

王明友,宋卫东,吴今姬,等.中国食用菌生产装备发展现状与重点分析[J].江苏农业科学,2016,44(12):1-6.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.001

中国食用菌生产装备发展现状与重点分析

王明友,宋卫东,吴今姬,王教领,王培雨

(农业部南京农业机械化研究所,江苏南京 210014)

摘要:食用菌生产装备是实现食用菌大国向强国迈进的重要保障,是涵盖基质粉碎、搅拌、装袋(瓶)、灭菌、接种等多工序的成套装备,研究分析食用菌生产装备对食用菌产业提升与规模发展都有极其重要的意义。为了梳理中国食用菌生产装备发展现状,有效推进中国食用菌生产装备研究开发重点、促进食用菌产业现代化建设,在梳理中国食用菌生产装备发展现状的基础上,阐述当前中国食用菌生产装备存在的主要问题,即生产装备企业规模小、技术人才缺乏、与国外存在较大差距、科研平台少、标准滞后等。分析草腐菌生产装备、木腐菌生产装备和生长环境等方面的研究开发重点:(1)草腐菌以智能化发酵隧道、送料布料一体机、堆肥打包机、自动割菇机、卷帘式自动上料覆土机等为主;(2)木腐菌以瓶栽食用菌机械化生产成套装备的优化提升与袋栽筐式栽培技术体系为主;(3)生长环境以质量可追溯的全程物联网测控系统为主。最后,提出中国食用菌生产装备应向智能化、成套化、标准化、国情化方向发展。

关键词:食用菌;生产装备;发展现状;发展重点

中图分类号:S233.74 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)12-0001-05

中国是世界食用菌生产第一大国,在农业经济中,其2014年产值是仅次于粮、菜、果、油之后的第五大类作物^[1-2],已成为农业经济中一项重要产业^[3]。目前,中国的香菇、平菇、金针菇、草菇、黑木耳、银耳、滑菇、灵芝等产品的产量均居世界第1位^[4]。中国食用菌的产量从1978年占全球总产量的5.7%发展到2009年的80%以上^[5]。随着食用菌在药用领域的深入研究,其具有的免疫调节、抗肿瘤、抗氧化、抗衰老、保护神经系统、降血脂、护肝等功能,日益受到广泛关注^[6-8],这就促使其需求量越来越大,生产装备要求也越来越高。中国食用菌生产经历了房前屋后的庭院生产、特种蔬菜生产、集约化生产和工厂化生产四大阶段^[9]。产量从2000年的663.8万t增长到2013年的3169.7万t(图1),年均增长率在10%以上。自2000年以来,中国食用菌工厂化生产快速增长,据中国食用菌协会统计,2014年中国食用菌工厂化企业729家(含在建、新建企业42家),平均日产6133.96t,年产195万t。目前,中国内地食用菌工厂化生产中,只有金针菇、杏鲍菇、双孢蘑菇等少量品种实现了初步工厂化、机械化生产,产量一般只有国外的1/3,成本也比较高^[10],与国外食用菌生产过程的机械化、可监控与质量可追溯相比还有很大的差距^[11-13]。因此,中国中小型工厂化生产食用菌一般采用国内组装配套的设备^[14-15],而大型工厂化生产食用菌一般引进日韩与欧洲等国的设备^[16-18]。中国的食用菌生产并没

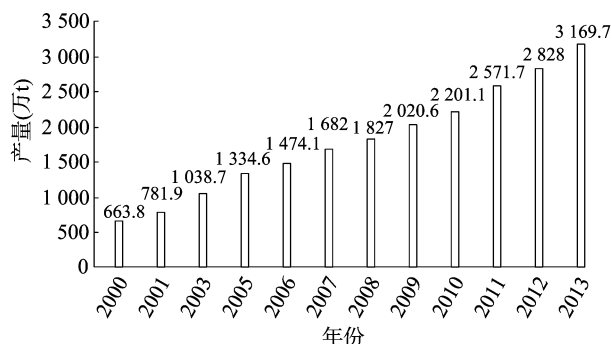


图1 中国食用菌产量增长情况

有按西方和日韩等国的大型工厂化模式发展,而是按照中国国情走出了一条具有中国特色的食用菌产业发展道路^[19]。据统计,2009年中国菌农采用大棚种植食用菌产量占总产量的98.8%;只有1.2%来自于工厂化、机械化种植^[20]。而到2012年,虽然食用菌工厂化企业有了大幅度发展,但具有规模效用和品牌意识的企业数量仍然偏少,日产量小于5t的企业数量占据多数^[21]。食用菌生产机械化是指用机械手段完成食用菌的栽培,主要配套设备包括配料及拌料机械设备、装瓶(袋)设备、高效灭菌设备、接种设备、培养栽培环境调控设备、采收包装设备和采收清理设备等^[22]。我国食用菌栽培历史至今已有1000多年,但机械化生产发展只有不到80年的时间,其生产方式的多样性是未来发展的主流^[23]。美国在二战之前就已广泛应用简单机械于双孢蘑菇生产,二战后率先实现了机械化和自动化,并迅速带动了其他发达国家的机械化发展^[24]。

