70–74.
 - [38] Xia C L, Chon T S, Ren Z M. Automatic identification and counting of small size pests in greenhouse conditions with low computational cost[J]. Ecological Informatics, 2015, 29(2): 139–146.
 - [39] Ueka Y, Arima S. Development of multi – operation robot for productivity enhancement of intelligent greenhouses; for construction of integrated pest management technology for intelligent greenhouses[J]. Environmental Control in Biology, 2015, 53(2): 63–70.
 - [40] Osakabe M. Spider mite management using UVB in greenhouse[J]. IOBC/WPRS Bulletin, 2016(120): 43–44.
 - [41] Vakilian K A, Massah J. A farmer – assistant robot for nitrogen fertilizing management of greenhouse crops[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017(139): 153–163.
 - [42] Berge T W, Utstumo T, Netland J. Field robots for research and developments in site – specific weed management Norwegian activities[J]. Applications of automated systems and robotics for crop protection in sustainable precision agriculture, 2012(21): 19: 31–34.
 - [43] 汪懋华. 工厂化农业的发展与工程科技创新[M]. 北京: 北京出版社, 2000.
 - [44] 白人朴. 中国农业机械化与现代化——白人朴教授论文选集[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
 - [45] Hu J P, Yan X Y, Ma J, et al. Dimensional synthesis and kinematics simulation of a high – speed plug seedling transplanting robot[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014(107): 64–72.
 - [46] 高国华, 冯天翔, 李 福. 斜入式穴盘苗移栽手爪工作参数优化及试验验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 16–22.
 - [47] 杨振宇, 张文强, 李 伟, 等. 利用单目视觉获取钵苗移栽适合度信息的方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 112–119.
 - [48] 杨振宇, 张文强, 李 伟, 等. 基于单目视觉的移栽钵苗叶片朝向的调整方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 26–33.
 - [49] 王跃勇, 于海业, 刘媛媛. 基于双目立体视觉的机械手移栽穴盘定位方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 43–49.
 - [50] 赵郑斌, 王俊友, 刘立晶, 等. 穴盘育苗精密播种机的研究现状分析[J]. 农机化研究, 2015(8): 1–5, 25.
 - [51] 胡建平, 侯俊华, 毛罕平. 磁吸式穴盘精密播种机的研制及试验[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 122–125.
 - [52] 张石平, 夏 静, 陈 进. 气吸振动式蔬菜穴盘育苗精密播种装置的研究[J]. 农机化研究, 2007(8): 80–83, 105.
 - [53] 胡志新, 翁凌霄, 汪小志. 气吸式自动穴盘育苗精量播种机设计——基于 PLC 控制[J]. 农机化研究, 2016(10): 87–91.
 - [54] 朱盘安, 李建平, 楼建忠, 等. 便携式蔬菜穴盘自动播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 7–13.
 - [55] 周长吉. 温室灌溉[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
 - [56] 杨仁全, 王 刚, 周增产, 等. 精密施肥机的研究与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊2): 197–199.
 - [57] 孙宜田, 李青龙, 孙永佳, 等. 基于模糊控制的水肥药一体化系统研究[J]. 农机化研究, 2015(8): 203–207.
 - [58] 刘永华, 俞卫东, 沈明霞, 等. 精准灌溉施肥自动控制系统的研发[J]. 节水灌溉, 2014(12): 80–83.
 - [59] 刘永华, 沈明霞, 蒋小平, 等. 水肥一体化灌溉施肥机吸肥器结构优化和性能试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 76–81, 48.
 - [60] 袁洪波, 李 莉, 王俊衡, 等. 温室水肥一体化营养液调控装备设计与试验[J]. 农业工学报, 2016, 32(8): 27–32.
 - [61] 房俊龙, 宋金龙, 张 馨, 等. 通用智能灌溉施肥机控制器研发[J]. 节水灌溉, 2015(10): 78–82.
 - [62] 李 坚, 刘云骥, 王丹丹, 等. 日光温室小型水肥一体灌溉机设计及其控制模型的建立[J]. 节水灌溉, 2017(4): 87–91.
 - [63] 沈明卫, 郝飞麟. 内外遮阳对连栋塑料温室内光环境的影响[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 110–116.
 - [64] 周 伟, 王小昆. 基于 CFD 的 Venlo 温室夏季组合降温措施模拟研究[J]. 农机化研究, 2015(3): 20–24.
 - [65] Lin J B, Zhou Z K, Qin C, et al. Development of energy – storing high pressure spray cooling system[J]. Agricultural Engineering and Agricultural Machinery, 2015, 16(1): 167–171.
 - [66] 吴 霞, 王世荣, 王小虎, 等. 枸杞育苗温室自动喷雾降温控制器设计与应用[J]. 农业网络信息, 2015(8): 67–70.
 - [67] 胥 芳, 蔡彦文, 陈教科, 等. 湿帘 – 风机降温下的温室热/流场模拟及降温系统参数优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 201–208.
 - [68] 张树阁, 宋卫堂, 滕光辉, 等. 湿帘风机降温系统安装高度对降温效果的影响[J]. 农业机械学报, 2006, 37(3): 91–94.
 - [69] 郝允志, 陈 建, 薛荣生, 等. 小型扭矩回差式两挡自动变速器[J]. 中国机械工程, 2015, 26(16): 2249–2253.
 - [70] 王元杰, 刘永成, 杨福增, 等. 温室微型遥控电动拖拉机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 23–29.
 - [71] 卢 毅, 杨福增, 刘永成, 等. 微型电动拖拉机的研究与设计[J]. 机械设计, 2013, 30(3): 82–85.
 - [72] 曾 晨, 李 兵, 王小勇, 等. 基于 NSGA – II 算法的微耕机变速箱多目标优化设计[J]. 机械传动, 2016, 40(7): 87–91.
 - [73] 高辉松, 朱思洪, 史俊龙, 等. 温室大棚用电动微耕机研制[J]. 机械设计, 2012, 29(11): 83–87.
 - [74] 曹峥勇, 张俊雄, 耿长兴, 等. 温室对靶喷雾机器人控制系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊): 228–233.
 - [75] 李东星. 自适应升降喷杆施药系统的研发[J]. 农机化研究,