为了梳理中国食用菌生产装备发展现状、有效推进中国食用菌生产装备研究开发重点、促进食用菌生产现代化建设,本研究在梳理中国食用菌生产装备发展现状的基础上,阐述了当前中国食用菌生产装备存在的主要问题,对现阶段中国草腐菌与木腐菌生产急需解决的重点研究开发装备进行分

收稿日期:2015-10-08

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-24);

公益性行业(农业)科研专项(编号:201503137);江苏省科技支撑计划(编号:BE2015726)。

作者简介:王明友(1982—),男,山东沂南人,硕士,助理研究员,主要从事食用菌机械化生产技术研究。E-mail:wmyss@126.com。

通信作者:宋卫东,研究员,主要从事食用菌机械化生产技术研究。

E-mail:songwd@163.com。

析。最后,提出中国食用菌生产装备的发展方向。

1 食用菌生产装备发展现状

中国食用菌生产装备经历了从无到有,从单机到成套,从简单控制到数字控制、再到现在智能控制的发展过程,同时也经历了从应用单项工业技术到多项先进工业技术的历程。中国食用菌生产装备始终伴随着食用菌产业的发展壮大而发展,满足了不同时期食用菌生产对机械化装备的需求^[25]。笔者按中国食用菌产业发展历程时间区分,大致先后经历了以下几个阶段。

1.1 初始发展阶段(1949—1979 年)

这一阶段是中国食用菌生产装备的原始发展阶段。在食用菌栽培初始阶段,机械化生产设备只能部分代替人工进行简单的作业,设备运行还只能停留在人工动力或辅助动力运行阶段,只能采用简单的机械传动模拟人工完成辅助作业,且不能实现单一工序的全过程操作,绝大多数时间需要人工进行辅助作业^[26]。此时,食用菌生产设备大都为菇农自己设计、制造,并在生产过程中随时更改,以满足当前生产需要。这个阶段的食用菌机械厂家主要是当时的农机厂、校办厂生产的用于段木生产的打眼机、制作菌种用的装瓶机、小型的灭菌设备,应用的地区主要是福建省、浙江省等。

1.2 引进消化吸收阶段(1979—1992 年)

改革开放的深入、国内机械制造水平不断进步以及中国食用菌产量迅速增加,都促使中国食用菌生产装备向着功能齐全的方向发展。此时,为了扩大栽培数量,迫切要求改进食用菌栽培环节中的关键技术装备,以提高生产效率。这一阶段中国主要研发与借鉴生产了搅拌机、装袋机、装瓶机、灭菌锅等生产设备,使机械化生产技术与设备在食用菌生产中的应用越来越广泛。

1.3 提升与发展阶段(1992—2000 年)

步入 21 世纪,中国改革开放不断深化,食用菌企业迎来了难得的提升与发展阶段,中国食用菌生产装备随着食用菌产业的发展而壮大。食用菌机械化生产装备性能越来越优良,功能越来越完善,使用越来越方便,操作可靠性、安全性越来越高,能满足食用菌生产全过程各工序的生产需要,提高了食用菌产业栽培过程中的工业化水平,做到机械化作业。这一阶段的主要特点是完成成套装备在生产全过程中的应用,并突破了制约流水线生产中的核心设备,使工业化流水线的生产方式在食用菌产业中得以应用。

1.4 稳定调整与创新阶段(2006 至今)

进入 21 世纪,中国食用菌生产装备发展正在加快,各级政府也在资金政策上培育龙头企业,完成原始积累的菇农正在向工厂化、机械化生产方式转变。当前,中国食用菌生产基本上达到了产业化、规格化、机械化、工厂化,并在物料前处理阶段已实现多种型号设备的选择^[27-30]。同时,生长阶段应用各种工业化技术如测控技术、视频技术等,逐步实现生产设备在调控与操作方面的智能化控制^[31],做到了机械化生产设备按照控制程序完成工艺流程,给操作者提供人性化的操作界面和工作环境。实现了食用菌产业由农业生产方式向工业生产方式的全过程转变^[32],在食用菌生产中获得最大生物学转化效率。

2 食用菌生产装备存在的主要问题

中国食用菌生产技术装备起步晚、起点低,但随着中国食用菌产业发展的不断壮大,生产装备水平也有了大幅提升。与国外食用菌生产强国相比,中国食用菌生产机械化技术装备主要存在以下几个方面的问题。

2.1 国内食用菌生产装备龙头企业带动不强

全国现有食用菌生产装备终端企业 100 多家,但真正形成规模,市场占有率高的企业不多,绝大多数是家族式管理,企业主大多存在“小富即安”的思想。企业整体竞争力不强,市场抗风险能力较差,“大市场”与“小作坊”矛盾突出。虽然国内企业生产的瓶装木腐菌工厂化成套设备已基本满足国内食用菌工厂化机械化生产需求,但因设备的可靠性、智能性方面与日韩国家相比尚存一定差距,大型木腐菌食用菌工厂化生产所选装备仍以日韩国家的成套装备为主,草腐菌工厂化生产装备仍以欧美为主,国产设备在市场上的占有率还较低。