刘昆昂,刘 萌,张根伟,等. 金针菇遗传育种研究进展[J]. 江苏农业科学,2019,47(14):18-22.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.004

金针菇遗传育种研究进展

刘昆昂^{1,2}, 刘 萌¹, 张根伟¹, 李书生¹, 马 宏¹, 尹淑丽¹

(1. 河北省科学院生物研究所, 河北石家庄 050081; 2. 华南农业大学农学院, 广东广州 510642)

摘要:金针菇是双因子控制的四极性异宗结合的食用菌,与其他异宗配合的食用菌一样,主要采用选择育种、杂交育种、诱变育种、原生质体融合和基因工程育种等育种方法进行育种,其中选择育种是其他一切育种方法的基础。杂交育种手段繁琐费事,但目的性和方向性都比较明确,仍然是目前培育金针菇新的优良菌株的真正有效方法。诱变育种多采用金针菇的原生质体进行诱变,但诱变育种只扩大了变异范围,并不能定向诱变,后期筛选工作将会十分繁琐,诱变率也偏低。原生质体融合方法具有重组频率高、受结合型限制较小、遗传物质传递更为完整、重组体种类多、有助于外源基因转化等特点。随着各种测序技术和分析手段的不断发展,金针菇的基因工程育种将成为未来菌株改良的新途径。

关键词:金针菇;选择育种;杂交育种;诱变育种;原生质体融合;基因工程育种

中图分类号:S646.1+50.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)14-0018-05

金针菇 [*Flammulina velutipes* (Curt. Ex Fr.) Sing.], 别称构菌、冬菇、毛柄金钱菌,属于担子菌门(Basidiomycotina)层菌纲(Hymenomycetes)伞菌目(Agaricales)口蘑科(Tricholomataceae)金钱菌属(*Flammulina*)^[1]。金针菇营养丰富、味道鲜美且兼具药用价值,富含蛋白质、多糖、维生素和氨基酸等多种营养物质,其中人体所必需的8种氨基酸占氨基酸总量的44.5%,其中赖氨酸和亮氨酸等人体必需氨基酸的含量高于其他菇类,因此又称增智菇。金针菇作为一种优质的膳食纤维来源,还具有促进消化、排除重金属离子和降低胆固醇的作用,其中含有的多糖成分,还可预防高血压和肿瘤等疾病,经常食用可明显提高人体免疫力。

金针菇在世界各地分布广泛,主要集中在中国、日本和韩国等地,在国际食用菌市场上,金针菇的产销量位居第4。20世纪60年代,日本开始通过空调设备与各种自动化装置,实现了金针菇的工厂化栽培,整个金针菇栽培管理过程全部自动化。金针菇菌种作为发展金针菇的基础生产资料,对金针

菇生产起着关键性作用,直接影响其产量和质量。因此,金针菇生产与研究的关键是对具有高产、抗病、广温等优良农艺性状菌株的筛选。

1 金针菇生活史

金针菇是双因子控制的四极性异宗结合的食用菌,有性世代产生担孢子,每个担孢子产生4个担孢子,交配型可以分为4种,分别为AB、ab、Ab、aB^[2]。金针菇单个担孢子发育而来的同核体菌丝为单核,无锁状联合,单核菌丝也可以形成子实体,但与双核相比子实体小且发育不良。具有可亲和交配型的单孢菌丝经过质配形成异核体菌丝,异核体菌丝双核,具有锁状联合,双核菌丝经过发育后扭结形成原基,进而发育形成异核子实体,异核子实体的原担子细胞为异核体,胞内具有2个核,这2个核经过核配融合为1个二倍核,二倍核的担子进行减数分裂形成4个单倍子核,4个子核分别进入4个担孢子中,随着担孢子继续发育,其中的单核再进行1次有丝分裂,成熟担孢子为双核,但这2个核是同质的。金针菇的无性阶段,单核菌丝和双核菌丝都可以产生单核的粉孢子,粉孢子在条件适宜时可以萌发出单核菌丝或者双核菌丝^[3]。

2 育种方法

2.1 选择育种

选择育种(selective breeding)是以食用菌的自然变异为基础,有意识地控制和积累有益的突变,经过不断的优胜劣汰,培育出新的优良品种的育种方法,该方法操作简单,应用

收稿日期:2018-04-08

基金项目:河北省科学院两院合作项目(编号:181608);河北省高层次人才资助项目“三三三人才工程”(编号:A201803038)。

作者简介:刘昆昂(1986—),女,河北秦皇岛人,博士研究生,主要从事食用菌育种及分子机制研究。Tel:(0311)66032749;E-mail:liukunang@163.com。

通信作者:李书生,研究员,主要从事食用菌育种及产品开发。E-mail:lishsh717@126.com。

2017(8):97-101.

- [76] 常泽辉,贾柠泽,侯 静,等. 聚光回热式太阳能土壤灭虫除草装置光热性能[J]. 农业工程学报,2017,33(9):211-217.
- [77] 隋俊杰. 土壤电消毒灭虫机在设施农业中的应用[J]. 农业工程,2012,2(增刊1):35-38.
- [78] 纪 超,冯青春,袁 挺,等. 温室黄瓜采摘机器人系统研制及性能分析[J]. 机器人,2011,33(6):726-730.
- [79] 魏忠彩,李学强,孙传祝,等. 马铃薯收获与清选分级机械化伤

薯因素分析[J]. 中国农业科技导报,2017,19(8):63-70.

- [80] 徐 鹏,吴玉月,刘 勤. 我国果蔬气调保鲜技术及装备的现状 & 发展趋势[J]. 包装与食品机械,2016,34(6):51-54.
- [81] 高 德,谷吉海,董 静,等. 臭氧果蔬保鲜包装技术及试验[J]. 农业机械学报,2006,37(8):190-193.
- [82] 齐 飞. 论温室产品的“低质-低价”趋向对温室行业的影响[C]//2002年中国农业工程学会设施园艺工程学术年会. 北京:中国农业工程学会,2002:13-15.