2.2 国内食用菌装备企业技术管理人才严重缺乏

国内食用菌生产装备企业中的技术人员,绝大多数只懂机械技术,不懂食用菌生产工艺,大部分没有经过系统专业技术培训,知识更新和技能培训欠缺,高素质的产品研发人员、管理人员和市场营销人员引不进、更是留不住^[33]。由于人才缺乏,企业自主开发产品的能力较弱,工艺装备水平差,产品科技含量低,市场竞争力不强。

2.3 国内草腐菌食用菌装备技术水平相对落后

目前,我国草腐菌生产中的机械化装备,主要是一些工厂化生产中的辅助类产品,普遍技术含量低、生产工艺简单,即使少数企业对产品在某些环节或功能上有所创新,也极易被仿制。同时,企业专利和知识产权的保护更是未达初衷,直接促成了装备产品低水平仿制的盛行。国产设备中的多数食用菌生产机械产品的主要技术性能、产品可靠性以及产品结构等指标,相当一部分只达到经济发达国家同类产品 20 世纪 70 年代的水平,少部分产品达到发达国家 20 世纪 80 年代的技术水平,仅个别产品达到 20 世纪末期国际技术水平^[34],尤其是在智能控制技术的应用方面差距更为明显,最终导致国内食用菌产品的产量和质量始终低于发达国家的生产水平。

2.4 国内食用菌生产装备研发平台建设滞后,国内尚无国家级食用菌装备工程技术中心

食用菌装备生产企业良莠不齐、规模小、实力差、科研人员和设备设施不到位,大多停留在简单农机水平状态上,模仿复制的多,专业的、高水平的产业技术研究中心尚未真正建立,企业各自为阵,缺乏统一的产业技术支撑平台。一些粗制滥造的伪劣假冒设备生产商靠广告或靠低价去赢取客户买便宜货的心理。因这些设备没标准、没质量、没服务造成用户的损失,扰乱了食用菌机械的市场。

2.5 国内食用菌生产装备标准严重滞后

现阶段,食用菌机械产品在设计、生产及使用过程中缺少必要的国家标准或行业标准^[35],造成生产企业自行生产设备,不同厂家生产的同一种设备其零部件等无法通用,给菇农造成了极大的麻烦,影响了设备的正常使用。同时,地方性的食用菌生产与质量标准也相对较少,尚无法保障当地食用菌产业的健康发展^[36]。

3 食用菌生产装备发展重点分析

3.1 草腐菌(双孢蘑菇)生产装备发展重点分析

近年来,国内科研工作者在双孢蘑菇育种、栽培等方面所作出的贡献^[37-38],使其在中国的栽培面积逐年增大,这些都为加快研发相配套的机械化生产设备奠定了基础。因进口的国外生产装备不适应目前中国双孢蘑菇栽培的生产模式,同时进口国外生产设备单台无法完成流水线作业,须引进全套生产设备,随着带来生产装备的巨大投资,也不适应于中国双孢蘑菇的产业现状。因此,当前的重点是研发与中国双孢蘑菇栽培工艺相匹配的机械化生产装备。

3.1.1 双孢蘑菇培养料智能化发酵隧道 针对中国双孢蘑菇培养料生产机械化的突出问题与薄弱环节,开展双孢蘑菇培养料智能化发酵隧道研究。重点研发带有强制通风系统的智能化发酵隧道,智能控制隧道内的环境参数,实现发酵隧道中的温、气、水环境因子的平衡调控,保证有益微生物的生长,防止温度过低或水量过大而导致氧气渗透距离短,中心部位培养料产生厌氧反应出现恶臭现象。最终建立一套适合中国国情的发酵料隧道建造与智能控制的发酵隧道技术体系。

3.1.2 自走式隧道定量输送摆动式送料布料一体机 现阶段,国内一次发酵后的培养料,大多采用铲车将发酵后的培养料铲入二次发酵隧道内或利用装载机将培养料装入定量提升机构内,此时培养料堆结成块,造成发酵室内的培养料发酵不均匀,严重影响栽培时双孢蘑菇的产量与质量。因此,应重点研究开发适应中国发酵隧道的自走式隧道定量输送摆动式送料布料一体机,实现双孢蘑菇培养料在进入二次发酵隧道时培养料的均匀松散处理、定量输送,且能在二次发酵隧道内完成左右(180°)内的转动,并保证一次发酵料均匀、连续地抛在二次发酵隧道内,防止抛洒不均匀、厚度不一致而带来的后续发酵不彻底的问题。

3.1.3 双孢蘑菇培养料打包机 目前,我国仅有 2 套从荷兰进口的打包生产线,一条在山东“奥登”公司,另一条在新疆生产建设兵团,其进口费用约 140 万元。这种全套进口的机械化生产设备不能完全适应我国栽培双孢蘑菇的栽培工艺。我国栽培双孢蘑菇大多还采用二次发酵料上床后再进行接种的栽培工艺,少数栽培企业采用三次发酵料栽培双孢蘑菇。培养料三次发酵栽培在我国还处于起步阶段,全套引进外国设备不适应我国国情,且打包后的菌包长、宽、高等外形大小也不适应我国现有的栽培床架。因此,研究开发适应我国双孢蘑菇栽培工艺要求的堆肥打包机是中国双孢蘑菇机械化生产的重点。

3.1.4 双孢蘑菇自动割菇机 随着国内双孢蘑菇价格的稳步上涨,其栽培面积将会出现逐年增加的趋势,但在用工量最大的采菇过程中,当前还需人工进行手工作业。机械化采菇、割菇将是未来双孢蘑菇产业发展的必然趋势。在标准化栽培技术与生产管理基础上,实现床架栽培中的双孢蘑菇在轨道上通过切刀收获后的自动割菇、转运、贮藏等过程。因此,研发适应工厂化栽培的双孢蘑菇自动割菇机将成为中国双孢蘑菇实现全程机械化生产中至关重要的一步。

3.1.5 双孢蘑菇发酵料卷帘式上料、覆土成套设备 当前,国内双孢蘑菇栽培中的整体铺料方式还需人工操作,在人工

完成床架发酵料铺放后再接菌种进行发菌培养,等菌丝长满后进行人工覆土。这种传统的生产方式不仅用工量大,且工人的劳动强度高。针对国内尚无发酵料上料、覆土一体化设备,研发卷帘式自动上料、自动覆土成套设备是双孢蘑菇产业发展的需要,是解决人工上料料层厚度不均匀、人工覆土土层厚度不均匀的需要,是降低双孢蘑菇栽培成本、减少用工量和减轻劳动强度的需要,同时也是提高双孢蘑菇栽培效益的需要。

3.2 木腐菌生产装备发展重点分析

当前,中国食用菌生产以木腐菌生产机械化程度最好,并已完成木腐菌机械化生产的单机与成套机械装备的研发^[39],现只需对个别工艺环节上的技术装备进行优化改进与整套生产线的提升,增加工业化的智能控制系统,使其操作作业更加智能。一方面,瓶式栽培工艺作为木腐菌生产中机械化程度最高的生产工艺,因其瓶式栽培中的液体菌种接种技术装备集成度不高^[40],须开展瓶栽食用菌液体菌种自动接种装备的研究,并将工业机械手应用到实际生产中。另一方面,木腐菌袋栽模式生产机械化中的设备也可采用瓶栽机械化生产时所用培养料搅拌机、灭菌锅等设备。但在接种环节中,尚处在人工接种状态,机械化程度很低,很难保证接种时的清洁度,极易造成杂菌感染。因此,应加大袋栽筐式栽培技术体系的研究,形成袋栽筐式食用菌全程机械化、工厂化生产模式,最终改变现有袋栽机械化生产方式,突破袋栽食用菌工业化生产方式的瓶颈,力争实现食用菌产业在袋料栽培中的技术变革。

3.2.1 木腐菌瓶栽生产装备集成

3.2.1.1 木腐菌瓶栽生产装备的优化提升 当前,木腐菌瓶栽机械化、工厂化生产已成为中国食用菌栽培的主要模式。国内现有的木腐菌工厂化成套设备,很大程度上是在借鉴日本、韩国等地的基础上研究开发或模仿制造的。国内企业在单独工艺环节上的设备可以替代进口设备,但组装后的整体性能与国外设备尚有很大差距。因此,应重点整合优化现有生产装备,提升工艺环节中单机设备的性能指标,提高其工作可靠性,使其尽快实现整个流程作业中的快速衔接,做到单机智能与成套设备智能相融合。

3.2.1.2 木腐菌瓶栽生产液体接种装备 食用菌液体菌种具有纯度高、活力强、繁殖快的特点,接入到培养基内具有流动性好、萌发快、发菌质量高、出菇周期短等优势,有着固体菌种不可比拟的优越性^[41]。因此,针对现阶段木腐菌生产采用人工接固体种所带来的杂菌污染、接种时间长、用工量大等问题,解决固体菌种接种技术存在的问题,开展木腐菌瓶栽液体菌种自动接种装备,使其在提高接种效率的同时,供给菌瓶内定量稳定的菌种,保证操作过程中无杂菌进入。

3.2.1.3 木腐菌瓶栽生产智能机械手 木腐菌瓶栽生产应用菌筐为单元进行各工序的流水作业,其机械化生产装备也以菌筐为单元进行操作^[42],可实现 1 次操作即可完成 16 个菌瓶的作业能力,大大提升了瓶栽生产的工作效率。在完成以菌筐为单元进行作业后,就须对菌筐移动进行机械移动。目前,随着人工成本的不断升高,食用菌生产中的利润会逐渐降低。如何在保证作业质量的前提下尽可能减少生产过程中的人工数量,这就须要增加工业化生产的技术手段,使其完成该工作。因此,木腐菌瓶栽工厂化生产在某一环节上必须增

加替代人工作业的机械手臂,使其在高效率完成任务的同时,自动化、智能化程度进一步提高。如在装瓶作业后的搬运环节、在发菌室内的摆放环节、在发菌后的搔菌环节等,都可采用机械手臂替代人工完成作业,既保证质量,又提高效率。

3.2.2 木腐菌袋栽生产装备研究

3.2.2.1 香菇菌棒打孔接种一体机 当前,袋栽香菇生产中的大部分环节已实现机械化作业,仅在香菇灭菌后的接种环节需人工操作,人工用工量大^[43]。以往袋栽香菇接种主要靠人工在一个经过消毒、密封的环境内进行操作,包括消毒、打孔、接种、套灭菌袋等众多繁琐程序,约生产 100 袋/(人·h),生产效率低下,严重影响产量。因此,针对袋栽香菇菌棒机械化接种装备的研发就显得尤为重要。开展对灭菌后的香菇菌袋消毒、打孔、接种、套袋等工艺部件的开发,实现袋栽香菇生产过程的全程机械化。

3.2.2.2 木腐菌袋栽筐式生产装备 中国的瓶栽食用菌机械化生产技术已取得巨大进步,其主要环节的生产装备都已实现国产化,并可进行成套装备的生产。相对瓶栽生产装备而言,袋栽机械化生产装备还有较大差距,在某些环节上尚不能完全实现机械化操作^[44],须加快研发与之相匹配的机械化生产装备。

针对袋栽食用菌生产中的接种无法实现全自动作业,其关键原因在于现有的袋栽食用菌生产还以袋为单元进行作业,无法自动完成与瓶栽以筐为单元时的接种工序。因此,研究食用菌袋栽时的栽培方式,应建立袋栽筐式食用菌机械化生产技术体系,开展袋栽食用菌生产中的全自动装袋机、袋栽筐式智能化固体(液体)接种机等关键装备的研发,打破袋式栽培中存在的问题,使袋式栽培和瓶式栽培一样,实现栽培工序过程的自动化、机械化作业。

3.2.2.3 木腐菌袋栽装袋机 食用菌培养料搅拌后的装袋由原先的菇农手工操作发展到如今的冲压式自动装袋机,利用机械的冲压压力,实现了食用菌混合料冲压式自动装袋^[45-46],但取袋、套袋及扎袋口等工序依然须要手工辅助操作来完成,且操作者要求熟练。因此,随着食用菌袋栽生产模式的扩大及用工成本增加,袋栽机械化生产中的全自动套袋、装料、扎口装袋机的研发将是当前袋栽筐式机械化生产中尤为重要的研发突破口。

保证袋栽筐式栽培机械化、工厂化生产顺利展开的全自动装袋机,在袋栽作业中必须具备智能吸袋、套袋、送料、装料、冲压、出袋、扎口等作业工序的自动化,只有满足上述生产条件才能在实际应用中降低劳动强度和用工量。

3.2.2.4 木腐菌袋栽液体(固体)接种机 木腐菌袋栽生产中的难点是机械化接种问题,菌袋在灭菌后袋口出现揉卷和下垂现象,很难实现机械化的开袋接种^[47]。因此,木腐菌袋栽采用筐为单元进行作业时,要设计适合袋式栽培的菌筐结构。以瓶栽机械化接种工艺要求,完成接种作业后,继续以筐为单元进行其他工序过程,最终实现袋栽食用菌以筐为单元的全程机械化操作。

为实现木腐菌袋栽生产机械化接种作业,须对原有瓶式生产中的套环进行重新结构设计,使其既能保证菌袋内氧气,又能保证接种时的机械化操作。同时,开展袋栽液体(固体)接种装备的研究,实现袋栽食用菌菌袋接种的自动化程度与

瓶栽食用菌菌瓶接种相媲美,一次完成进筐、拨环、接种、盖环和出筐的机械化作业。

3.3 食用菌生长环境重点分析 现阶段,环境条件对食用菌生长发育影响的研究较少^[48],主要集中在食用菌生长发育所需营养条件方面及培养料对食用菌产品品质影响方面^[49-53]。因此,开展食用菌工厂化生产中的物联网技术研究,全程信息收集与记录系统,解决食用菌企业在产品栽培、种植过程中监管难的问题,使食用菌生产始终处于监督、记录和可控状态,保证生产过程和产品的稳定性;同时,结合食用菌自身因子、生长环境及外界环境,根据食用菌不同生长阶段特性和菇房内外环境参数如温度、湿度、CO₂ 浓度、光照等监测数据,实时通过网络上传到控制中心,计算出食用菌生长所需的最佳环境参数,实现自动智能的环境监控以及快速纠正偏离参数,自动作出诊断和决策,来提高食用菌工厂化生产的产量和质量,实现全程安全化生产。

4 食用菌生产装备发展方向

中国食用菌生产装备应紧紧围绕食用菌产业发展技术装备需求,借鉴国外先进经验,解决食用菌工厂化生产技术装备瓶颈问题,切实提高中国食用菌生产装备水平。同时,着力发展实用、质优、价廉的食用菌成套装备,实现由低能到高效、由单机到成套的发展过程,最终实现功能齐全、操作简单的智能化自动生产线。今后中国食用菌生产装备的发展方向有以下几点。

4.1 智能化

食用菌生产将实现培养料制备、装瓶(装袋)、灭菌、接种(固体、液体)、培养、搔菌、挖瓶等环节的智能化作业。同时,在运转环节中增设智能机械手替代人工操作,实现食用菌栽培全程机械化、智能化生产。

4.2 成套化

现阶段,食用菌工厂化生产单机装备间的衔接还需人工辅助完成。因此,对各工艺环节生产装备配备传送带或机械手,实现运载与搬运。通过针对食用菌生产成套装备的整体研究,提升现有单机装备的成套化组装技术水平,实现成套化、流水化生产。

4.3 标准化

针对中国食用菌生产装备标准滞后所带来的产业健康发展问题,开展食用菌装备生产、销售的行业标准和国家标准,达到生产装备的标准化生产。

4.4 国情化

针对国外发达国家食用菌生产装备投资和运行成本高,且不适应国内食用菌栽培工艺与模式等问题,开展研究适合中国国情的食用菌生产机械,以适应中国栽培多品种模式的需要。

5 结论

中国食用菌产业正在实现由数量型向质量型转型升级,设施化、标准化、工厂化生产逐步取代传统家庭式栽培。随着食用菌生产专业化分工的进程,智能化、成套化、标准化、国情化将成为食用菌生产装备的发展方向,以智能生产装备为代表的食用菌工厂化生产模式逐渐成为产业发展的趋势与主

流。本研究在总结国内食用菌生产装备过程与发展特点的基础上,对草腐菌生产装备、木腐菌生产装备和食用菌生长环境研究进行了重点分析,提出中国应着力发展实用、质优、价廉的食用菌成套装备,实现由低能到高效、由单机到成套的发展过程,最终实现功能齐全、操作简单的智能化自动生产线。

参考文献:

- [1] 张金霞. 食用菌产业发展需要科学研究的强力支撑[J]. 菌物学报, 2014, 33(2): 175-182.
- [2] 张金霞, 陈强, 黄晨阳, 等. 食用菌产业发展历史、现状与趋势[J]. 菌物学报, 2015, 34(4): 524-540.
- [3] 李玉. 中国食用菌产业的发展态势[J]. 食药用菌, 2011, 19(1): 1-5.
- [4] 赵春艳, 刘蓓, 侯波, 等. 近五年我国食用菌出口情况分析[J]. 中国食用菌, 2012, 31(6): 58-61.
- [5] Chang S T, Wasser S P. The role of culinary - medicinal mushroom on human welfare with a pyramid model for human health[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2012, 14(2): 95-134.
- [6] Gao P, Hirano T, Chen Z, et al. Isolation and identification of C-19 fatty acids with anti-tumor activity from the spores of *Ganoderma lucidum* (reish mushroom)[J]. Fitoterapia, 2012, 83(3): 490-499.
- [7] Gao Y, Deng X G, Sun Q N, et al. *Ganoderma* spore lipid inhibits N-methyl-N-nitrosourea-induced retinal photoreceptor apoptosis *in vivo*[J]. Experimental Eye Research, 2010, 90(3): 397-404.
- [8] Wang J H, Zhou Y J, Zhang M, et al. Active lipids of *Ganoderma lucidum* spores-induced apoptosis in human leukemia THP-1 cells via MAPK and PI3k pathways[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(2): 582-589.
- [9] 李洪亮, 李瑞国, 韩广钧. 浅谈中国食用菌的工厂化生产[J]. 食用菌, 2014, 36(3): 6-8.
- [10] 袁俊杰. 食用菌生产模型与栽培室环境控制系统研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
- [11] McFarlane D, Sarma S, Jin L C, et al. Auto ID systems and intelligent manufacturing control[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2003, 16(4): 365-366.
- [12] Chow H K H, Choy K L, Lee W B, et al. Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations[J]. Expert System with Application, 2005, 30(4): 561-576.
- [13] Chow H K H, Choy K L, Lee W B. A dynamic logistics process knowledge-based system—an RFID multi[J]. Knowledge-Based Systems, 2007, 20(4): 357-372.
- [14] 王运圣, 万常照, 郭倩, 等. 基于RFID技术的食用菌工厂化生产管理系统方案[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊2): 206-210.
- [15] 程继红, 陈传喜, 李金鑫. 食用菌工厂化生产中 HACCP 智能监控系统的开发应用[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 449-454.
- [16] 常明昌. 食用菌栽培[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [17] 黄毅. 食用菌栽培[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [18] 杨国良, 赵刚勇, 张爱民, 等. 新型蘑菇堆肥隧道发酵的特点及应用效果[J]. 食用菌, 2008, 30(5): 23-24.
- [19] 潘迎捷, 谭琦, 陈明杰, 等. 我国食用菌产业发展的回顾与展望[J]. 食用菌学报, 2001, 8(2): 1-9.
- [20] 张俊彪. 中国食用菌产业经济发展研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [21] 张俊彪, 李鹏. 我国食用菌新兴产业发展的战略思考与对策建议[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2014, 18(5): 1-7.
- [22] 刘欣, 于天颖, 张旭, 等. 食用菌机械化生产技术与配套设备研究[J]. 农业科技与装备, 2013, 35(11): 62-63.
- [23] 边银丙, 刘世玲. 中国食用菌生产方式多样性与工厂化生产特性[J]. 食药用菌, 2012, 20(3): 125-127.
- [24] 詹锦川, 朱铁峰, 程继红, 等. 工厂化栽培食用菌关键技术智能控制系统示范研究[J]. 食用菌, 2007, 29(2): 3-4.
- [25] 宋卫东, 王明友, 肖宏儒, 等. 我国食用菌工厂化生产技术[J]. 中国农机化, 2011, 32(6): 80-82, 87.
- [26] 常明昌, 孟俊龙, 程红艳, 等. 我国食用菌工厂化栽培的初步研究与探索[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 289-295.
- [27] 王明友, 宋卫东, 王教领, 等. 食用菌栽培基质粉碎设备的研发现状与展望[J]. 食药用菌, 2014, 22(6): 352-354.
- [28] 王明友, 宋卫东, 肖宏儒, 等. 9MF-720型棉籽粉碎机设计与试验[J]. 农机化研究, 2012, 34(11): 94-96.
- [29] 王明友, 宋卫东, 肖宏儒, 等. 带风引出料装置的双喂料口粉碎机设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 380-382.
- [30] 王明友, 宋卫东, 李尚昆, 等. 风引出料一体化粉碎机的设计[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(16): 3917-3920.
- [31] 王明友, 宋卫东, 肖宏儒, 等. 我国食用菌工厂化生产监控技术现在与发展趋势[J]. 农机化研究, 2012, 34(8): 223-226.
- [32] 韩清华, 李树君, 张云川, 等. 食用菌工厂化栽培环境的远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 123-127.
- [33] 李玉. 中国食用菌产业现状及前瞻[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 446-450.
- [34] 林静, 李宝筏. 我国食用菌生产机械化水平与前景的探讨[J]. 农机化研究, 2003, 25(1): 27-29.
- [35] 李贺, 许修宏, 王相刚. 我国食用菌技术标准的现状、问题及对策研究[J]. 中国食用菌, 2015, 34(3): 1-6.
- [36] 张俊彪, 李波. 对我国食用菌产业发展的现状与政策思考[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2012, 16(5): 13-21.
- [37] 王泽生, 廖剑华, 陈美元, 等. 双孢蘑菇遗传育种和产业发展[J]. 食用菌学报, 2012, 19(3): 1-14.
- [38] 杨国良, 刘明山. 蘑菇堆肥隧道集中发菌新技术[J]. 食药用菌, 2012, 20(4): 237-238.
- [39] 余深艾. 我国食用菌机械发展的成效与转变发展方式的思考[J]. 食药用菌, 2011, 19(5): 6-8.
- [40] 刘遐. 食用菌工厂化生产的国际发展[J]. 食用菌, 2011, 33(5): 1-4.
- [41] 戴建清, 曾志恒. 食用菌液体菌种研究现状及发展趋势[J]. 中国食用菌, 2012, 31(5): 1-3.
- [42] 王教领, 陈迎春, 宋卫东, 等. 洗瓶机搬筐机械手控制系统设计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(2): 143-145.
- [43] 王培雨, 宋卫东, 王明友, 等. 食用菌培养料装袋机主要类型及特性分析[J]. 食用菌, 2015, 37(1): 62-63.
- [44] 边银丙. 食用菌工厂化生产的关键技术及其研发方向[J]. 食药用菌, 2013, 21(3): 139-143.
- [45] 李国一, 李革, 苏和生, 等. 食用菌培养料自动定量装袋机的设计[J]. 农机化研究, 2010, 32(1): 110-112.
- [46] 林静, 陈英心, 白雪卫, 等. 基于Solidworks培养料仿生装袋机的优化设计[J]. 农机化研究, 2010, 32(1): 102-105.
- [47] 陈书法, 韩服善, 李宗岭. 食用菌液体菌种自动接种机设计与试验[J]. 农机化研究, 2012, 34(12): 152-155.
- [48] 于海龙, 郭倩, 杨娟, 等. 环境因子对食用菌生长发育影响

张俊环,孙浩元,杨 丽,等. 主要果树植物全基因组测序研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):6-11.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.002

主要果树植物全基因组测序研究进展

张俊环,孙浩元,杨 丽,姜凤超,王玉柱

(北京市农林科学院林业果树研究所/农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,北京 100093)

摘要:近几年,果树植物全基因组测序研究迅速升温,多个果树基因组图谱被陆续公布,为果树分子生物学和比较基因组学研究提供了大量的数据信息。通过比较分析已经完成全基因组测序的 11 种我国主栽果树的测序研究结果,就果树植物的起源和进化、重要农艺性状相关基因的发掘以及测序结果的应用前景方面进行了概述。

关键词:果树;全基因组;测序;进化;功能基因

中图分类号:Q78 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)12-0006-06

果树作为重要的经济作物,在国内外农业生产中均占有重要的地位。但是由于果树生命周期较长、基因组的杂合度较高、重复序列较多、且大多果树因自交不亲和而导致遗传背景不清晰,这些因素限制了果树分子生物学研究和全基因组测序研究的进程。然而,近些年,随着测序技术的发展、测序效率的提高和测序成本的降低,果树植物的全基因组测序工作在全球迅速展开,自 2007 年完成第一个果树植物葡萄(*Vitis vinifera*)基因组测序以来,不到 10 年时间,已有 14 种果树植物的全基因组测序工作相继完成。这些果树种类的全基因组测序结果为果树分子生物学研究搭建出了庞大的资源平台,不仅有助于了解果树的基因组结构和功能,而且对于探索果树植物的起源与进化、开展重要功能基因的定位和克隆、加速分子育种进程等均具有重要的指导意义。本文通过分析其中 11 种我国主栽果树的全基因组测序研究结果,围绕果树植物尤其是蔷薇科植物的起源和进化、典型功能组分的代谢通路及其相关基因,以及测序结果的应用前景方面进行分析和讨论。

1 主要果树植物的测序结果基本数据

已完成全基因组测序并公布草图的 14 种果树植物中,既包括热带亚热带常绿果树香蕉、甜橙、番木瓜和菠萝,也包括北方落叶果树苹果、梨、枣等,其中我国自主完成测序的树种就有 6 个。测序材料除甜橙(*Citrus sinensis*)采用纯合度相对较高的双单倍体材料外,其余 5 个树种均是采用遗传背景相对不清晰、杂合度较高的二倍体栽培品种(梨 *Pyrus bretschneideri*、枣 *Ziziphus jujuba*、猕猴桃 *Actinidia chinensis* 和菠萝 *Ananas comosus*)或野生品种(梅花 *Prunus mume*)(表 1)^[1]。测序技术主要采用第二代测序技术 Illumina 平台。与第一代 Sanger 测序技术相比,第二代测序技术降低了测序成本,提高了测序速率,且测序覆盖度更高,尤其是 Illumina HiSeq 2000 测序技术平台以高通量、高分辨率、高精度和价格低廉等优势发挥着巨大作用,已成功应用于多种果树植物的全基因组或转录组测序研究。

2 果树植物的起源和进化事件

已完成测序的植物基因组进化过程研究结果表明,全基因组复制事件几乎发生于每个植物的进化过程中。全基因组复制存在古老的全基因组复制(old whole-genome duplications, old WGD)和近代的全基因组复制(recent whole-genome duplications, recent WGD)2 种方式。在双子叶植物中,古老的全基因组复制也被称为古六倍体化(paleohexaploidization)进化或者三倍化复制(triplicated arrangement),又称 γ 事件^[2-7]。单子叶植物中古老的全基因组复制事件与双子叶植

收稿日期:2016-07-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31270709、31401836);北京市自然科学基金(编号 6162012)。

作者简介:张俊环(1974—),女,山东菏泽人,博士,副研究员,现主要从事果树分子生物学研究工作。Tel:(010)82595857;E-mail:zhang_junhuan@163.com。

通信作者:王玉柱,博士,研究员,现主要从事果树育种研究工作。Tel:(010)82592521;E-mail:chinabjwyz@126.com。

的研究进展[J]. 上海农业学报,2009,25(3):100-104.

[49] Onuoha C I, Oyibo, Judith E. Cultivation of straw mushroom (*Vovarella volvacea*) using some agro-waste material[J]. Journal of American Science, 2009, 5(5):135-138.

[50] Stajic M, Vukojevic J, Persky L, et al. Effect of different carbon and nitrogen sources on laccase and peroxidases production by selected *Pleurotus* species[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 38(1/2):65-73.

[51] Lamber F H M. Computer control in mushroom growing:an updated inventory of applications[C]//Griensven L J L D. Proceeding of the

15th International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi. Maastricht, 2000:891-895.

[52] Bystrzejewska - Piotrowska G, Bazata M A. A study of mechanisms responsible for incorporation of cesium and radiocesium into fruitbodies of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2008, 99(7):1185-1191.

[53] Polat E, Uzun H I, Topsuoglu B, et al. Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus*) grown in greenhouses[J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(2):176-180.